

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科(三)

佳作

033007

「泡生溶溶」---泡泡除塑淨水法的研究

學校名稱： 臺中市立居仁國民中學

作者：	指導老師：
國一 張任翔	蔡明致 潘瑾卿

關鍵詞： 塑膠微粒、介面活性劑、大豆卵磷脂

摘要

本研究透過不同介面活性劑來吸附海洋微塑粒，初步發現，無患子的親油性最好，TDS 值可作為微塑粒濃度的檢量線。為了解介面活性劑的親水性值(HLB 值)對起泡力及清除率的影響，加入 HLB 值為 4 的白蠟油(油性介面活性劑)進行實驗，發現海塑粒無患子起泡效果最好。泡泡水去除海洋微塑粒效果約為 8.3%，無患子溶液約為 9.7%，白蠟油約為 60.7%，故白蠟油的清除效果最佳，但並不天然。後來，我們發現了天然的親油性介面活性劑—**大豆卵磷脂**，無患子與其的起泡比例以 7:3 為最佳，且單純大豆卵磷脂的清除率高達 **84.14%**為目前最高。最後，我們發現此起泡裝置能清除真實海水中 37.55%的微塑粒。

壹、研究動機

一、發現問題

吹泡泡是童年很懷念的一個活動，我也一樣，非常喜歡與妹妹一起吹泡泡，但每次各種大大小小的泡泡都馬上就破了，在文獻探討過程中，我看到一篇報導，內容指出來自法國里爾大學（University of Lille）的物理學家，興奮地宣布他找到延長泡泡壽命的方法，目前最長紀錄是465天都不會破(安吉，2022)，原來這個長命泡泡的秘訣是在泡泡水中加入微塑膠粒。但換過來想，如果我製造出一個全新的微塑粒泡泡，反而會汙染環境，微塑粒汙染已經成為全球海洋生態系統中一個嚴重的環境問題，所以逆向思考：我應該讓塑膠微粒吸附在泡泡上，藉由塑膠泡泡存續時間拉長，把泡泡收集進而清除海洋塑膠汙染。海洋塑膠問題對生態系統危害非常多，舉例：海洋生物誤食微塑粒，導致消化系統阻塞，塑料中的有毒物質在食物鏈中累積，微塑粒可吸附其他污染物，增加毒性，現在微塑粒危害已經擴大到全球的海洋，一定要重視，我聯想到如果可以用天然的起泡劑去吸附微塑膠粒，一方面該泡泡的存續時間更長，有利於微塑粒後續回收處理乾燥利用，一方面海洋也能淨化，維持海洋生態健康。



圖 1-1-1 變化莫測的泡泡，對物理學家來說，一直有著致命的吸引力。(安吉，2022)

二、相關研究

關於長命泡泡、微塑粒等相關研究綜多，整理關聯度高的科展作品，列表 1-1-1(作者整理)如下：

參加屆數	作品名稱	主要結論
第 49 屆	許我一個長命泡泡吧！ ---氫氣泡泡會比較長命嗎？	發現 Joy 清潔劑和水的最佳比例為 1：60，泡泡水濃度太高或太低都不好。同時添加甘油與膠水，可以大幅增長泡泡存活時間， Joy：水：甘油=1：60：8 的配方可存活最久。泡泡越大、待在小箱子能讓泡泡撐得越久，泡泡的填充氣體改成氫氣會較長命，而改成二氧化碳會迅速縮小。

第 49 屆	「膜」力十足—泡泡膜的研究	濃度高泡泡多，且直徑小，黏稠度也較大。濃度在 20%以後，吹出的泡泡直徑有明顯下降的趨勢。吹出較多的泡泡數，要用濃度高的泡泡液；希望吹出大的泡泡，則是要用濃度低的泡泡液。
第 60 屆	降塑「油」解！清除水中塑膠微粒的方式	亦即利用塑膠材料低表面能的疏水/親油特性及黏稠油體對磁鐵粉的包覆能力，再用磁鐵粉有效率地去除水中的塑膠微粒與大尺寸顆粒塑膠粒。研究成果雖已可有效快速回收塑膠微粒，但恐產生二次廢棄物之問題。
第 62 屆	淨「塑」撤離「鐵」定「油」效	先用油料吸附水中塑膠微粒，再利用鐵磁性吸油劑吸附含塑油料，最後用磁鐵吸起清除。研究分為兩部分探討，結果發現，塑膠種類、油酸價、水溶液類會影響塑膠與油料的吸附。以燃燒的鋼棉、鐵粉、四氧化三鐵作為吸油劑，進行三階段多層次處理可以節省成本，也減低水汙染。

綜合以上研究發現，泡泡的濃度高，泡泡多、直徑小，添加甘油與膠水確實能延長泡膜持久時間，還有清潔劑和水的比例抑是關鍵。吸收海洋塑膠的材料多用鐵粉與油類，荷蘭在出海口利用泡泡屏障阻擋大型海洋垃圾進入海洋(fish09352003, 2021)，重點並非是直徑小於 5 毫米的微塑粒回收，**本研究亮點聚焦在使用”天然的介面活性劑同時為”天然起泡劑”研究其”起泡力”””親水親油平衡值(HLB 值，Hydrophilic lipophilic balance)”對於海洋微塑粒清除的影響，此乃前人未曾著墨。**

貳、研究目的

- 一、起泡劑種類對接觸角(親疏水性及成球性質)的影響。
- 二、海塑粒濃度與 TDS(溶解性固體總量)數值的關係。
- 三、不同介面活性劑(的 HLB 值)對起泡力的影響。
- 四、不同介面活性劑(的 HLB 值)對海洋微塑粒清除效果的影響。
- 五、海塑粒的量固定，無患子濃度對起泡力的影響。
- 六、海塑粒的量固定，無患子濃度對海洋微塑粒清除效果的影響。
- 七、海塑粒的量固定，無患子與大豆卵磷脂的比例對起泡力的影響。
- 八、海塑粒的量固定，無患子與大豆卵磷脂的比例對海洋微塑粒清除效果的影響。
- 九、模擬此裝置在真實海水使用的情況。

參、研究設備及器材

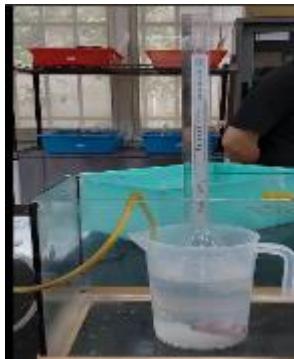
一、研究器材(作者整理)

研究器材與規格	研究器材與規格	研究器材與規格	研究器材與規格
標籤	攪拌棒	量杯	起泡機
量匙	玻璃板	滴管	針筒
水質檢測器	漏斗	玻璃箱	量尺(刻度)

二、研究藥品與規格 (圖片都由作者拍攝)

研究藥品 與規格	研究藥品 與規格	研究藥品 與規格	研究藥品 與規格	研究藥品 與規格	研究藥品 與規格	研究藥品 與規格
無患子溶液 300g	塑膠微粒 300 目 300g	果膠粉 100g	泡泡水 兩大瓶	鹽巴	白蠟油	大豆卵磷脂

三、實驗裝置圖(圖片都由作者拍攝)

接觸角實驗裝置圖	初代起泡實驗裝置圖	二代起泡實驗裝置圖	三代起泡實驗裝置圖
以 tracker 放大照片後 讀取接觸角 	雖可輕鬆起泡，但一 次就要起泡 700ml，有 點浪費。 	雖可輕鬆起泡，但因量筒 太細，所以起泡約 40 秒就 滿了... 	此裝置不但能輕鬆起泡， 起泡後還不用擔心溶液滿 出來，使用的溶液量更是 原本的一半! 

肆、研究過程或方法

一、重要名詞解釋

(一)塑膠微粒:塑膠微粒又稱為微塑膠，但不僅限於「顆粒」形式，而是指直徑或長度少於5毫米的塊狀、細絲或球體的塑膠碎片。它們可以是「原始」，指本身被製造成該體積，例如其他塑膠製品的顆粒原材料；或是「次生」，指因暴露於風、浪和紫外線下而分解或變形的塑膠碎片。(取自:綠色和平塑膠專案小組，2020)

(二)泡泡:泡泡又稱為泡沫，是氣體分散在液體或固體中的一種分散體系。啤酒開瓶時的泡沫、肥皂泡沫都是氣體在液體中的泡沫；泡沫塑料和泡沫玻璃中的氣泡則是氣體在固體中的氣泡，固體泡沫為輕質多孔海綿狀物質或輕質多孔剛性物質。(取自維基百科--泡沫)

(三)表面張力：表面張力最常見的例子發生在液體與其他物質的接觸面。以水為例，水的表面張力來自於由凡得瓦力所造成的內聚力。在流體與固體接觸表面，或者不相混合之兩種流體之表面，因分子力相互吸引的結果，使得表面間有如薄膜之張力，稱之為表面張力。為了維持表面之形狀，必須作功，這些所作之功轉換成表面之自由能。

表面張力係數(σ)定義為： $\sigma = \text{功} / \text{面積} = \text{能} / \text{面積} = \text{力} / \text{長度}$

即單位面積的表面自由能；或為單位長度之表面張力。後者之定義可以解釋為單位長度之表面（當此表面之長度為一切線方向的量測時）所含有之表面張力。因表面張力作用的結果，表面壓力差可由下列公式計算之：

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \sigma (1/r_1 + 1/r_2)$$

上式中， P_1, P_2 分別為表面內外之壓力； r_1, r_2 分別為表面之曲率半徑。

(四)介面活性劑：界面活性劑又稱表面活性劑，是能使目標溶液表面張力顯著下降的物質，可降低兩種液體或液體-固體間的表面張力。種類繁多。最典型的例子是肥皂，具分解、滲入的效果，應用廣泛。介面活性劑一般為具有親水與疏水基團的有機兩性分子，通常是兩親的有機化合物，含有疏水基團（「尾」）和親水基團（「頭」）。因此，它們在有機溶劑和水中均可溶。(取自維基百科--表面活性劑)

(五)無患子：無患子屬無患子科。它的厚肉質狀果皮含有皂素，只要用水搓揉便會產生泡沫，可用於清洗，是古代的主要清潔劑之一，但工廠清潔劑誕生後，卻因為價格和生產問題乏人問津，耕地上個體幾乎被砍伐殆盡。(取自維基百科--無患子)

(六)總溶解固體(TDS，溶解性固體總量)：測量單位為毫克/升 (mg/L)，它表明一公升的水中溶有多少毫克溶解性固體。TDS 值越高，表示水中含有的雜質越多。由於天然水中所含的有機物以及呈分子狀的無機物一般可以不考慮，所以一般也把含鹽量稱為總溶解固體。測量 TDS 值需要在常溫常壓下進行，注意以下問題：1.不可測量高溫水體（例如：熱開水）2.不能測量晃動較大的水體（例如：流動水）3.不能測量污染濃度較高的水體（例如：高濃度的工業廢水）(取自維基百科-總溶解固體)

(七)本實驗使用的泡泡水配方: Happy Bubble 1000ml 泡泡水補充液，瓶身標示成分為介面活性劑，增稠劑與水。

(八)1%海洋微塑粒定義:本實驗定義為 3.5% 鹽水 23ml+0.23g 微塑粒

(九)甘油：是一種簡單的多元醇化合物。它是一種無色、不臭、有甜味的黏性液體，無毒。甘油主要存在於被稱為甘油酯的脂質中。由於它具有抗菌和抗病毒特性，因此廣泛用於 FDA 批准的傷口和燒傷治療。然而，它也能用作細菌培養基。它可作為衡量肝臟疾病的有效標誌物。它還廣泛用作食品工業中的甜味劑和藥物配方中的保濕劑。由於其有三個羥基，甘油可與水混溶並具有吸濕性。(取自維基百科--甘油)

(十) HLB 值(Hydrophilic lipophilic balance 親水親油平衡值)：是用來表示介面活性劑親水性或親脂性的程度。其數值介於 0~20 之間，HLB 值是選擇乳化劑的關鍵因素。油包水型乳化劑(親油性)的 HLB 值一般落在 3~8 之間，而水包油型乳化劑(親水性)的 HLB 值一般落在 8~18 之間(real botany , 2023)。介面活性劑差異偏向以圖 4-1-1 表示：

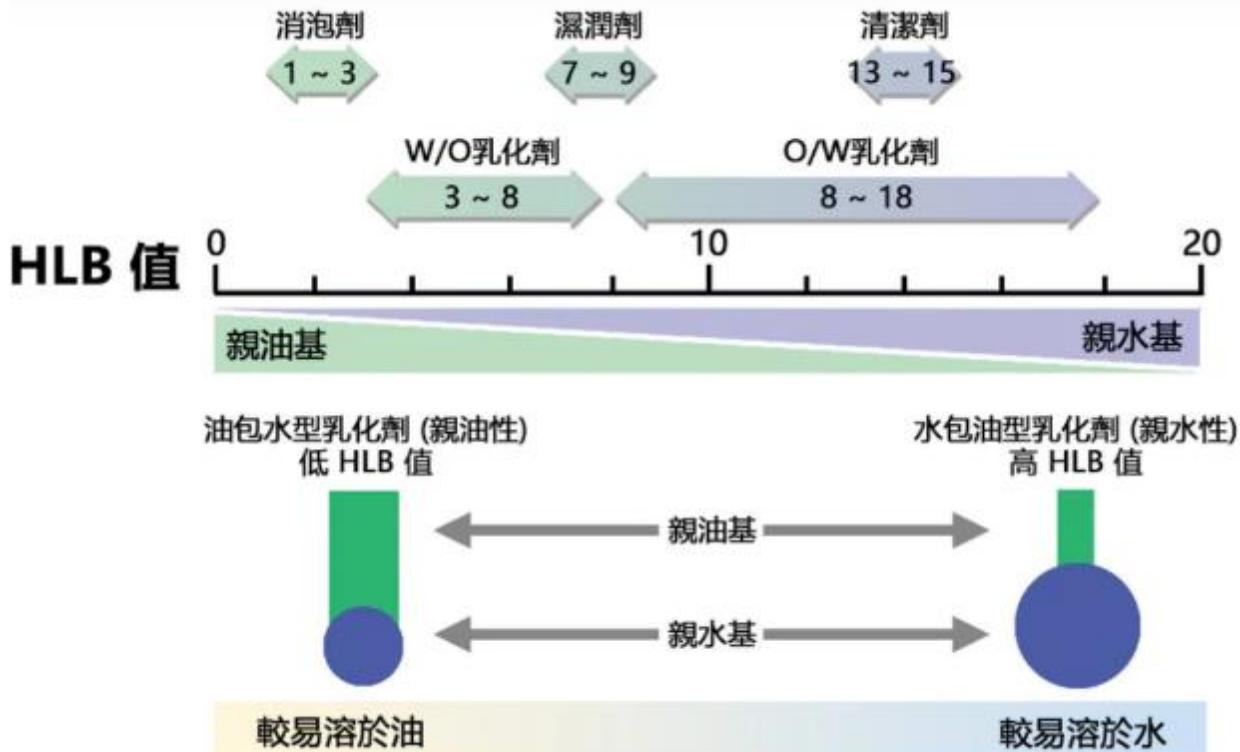


圖 4-1-1 後來戴維斯 (Davies, J.T.) 於 1957 年把 HLB 值計算應用擴展到離子表面活性劑，考慮到其親水結構而獲得更大的 HLB 值，使 HLB 最大值擴展到了 40(real botany , 2023)

本實驗使用的介面活性劑有無患子、市售泡泡水、白蠟油與大豆卵磷脂四樣，其中無患子、市售泡泡水與大豆卵磷脂具有起泡劑性質，而白蠟油無起泡能力，起泡力差異將設計實驗探究，將四種介面活性劑的性質餘下表 4-1-1 中比較：

表 4-1-1 本實驗使用介面活性劑的比較(作者繪製)

介面活性劑名稱	無患子	泡泡水甘油(丙三醇)	白蠟油	大豆卵磷脂
官能基	皂昔，糖昔類， 羥基 ，醛基	羥基	正二十二烷，正二十八烷	酯基，烷基，胺基， 羥基
HLB 值	14-16	20	4	4.28
親和程度	親水性	強親水性	親油性	親油性
油胞形式	水包油(O/W)	水包油(O/W)	油包水(W/O)	油包水(W/O)
起泡力	有	有	無	有
平均單價(元/公克)	2.00	0.20	0.15	0.8

註：原本一開始使用泡泡水、無患子，後來加入了親油性的白蠟油，發現其效果不錯，但卻不天然，所以後來加入了天然、為親油性、還可起泡的大豆卵磷脂。

二、實驗方法

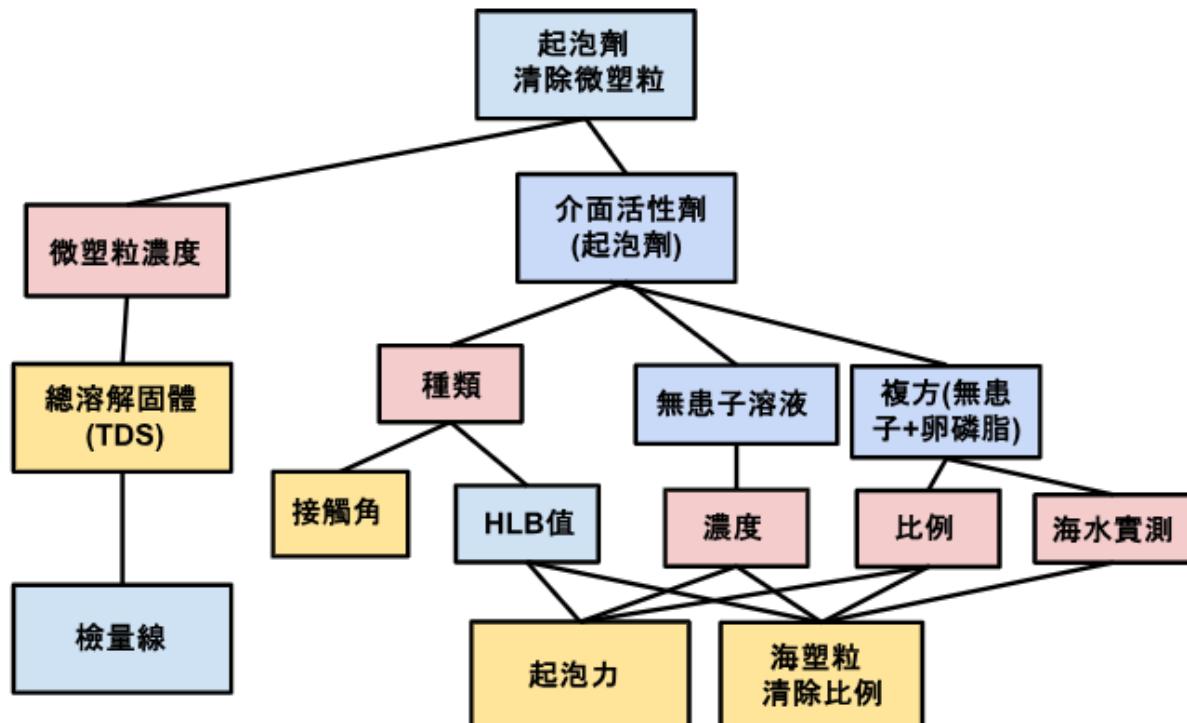


圖4-2-1 實驗研究架構圖(作者繪製)(使用紅色的為操作變因，黃色的為應變變因)

三、實驗流程

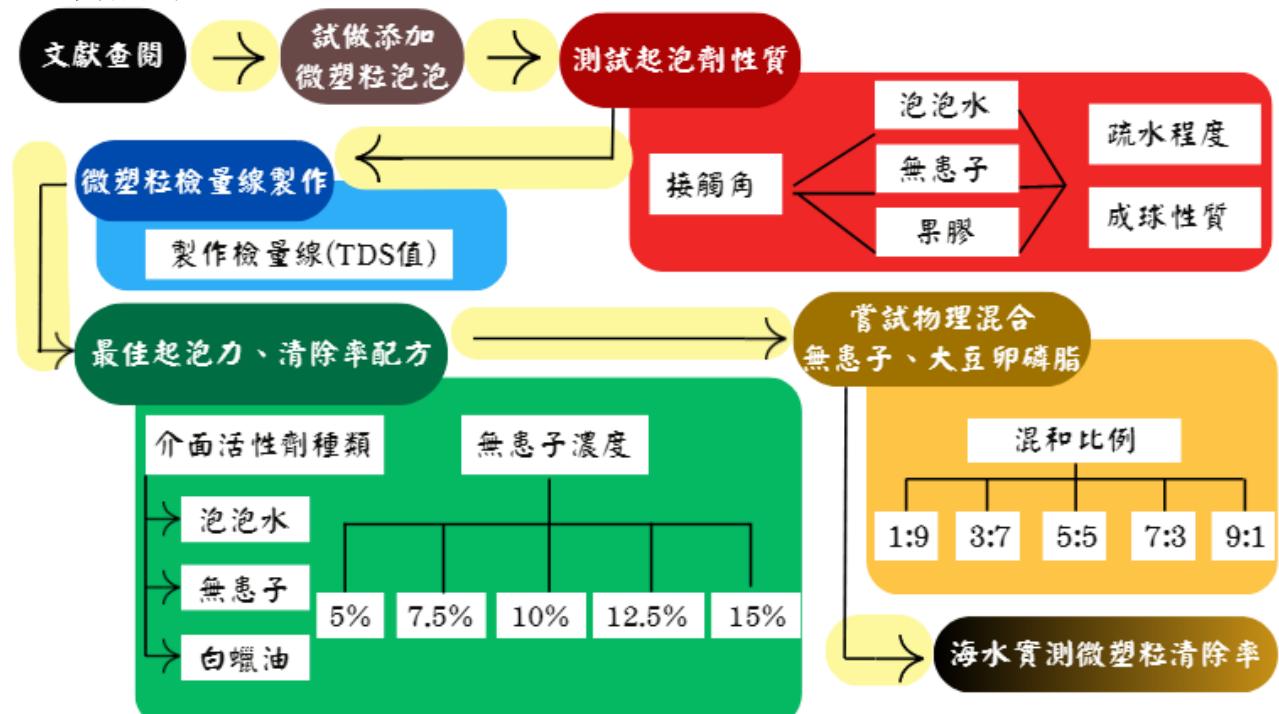


圖 4-3-1 實驗流程圖(作者繪製)

四、研究步驟

(一)、起泡劑種類對接觸角(親疏水性及成球性質)的影響

實驗假設:不同種類的起泡劑分子特性會影響泡泡接觸角，接觸角越大越為疏水性，大致來說具有較大的表面張力，越易形成球體。

操作變因:起泡劑種類(泡泡水、果膠、無患子)。

控制變因:海塑粒濃度(3.5%鹽水 23ml+微塑粒 0.23g)、塑膠微粒目數(300 目，孔徑=48 微米)、起泡劑濃度(泡泡水、果膠、無患子)、溫度。

應變變因:泡泡接觸角。

1.將塑膠微粒(0.23g)溶解在 3.5%鹽水 23ml 中。並滴 0.2ml 在玻璃板上照相，重覆 5 次。

2.將步驟一溶液 23ml 分別溶解於 77ml 三種起泡劑中，各滴一滴在玻璃板上照相，重覆 5 次。

3.將單純的三種起泡劑、純油、純水，各滴一滴在玻璃板上照相，重覆 5 次。

4.用 tracker 的量角器功能來算出接觸角，並比較其親水性與疏水性的情況。

(二)、海塑粒濃度與 TDS 數值的關係

實驗假設：TDS 數值與海塑粒濃度的關係呈線性趨勢，TDS 數值可以成為海塑粒濃度的檢量線。

操作變因:海塑粒濃度(ppm)。

控制變因:溫度、無患子濃度(5%)、塑膠微粒目數(300 目，孔徑=48 微米)。

應變變因:TDS 數值(溶解性固體總量)。

1.將無患子溶液、市售泡泡水、自來水、0.035%鹽水、0.01%海塑粒各倒入 20ml 入量杯中

2.用水質檢測器檢測每個量杯的 TDS 數值，重複 10 次。

3.將 1%海塑粒 23ml 分別溶於 77ml 無患子溶液及 77ml 泡泡水中，且用水質檢測器檢測 TDS 數值，重複 10 次。

4.將步驟三的兩種溶液(海塑粒泡泡水、海塑粒無患子)10ml 溶解於 10ml 自來水中(稀釋)，並重複此動作六次(稀釋六次)，且每次都用稀釋完都用水質檢測器檢測 TDS 數值，重複 10 次。

5.以 TDS 數值來判斷 TDS 數值能否可成為海塑粒起泡劑之海塑粒濃度的檢量線。

(三)、不同介面活性劑(的 HLB 值)對起泡力的影響

實驗假設:不同介面活性劑的 HLB 值會對起泡力造成影響。

操作變因:介面活性劑種類(泡泡水、無患子、白蠟油)。

控制變因:起泡機、漏斗位置、溶液量(700ml)、無患子濃度(5%)、海洋微塑粒濃度(1%)。

應變變因:起泡高度。

1.將 230ml 海洋微塑粒溶解於 5%無患子溶液 770ml。

2.將 230ml 海洋微塑粒溶解於泡泡水 770ml。

3.將 5%無患子溶液 700ml 倒入量杯中，啟動起泡機，並錄影紀錄起泡高度，重複三次。

4.將泡泡水 700ml 倒入量杯中，啟動起泡機，並錄影紀錄起泡高度，重複三次。

5.將 3.5%鹽水 700ml 倒入量杯中，啟動起泡機，並錄影紀錄起泡高度，重複三次

6.將 0.01%海洋微塑粒 700ml 倒入量杯中，啟動起泡機，並錄影紀錄起泡高度，重複三次。

7.將步驟一溶液 700ml 倒入量杯中，啟動起泡機，並錄影紀錄起泡高度，重複三次。

8.將步驟二溶液 700ml 倒入量杯中，啟動起泡機，並錄影紀錄起泡高度，重複三次。

9.將 270ml 白蠟油溶解於 80ml 自來水中，啟動起泡機，並錄影紀錄起泡高度，重複三次。

10.以起泡高度來判斷不同起泡劑及溶液之起泡效果。

(四)、不同介面活性劑(的 HLB 值)對海洋微塑粒清除效果的影響

實驗假設:不同 HLB 值介面活性劑的 HLB 值起泡後對海洋微塑粒清除效果會造成影響。

操作變因:介面活性劑種類(泡泡水、無患子、白蠟油)。

控制變因:無患子濃度(5%)、溫度、海洋微塑粒濃度(1%)。

應變變因:海洋微塑粒清除效果(TDS 值)。

1. 將每次起泡完的 0.035% 鹽水之泡沫用湯匙清除，並將溶液用滴管收集 20ml 至罐中。
2. 將每次起泡完的 0.01% 海洋微塑粒之泡沫用湯匙清除，並將溶液用滴管收集 20ml 至罐中。
3. 將每次起泡完的 1% 海塑粒無患子之泡沫用湯匙清除，並將溶液用滴管收集 20ml 至罐中。
4. 將每次起泡完的 1% 海塑粒泡泡水之泡沫用湯匙清除，並將溶液用滴管收集 20ml 至罐中。
5. 將每次起泡完的 1% 海塑粒白蠟油之泡沫用湯匙清除，並將溶液用滴管收集 20ml 至罐中。
6. 測量每個罐子中的 TDS 數值。
7. 用 TDS 數值來統整出不同溶液每次起泡後的清除率，及何者效果較佳。

(五)、海塑粒的量固定，無患子濃度對起泡力的影響

實驗假設:海塑粒的量固定，無患子濃度越高，起泡力越佳。

操作變因:無患子濃度(5、7.5、10、12.5、15%)。

控制變因:起泡機、溶液量(700ml)、海洋微塑粒濃度(1%)。

應變變因:起泡高度。

1. 將 15ml 無患子溶液溶解於 285ml 自來水中(300ml 5% 無患子)，將溶液 270ml 倒入罐中。
2. 再在罐子內加入 80ml 海塑粒，啟動起泡機，並錄影紀錄起泡高度，重複三次。
3. 將 22.5ml 無患子溶液溶解於 277.5ml 自來水中(300ml 7.5% 無患子)，將溶液 270ml 倒入罐中。
4. 再在罐子內加入 80ml 海塑粒，啟動起泡機，並錄影紀錄起泡高度，重複三次。
5. 將 30ml 無患子溶液溶解於 270ml 自來水中(300ml 10% 無患子)，將溶液 270ml 倒入罐中。
6. 再在罐子內加入 80ml 海塑粒，啟動起泡機，並錄影紀錄起泡高度，重複三次。
7. 將 37.5ml 無患子溶液溶解於 262.5ml 自來水中(300ml 12.5% 無患子)，將溶液 270ml 倒入罐中。
8. 再在罐子內加入 80ml 海塑粒，啟動起泡機，並錄影紀錄起泡高度，重複三次。
9. 將 45ml 無患子溶液溶解於 255ml 自來水中(300ml 15% 無患子)，將溶液 270ml 倒入罐中。
10. 再在罐子內加入 80ml 海塑粒，啟動起泡機，並錄影紀錄起泡高度，重複三次。
11. 以起泡高度來判斷不同海塑粒無患子溶液濃度之起泡效果。

(六)、海塑粒的量固定，無患子濃度對海洋微塑粒清除效果的影響。

實驗假設:海塑粒的量固定，無患子濃度越高，起泡後海洋微塑粒清除效果越佳。

操作變因:無患子濃度(5、7.5、10、12.5、15%)。

控制變因:溫度、海洋微塑粒濃度(1%)。

應變變因:海洋微塑粒清除效果(TDS 值)。

1. 將每次起泡完後的 5% 無患子之泡沫用湯匙清除乾淨，分別將溶液裝 20ml 入罐中。
2. 將每次起泡完後的 7.5% 無患子之泡沫用湯匙清除乾淨，分別將溶液裝 20ml 入罐中。
3. 將每次起泡完後的 10% 無患子之泡沫用湯匙清除乾淨，分別將溶液裝 20ml 入罐中。
4. 將每次起泡完後的 12.5% 無患子之泡沫用湯匙清除乾淨，分別將溶液裝 20ml 入罐中。
5. 將每次起泡完後的 15% 無患子之泡沫用湯匙清除乾淨，分別將溶液裝 20ml 入罐中。
6. 用水質檢測筆來測出每一種溶液之 TDS 值，並比較微塑粒清除之效果。

(七)、海塑粒的量固定，無患子與大豆卵磷脂的比例對起泡力的影響

實驗假設:海塑粒的量固定，無患子與大豆卵磷脂的比例會對起泡力造成影響

操作變因:無患子與大豆卵磷脂的比例(1:9、3:7、5:5、7:3、9:1)。

控制變因:起泡機位置、溶液量(350ml)、海洋微塑粒濃度(1%)。無患子、卵磷脂濃度(7.5%)

應變變因:起泡高度。

- 1.將 7.5%無患子 270ml 加入海塑粒 80ml，啟動起泡機，並錄影紀錄起泡高度，重複三次。
- 2.將 7.5%大豆卵磷脂 270ml 加入海塑粒 80ml，啟動起泡機，並錄影紀錄起泡高度，重複三次。
- 3.將 7.5%無患子 27ml 加入 243ml 大豆卵磷脂，再加入 80ml 海塑粒，啟動起泡機，並錄影紀錄起泡高度，重複三次。
- 4.將 7.5%無患子 81ml 加入 189ml 大豆卵磷脂，再加入 80ml 海塑粒，啟動起泡機，並錄影紀錄起泡高度，重複三次。
- 5.將 7.5%無患子 135ml 加入 135ml 大豆卵磷脂，再加入 80ml 海塑粒，啟動起泡機，並錄影紀錄起泡高度，重複三次。
- 6.將 7.5%無患子 189ml 加入 81ml 大豆卵磷脂，再加入 80ml 海塑粒，啟動起泡機，並錄影紀錄起泡高度，重複三次。
- 7.將 7.5%無患子 243ml 加入 27ml 大豆卵磷脂，再加入 80ml 海塑粒，啟動起泡機，並錄影紀錄起泡高度，重複三次。
- 8.以起泡高度來判斷不同無患子與大豆卵磷脂的比例之起泡效果。

(八)、海塑粒的量固定，無患子與大豆卵磷脂的比例對海洋微塑粒清除效果的影響

實驗假設:海塑粒的量固定，無患子與大豆卵磷脂的比例會對海洋微塑粒清除效果造成影響

操作變因:無患子與大豆卵磷脂的比例(1:9、3:7、5:5、7:3、9:1)。

控制變因:溫度、海洋微塑粒濃度(1%)。

應變變因:海洋微塑粒清除效果(TDS 值)。

- 1.將每次起泡完後的 7.5%無患子之泡沫用湯匙清除乾淨，分別將溶液裝 20ml 入罐中。
- 2.將每次起泡完後的 7.5%大豆卵磷脂之泡沫用湯匙清除乾淨，分別將溶液裝 20ml 入罐中。
- 3.將每次起泡完後的 1:9(無:磷脂)溶液之泡沫用湯匙清除乾淨，分別將溶液裝 20ml 入罐中。
- 4.將每次起泡完後的 3:7(無:磷脂)溶液之泡沫用湯匙清除乾淨，分別將溶液裝 20ml 入罐中。
- 5.將每次起泡完後的 5:5(無:磷脂)溶液之泡沫用湯匙清除乾淨，分別將溶液裝 20ml 入罐中。
- 6.將每次起泡完後的 7:3(無:磷脂)溶液之泡沫用湯匙清除乾淨，分別將溶液裝 20ml 入罐中。
- 7.將每次起泡完後的 9:1(無:磷脂)溶液之泡沫用湯匙清除乾淨，分別將溶液裝 20ml 入罐中。
- 8.用水質檢測筆來測出每一種溶液之 TDS 值，並比較微塑粒清除之效果。

(九)、模擬此裝置在真實海水使用的情況。

實驗假設:目前最佳配方能有效地在真實海水中清除微塑粒

操作變因:海水中是否加入微塑粒

控制變因:溫度、海洋微塑粒濃度(1%)、卵磷脂濃度(7.5%)、最佳配方比例

應變變因:海洋微塑粒清除效果(TDS 值)。

1.先至大安海水浴場採五瓶 300ml 的海水

2.將海水 80ml 加入 270ml 大豆卵磷脂中(目前最佳配方)，並倒入罐中

3.啟動起泡機，並將起泡完的泡沫用湯匙清除乾淨後，裝 20ml 溶液入罐中，重複三次

4.將海水 80ml 中加入 0.8g 微塑粒及 270ml 大豆卵磷脂中(目前最佳配方)，並倒入罐中

5.啟動起泡機，並將起泡完的泡沫用湯匙清除乾淨後，裝 20ml 溶液入罐中，重複三次

6.用水質檢測筆來測出每一罐溶液之 TDS 值，並觀察此裝置在海中微塑粒清除之效果。

伍、研究結果與討論

(一)、起泡劑種類對接觸角(親疏水性及成球性質)的影響

實驗假設:不同種類的起泡劑分子特性會影響泡泡接觸角，接觸角越大越為疏水性，大致來說具有較大的表面張力，越易形成球體。

操作變因:起泡劑種類(泡泡水、果膠、無患子)。

控制變因:海塑粒濃度(3.5%鹽水 23ml+微塑粒 0.23g)、塑膠微粒目數(300 目，孔徑=48 微米)、起泡劑濃度(泡泡水、果膠、無患子)、溫度。

應變變因:泡泡接觸角。

表 5-1-1 起泡劑種類對接觸角(親疏水性及成球性質)的影響(作者繪製)

海塑粒起泡劑種類	接觸角 1	接觸角 2	接觸角 3	接觸角 4	接觸角 5	平均接觸角 (度)	標準差
海塑粒+泡泡水	17.8	30.4	23	17.1	41.1	25.88	10.0
海塑粒+果膠	22	16.6	26.6	14.1	13.8	18.62	5.5
海塑粒+無患子	42.7	38.5	45.2	46.4	37.8	42.12	3.9
海塑粒	36.3	42.4	27.7	23.4	26.7	31.30	7.8
3.5%鹽水	9.6	28.9	27.3	18.8	22.2	21.36	7.7
純水	161.8	166.2	159.5	162.7	162.7	162.58	2.4
純油	171.0	174.6	172.6	162.3	173.4	170.78	4.9
泡泡水	27.1	22.7	35.1	28.8	26.9	28.12	4.5
無患子溶液	17.5	39	28.4	42.4	20.9	29.64	10.9

註：海塑粒 :3.5% 鹽水 23ml+ 微塑膠 0.23g ，微塑粒在鹽水中濃度為 1% 。

圖5-1-1 起泡劑種類對接觸角(親疏水性及成球性質)的影響

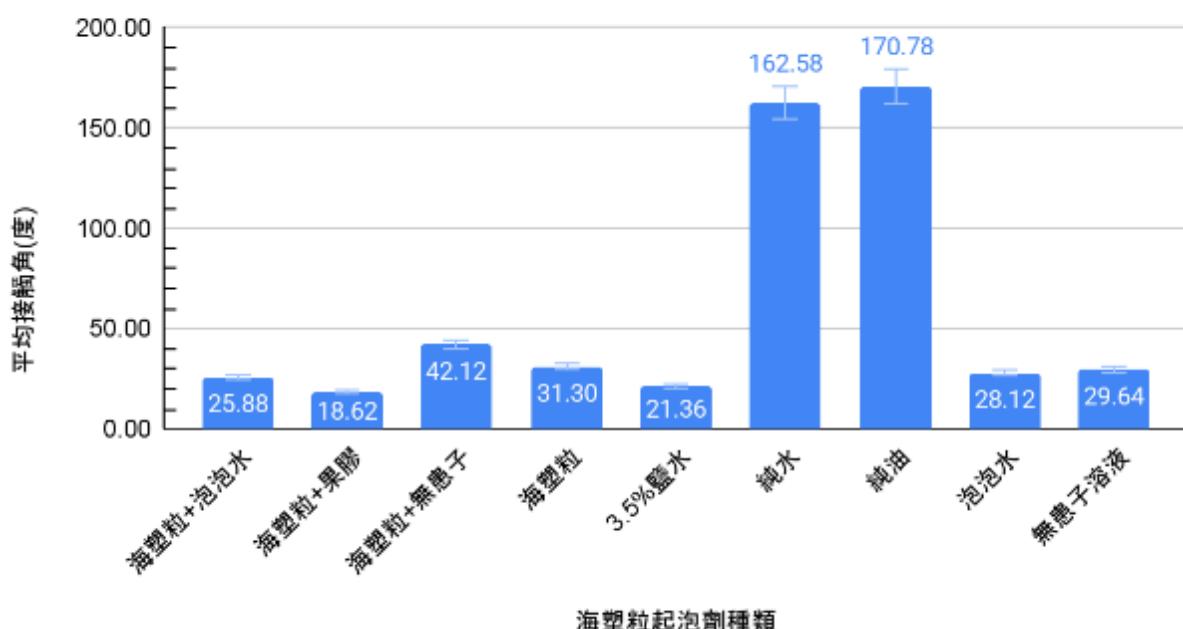


圖 5-1-1 起泡劑種類對接觸角(親疏水性及成球性質)的影響(作者繪製)

實驗結果：

1. 數據關係 what: 純水的接觸角為 162.58 度，純油的接觸角為 170.78 度，泡泡水接觸角 28.12 度，無患子溶液接觸角 29.64 度，泡泡水添加海塑粒後接觸角變小(28.12 變 25.55)，無患子溶液添加海塑粒後接觸角變大(29.64 變 42.12)，代表用無患子溶液溶解海塑粒後較為親油性，成球的機會更高，接觸角大到小為海塑粒無患子>海塑粒泡泡水>海塑粒果膠，形成球面易到難為海塑粒無患子>海塑粒泡泡水>海塑粒果膠，選用無患子與泡泡水進行以下起泡力與海塑粒清除實驗。

2. 原理與討論 why: 測量接觸角來評估材料的性質，接觸角是在固體表面形成的角度，角度越小表示材料越親水，角度越大表示材料越疏水，接觸角的簡單測量方法，如下圖 5-2-3。

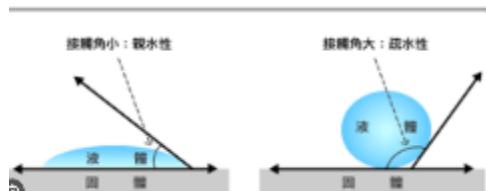


圖 5-1-2 以座滴法測量接觸角(取自:維基百科)

3. 新發現與應用 How: 海塑粒較單純鹽水的親油性高，由鹽水與海塑粒的接觸角變化知道(21.36 度變 31.30 度)，海洋塑膠問題也會影響海水表面張力性質，例如:2021 年，發現雷達偵測到海平面特別平滑的區域，不但風浪規模較小，數量也較少。研究團隊意識到這些異常現象與大太平洋垃圾帶有一致性，後來有其他研究發現當塑膠海水加入表面活性劑時，平滑現象就出現了。這種化學物質會減少海水的表面張力，進而影響波浪活動，因為是塑膠生產或分解的副產物，經常伴隨塑膠微粒出現，因此會依循同樣的洋流移動(楊恩，2023)，**無患子**比泡泡水的親油性好，成球性質佳，作為去除海洋微塑粒的介面活性劑較為適合。

海塑粒+泡泡水	海塑粒+果膠
海塑粒+無患子	海塑粒

圖 5-1-3 以座滴法測量接觸角實驗照片(作者拍攝、製作)

(二)、海塑粒濃度與 TDS 數值的關係

實驗假設：TDS 數值與海塑粒濃度關係呈線性趨勢，TDS 數值可成為海塑粒濃度的檢量線。

操作變因:海塑粒濃度(ppm)。

控制變因:溫度、無患子濃度(5%)、塑膠微粒目數(300 目，孔徑=48 微米)。

應變變因:TDS 數值(溶解性固體總量)。

表 5-2-1 不同海塑粒起泡劑溶液之濃度對 TDS 讀數的影響(檢量線實驗)(作者繪製)

溶液種類	TDS1	TDS2	TDS3	TDS4	TDS5	TDS6	TDS7	TDS8	TDS9	TDS10	TDS 平均	TDS 標準差
自來水	144.0	151.0	153.0	158.0	159.0	158.0	160.0	163.0	162.0	163.0	157.1	6.1
0.035%鹽水	421.0	422.0	420.0	421.0	422.0	422.0	425.0	423.0	423.0	420.0	421.9	1.5
1%海塑粒	濃度過高	X	X									
3.5%鹽水	濃度過高	X	X									
5%無患子	311.0	310.0	313.0	313.0	318.0	317.0	318.0	320.0	312.0	319.0	315.1	3.7
10000ppm 海塑粒無患子	1920.0	1900.0	1810.0	1890.0	1900.0	1900.0	1900.0	1880.0	1890.0	1870.0	1886.0	29.9.
5000ppm 海塑粒無患子	811.0	907.0	945.0	941.0	970.0	986.0	981.0	961.0	970.0	961.0	943.3	51.8
2500ppm 海塑粒無患子	561.0	571.0	573.0	617.0	615.0	612.0	605.0	604.0	601.0	592.0	595.1	20.0
1250ppm 海塑粒無患子	330.0	327.0	325.0	326.0	324.0	326.0	323.0	324.0	317.0	317.0	323.9	4.1
625ppm 海塑粒無患子	219.0	218.0	219.0	216.0	218.0	211.0	215.0	215.0	214.0	215.0	216.0	2.5
312.5ppm 海塑粒無患子	174.0	176.0	174.0	173.0	174.0	174.0	172.0	174.0	172.0	172.0	173.5	1.3
156.25ppm 海塑粒無患子	148.0	149.0	149.0	150.0	149.0	149.0	147.0	148.0	147.0	148.0	148.4	1.0
市售泡泡水	1850.0	1870.0	1880.0	1900.0	1900.0	1890.0	1880.0	1900.0	1920.0	1910.0	1890.0	20.5
10000ppm 海塑粒泡泡水	8250.0	8280.0	8300.0	8300.0	8310.0	7430.0	7420.0	8230.0	8490.0	8480.0	8149.0	391.5
5000ppm 海塑粒泡泡水	3870.0	3830.0	3850.0	3850.0	3600.0	3590.0	3740.0	3760.0	3850.0	3870.0	3781.0	107.4
2500ppm 海塑粒泡泡水	2530.0	2460.0	2420.0	2750.0	2610.0	2570.0	2590.0	2640.0	2730.0	2650.0	2595.0	106.1
1250ppm 海塑粒泡泡水	1510.0	1500.0	1480.0	1490.0	1340.0	1370.0	1480.0	1360.0	1340.0	1350.0	1422.0	74.8
625ppm 海塑粒泡泡水	533.0	535.0	546.0	635.0	653.0	650.0	648.0	727.0	623.0	737.0	628.7	72.8
312.5ppm 海塑粒泡泡水	370.0	371.0	369.0	369.0	367.0	368.0	370.0	409.0	405.0	410.0	380.8	18.8

156.25ppm 海塑粒泡泡水	294.0	287.0	294.0	295.0	269.0	267.0	260.0	263.0	262.0	259.0	275.0	15.5
---------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------

註：因 3.5% 鹽水及 1% 海塑粒都無法測量到數值，故後面如有要測量數值都會將其稀釋 100 倍

圖 5-2-1 海塑粒無患子濃度與 TDS 數值的關係

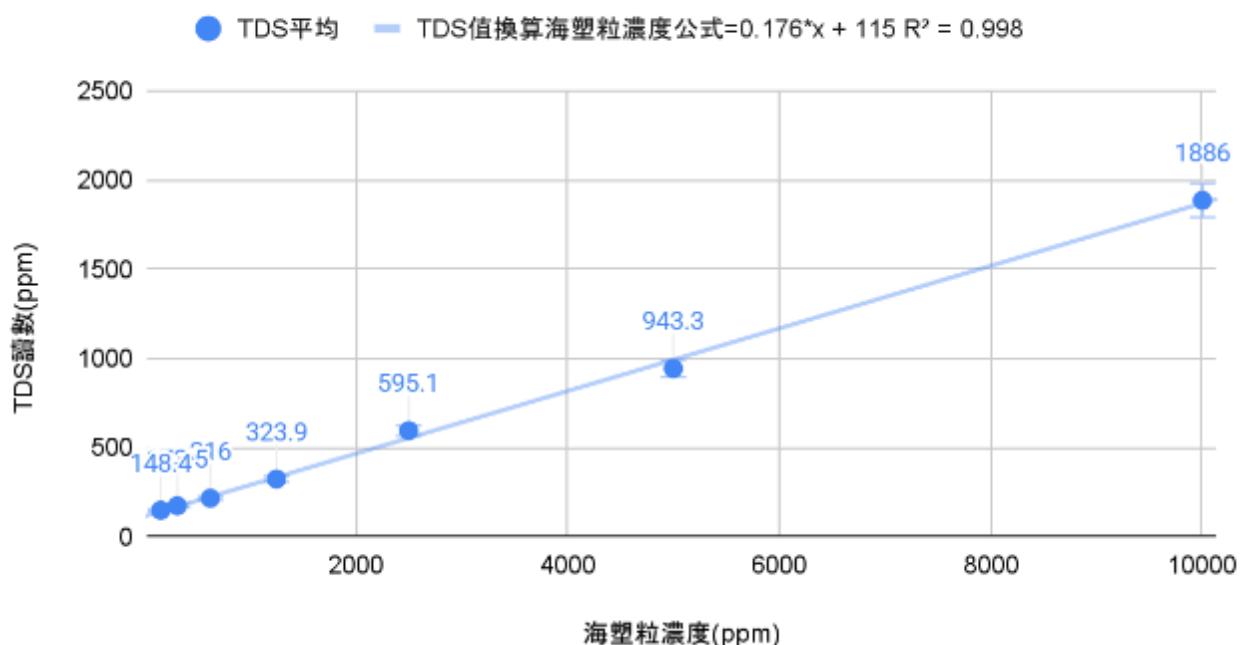


圖 5-2-1 海塑粒無患子濃度與 TDS 數值的關係(作者繪製的檢量線)

圖 5-2-2 海塑粒泡泡水濃度與 TDS 數值的關係

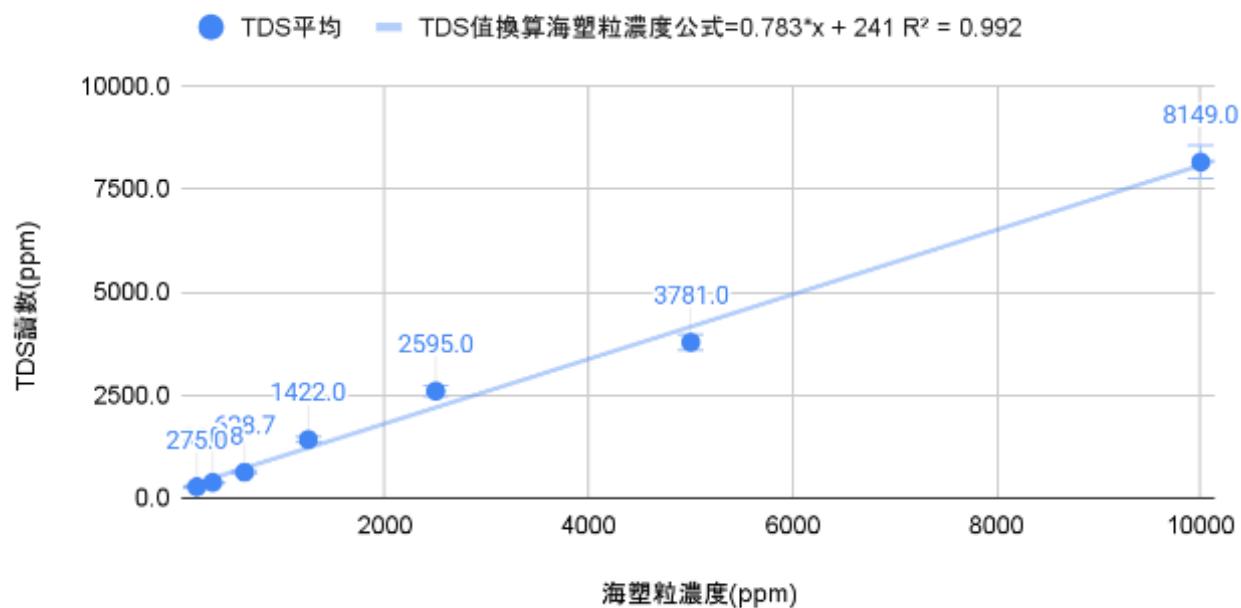


圖 5-2-2 海塑粒泡泡水濃度與 TDS 數值的關係(作者繪製的檢量線)

實驗結果：

1. 數據關係 what: 海塑粒濃度幾乎與 TDS 數值成正比，且到 156.25ppm 塑膠微粒的 TDS 數值就會低於自來水，所以 TDS 數值可以隨海塑粒濃度大小而變化，而且具有預測性，TDS 值可以成為海塑粒濃度的檢量線。海塑粒濃度轉換方程式為

$$\text{無患子公式 : } \text{TDS} = 0.176 * \text{海塑粒濃度} + 115 \cdots \text{式 5-3-4}$$

$$\text{泡泡水公式 : } \text{TDS} = 0.783 * \text{海塑粒濃度} + 241 \cdots \text{式 5-3-5}$$

2. 原理與討論 why: TDS 水質檢測劑通常配備有電導率探頭，該探頭能夠測量水中離子的導電能力，當水中有溶解的固體（如鹽類、礦物質等）則會增加水的導電率，可以推算總溶解性物質。在環境部全國環境水質監測資訊網(2024)對於 TDS 的解釋是，TDS 在水中溶解的固體物質總量（包括溶解性碳酸氫離子、氯鹽、硫酸鹽、鈣、鎂、鈉與鉀等；揮發及非揮發性固體）。其濃度會影響飲用水之可口度。量測方法為水樣經過濾 ($0.45 \mu\text{m}$) 後，濾液於 $103^\circ\text{C} \sim 105^\circ\text{C}$ 烘乾後之殘餘重量。

3. 新發現與應用 How: TDS 數值可以對應溶液中的海塑粒濃度，此測量方式比起用顯微鏡看還要準確，也比 FTIR/Raman 光譜需要處理許久還要方便，是一項新的發現。可能是海洋中微塑粒與帶電鹽類之間產生些許依附關係(本實驗模擬海水為配置 3.5% 鹽水)，假設海塑粒在海水中是帶有電荷的粒子，供讀者參考。

		
海塑粒溶液的 TDS 測量	海塑粒無患子溶液的 TDS 測量	海塑粒泡泡水溶液的 TDS 測量

圖 5-2-3 海塑粒溶液濃度對 TDS 讀數的實驗照片(作者拍攝)

(三)、不同介面活性劑(的 HLB 值)對起泡力的影響

實驗假設:不同介面活性劑的 HLB 值會對起泡力造成影響。

操作變因:介面活性劑種類(泡泡水、無患子、白蠟油)。

控制變因:起泡機、漏斗位置、溶液量(700ml)、無患子濃度(5%)、海洋微塑粒濃度(1%)。

應變變因:起泡高度。

表 5-3-1 不同介面活性劑(的 HLB 值)對起泡力的影響(作者繪製)

溶液種類	起泡高度 1	起泡高度 2	起泡高度 3	平均起泡高度	標準差
0.035%鹽水	0	0	0	0.0	0.0
0.01%海塑粒	0	0	0	0.0	0.0
泡泡水	17	19.9	21	19.3	2.1
5%無患子	10.8	6.4	4.3	7.2	3.3
海塑粒無患子	10.4	8	1.8	6.7	4.4
海塑粒泡泡水	12.8	2.8	1.6	5.7	6.1
海塑粒白蠟油	0	0	0	0.0	0.0

註:每次起泡皆為 100 秒。

圖 5-3-1 不同介面活性劑(的 HLB 值)對起泡力的影響

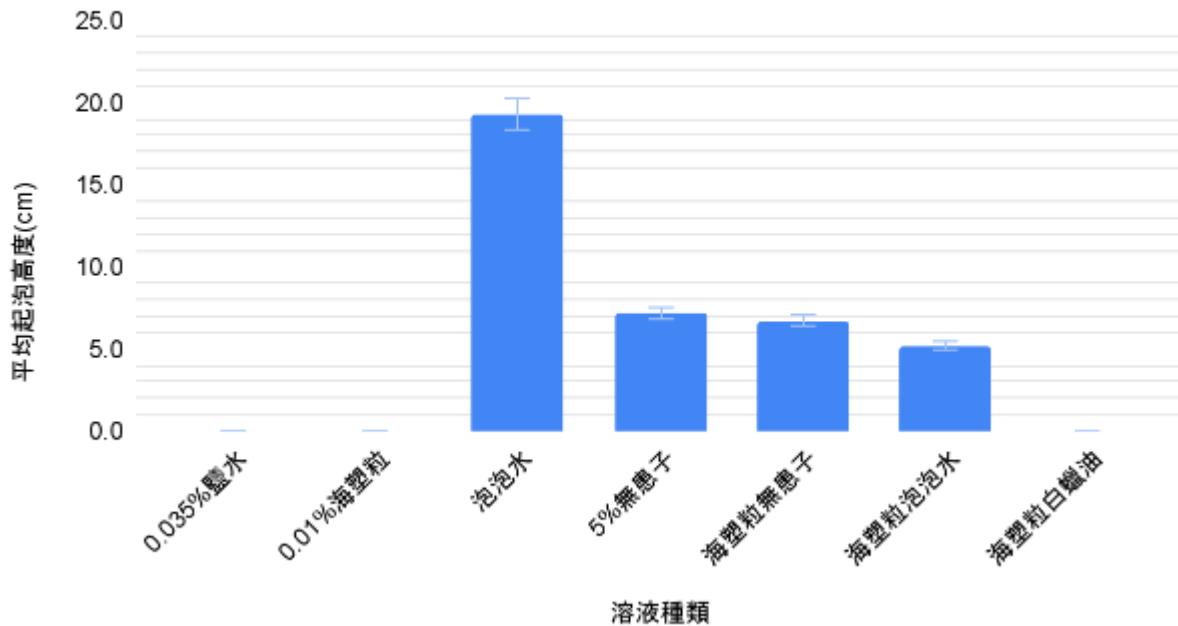


圖 5-3-1 不同介面活性劑(的 HLB 值)對起泡力的影響(作者繪製)

圖 5-3-2 起泡次數對不同 HLB 值界面活性劑的起泡力影響

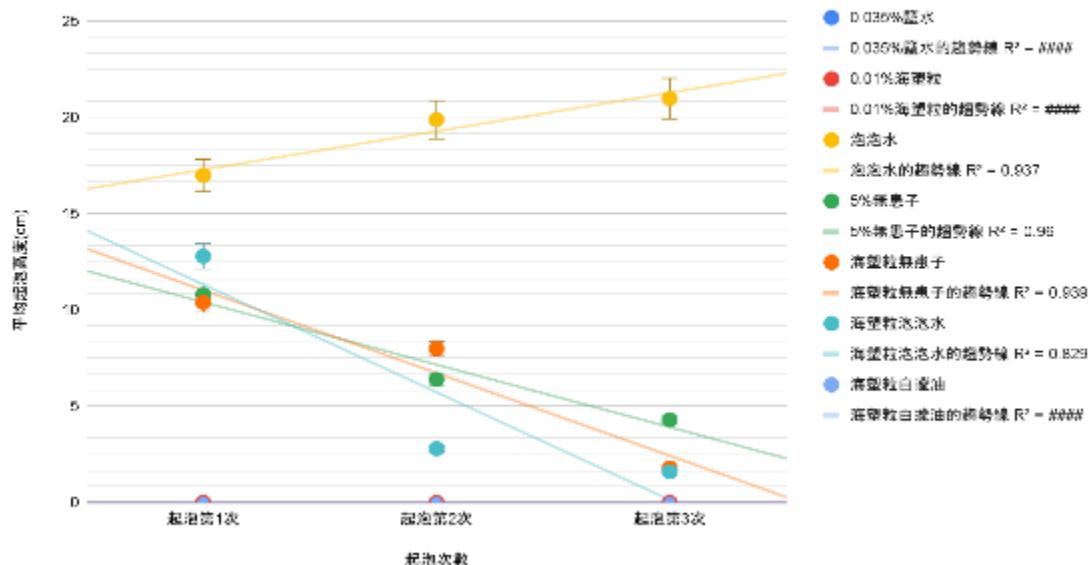


圖 5-3-2 起泡次數對不同 HLB 值界面活性劑的起泡力影響(作者繪製)

實驗結果：

- 數據關係 what: 0.035% 鹽水及 0.01% 海塑粒與白蠟油均無法自行起泡，起泡高度為 0 公分，泡泡水的起泡力雖然好，且每次起泡不隨起泡次數下降(17.0, 19.9, 21.0)，但是加入海塑粒後起泡力大幅下降(12.8, 2.8, 1.6)，且每次起泡後的起泡力越來越差，無患子則是起泡力低於泡泡水且逐次降(10.4, 8.0, 1.8)，但是加入海塑粒後起泡不變(10.4, 8.0, 1.8)，甚至還優過於海塑粒泡泡水。
- 原理與討論 why: 理論上，起泡劑起泡力與污垢清除率呈正相關，無患子之 HLB 值大約為 14-16 左右，屬於親水性界面活性劑；泡泡水之 HLB 值則是約 20 左右，也屬於親水性界面活性劑，親水效果較無患子強，所以我猜測泡泡水加入海塑粒後起泡力大幅下降，有可能是因為與親油性的海塑粒不合，降低泡泡的穩定性，而無患子較能與海塑粒結合，形成穩定泡泡，所以起泡效果沒有大幅下降，也有可能是泡泡水較能與質量偏重的微塑粒海水結合後因為牽引後質量太重，所以高度不容易上升。
- 新發現與應用 How: **無患子的起泡效果最好**，且不同 HLB 值的界面活性劑會有不同的起泡效果，代表可能對塑膠微粒有不同的清除效果，而實際測量微塑粒濃度變化是最直接的方式。

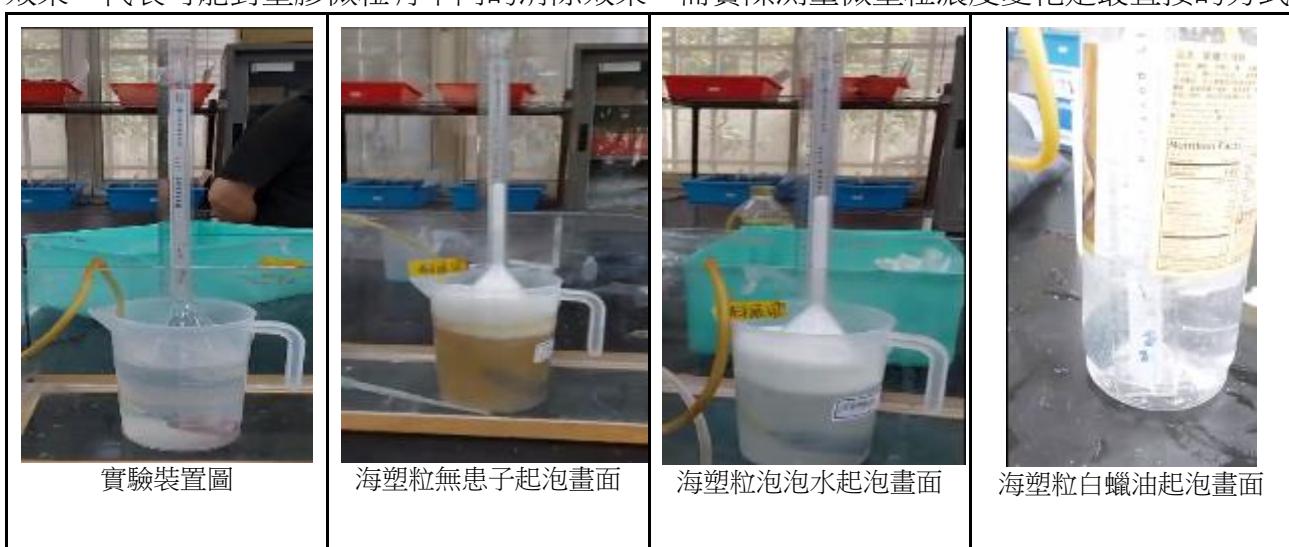


圖 5-3-3 不同海塑粒起泡劑起泡畫面、起泡實驗裝置圖(作者拍攝)

(四)、不同介面活性劑(的 HLB 值)對海洋微塑粒清除效果的影響

實驗假設:不同 HLB 值介面活性劑的 HLB 值起泡後對海洋微塑粒清除效果會造成影響。

操作變因:介面活性劑種類(泡泡水、無患子、白蠟油)。

控制變因:無患子濃度(5%)、溫度、海洋微塑粒濃度(1%)。

應變變因:海洋微塑粒清除效果(TDS 值)。

表 5-4-1 不同介面活性劑的 HLB 值對海洋微塑粒清除效果的影響(作者繪製)

起泡次數/TDS 平均	0.035% 鹽水	0.01% 海塑粒	1% 海塑粒無患子	無患子微塑粒清除 (%)	1% 海塑粒泡泡水	海塑粒泡泡水清除 (%)	1% 海塑粒白蠟油	海塑粒白蠟油清除 (%)
未起泡 TDS 平均	338.7	506.7	7596.7	X	8463.3	X	8030.0	X
起泡一 TDS 平均	350.7	474.3	7223.3	4.9	8333.3	1.5	6910.0	13.9
起泡二 TDS 平均	347.7	468.7	7363.3	3.1	8030.0	3.6	6230.0	22.4
起泡三 TDS 平均	350.3	505.3	7470.0	1.7	8196.7	3.2	6076.7	24.3

註:無患子對微塑粒總清除率 9.7%，泡泡水對微塑粒總清除率 8.3%，白蠟油對微塑粒總清除率 60.7%

圖 5-4-1 起泡次數對不同 HLB 值介面活性劑的 TDS 值影響

● 0.035% 鹽水 ● 0.01% 海塑粒 ● 1% 海塑粒無患子 ● 1% 海塑粒泡泡水 ● 1% 海塑粒白蠟油

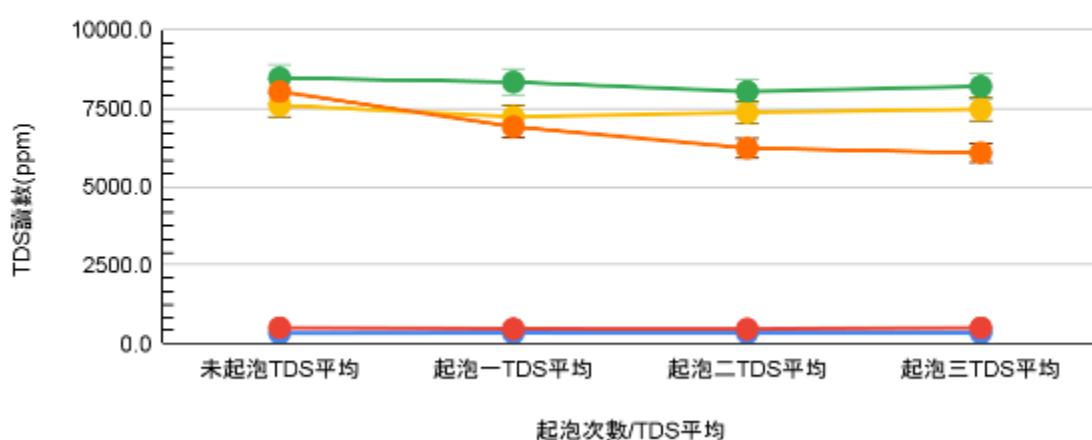


圖 5-4-1 起泡次數對不同 HLB 值介面活性劑的 TDS 值影響(作者繪製)

圖 5-4-2 起泡次數對不同起泡劑的微塑膠清除率

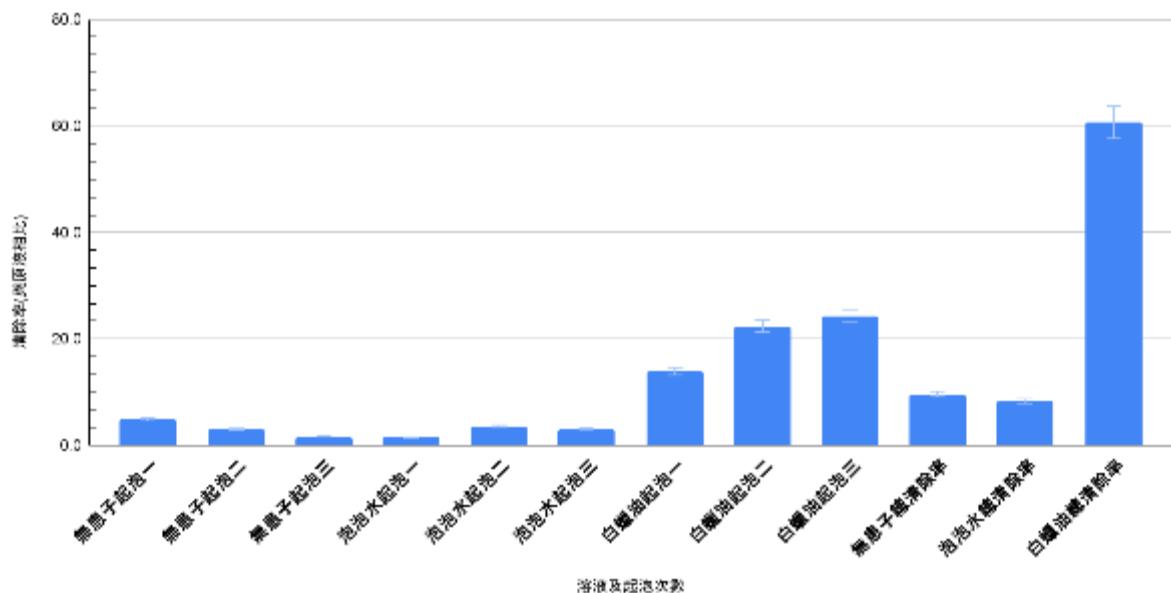


圖 5-4-2 起泡次數對不同起泡劑的微塑膠清除率(作者繪製)

實驗結果：

- 數據關係 what: 介面活性劑起泡後都會降低微塑膠濃度，白蠟油三次起泡都可很有效的清除(13.9 22.4 24.3)比較無患子與泡泡水時，初次起泡無患子效果較泡泡水佳(4.9%>1.5%)，但是二、三次起泡無患子的清除率不增反減(1.7%<3.1%<4.8%)，反而泡泡水二、三次起泡的清除率都有些微提升(3.6>3.2%>1.5%)。
- 原理與討論 why: 泡泡水成分是甘油(丙三醇)偏向親水性介面活性劑，無患子(天然皂甘)較泡泡水親油一點，白蠟油(烷類)為極為親油的介面活性劑，所以泡泡水的起泡性比較不隨起泡次數變化，而分散不均勻的無患子比較會隨起泡次數而做起泡力改變，白蠟油則是三次起泡都能有極佳的清除率。而且對照組海塑粒的 TDS 值也隨起泡次數下降，海塑粒溶液並無起泡與去泡過程，代表單純打水通氣也能讓 TDS 數值下降。
- 新發現與應用 How: 白蠟油雖然有很好的清除率，但並不天然，而無患子的效果雖然沒有白蠟油好，但也稍泡泡水好一些，我想試著調整無患子的濃度，來探討起泡力與 TDS 值是否會產生變化，也來試著找看看天然的親油性界面活性劑，來提高微塑粒清除率。



圖 5-4-3 不同海塑粒起泡劑起泡後對 TDS 讀數的實驗照片(作者拍攝)

(五)、海塑粒的量固定，無患子濃度對起泡力的影響

實驗假設:海塑粒的量固定，無患子濃度越高，起泡力越佳。

操作變因:無患子濃度(5、7.5、10、12.5、15%)。

控制變因:起泡機、溶液量(700ml)、海洋微塑粒濃度(1%)。

應變變因:起泡高度。

表 5-5-1 海塑粒的量固定，無患子濃度對起泡力的影響(作者繪製)

無患子濃度	起泡高度一	起泡高度二	起泡高度三	平均	標準差
5%	5.8	9.6	11.4	8.9	2.9
7.5%	9.5	9.9	11.8	10.4	1.2
10%	13.6	11	12.1	12.2	1.3
12.5%	8.1	9.8	11	9.6	1.5
15%	7.9	7.6	8	7.8	0.2

註:每次起泡皆為 100 秒

圖5-5-1海塑粒的量固定，無患子濃度對起泡力的影響

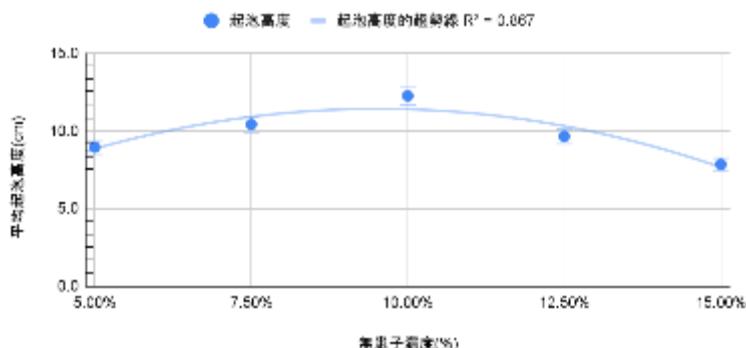


圖 5-5-1 海塑粒的量固定，無患子濃度對起泡力的影響(作者繪製)

實驗結果：

- 數據關係 what:起泡力有隨著濃度增加，但在 10%後的起泡力漸漸下降，無患子的最佳起泡比例約為 10%左右。
- 原理與討論 why:無患子的濃度越高，起泡力越好，但我推測超過 10%後無患子濃度過高，反而對起泡造成反效果，文獻指出只要起泡劑的濃度達到微胞形成的最小濃度即可，不須太高(蘇裕昌，2015)。
- 新發現與應用 How:10%無患子加 1%海塑粒的起泡力最佳，但仍需要直接進行 TDS 實驗，來比較何者濃度對微塑粒清除率較好。

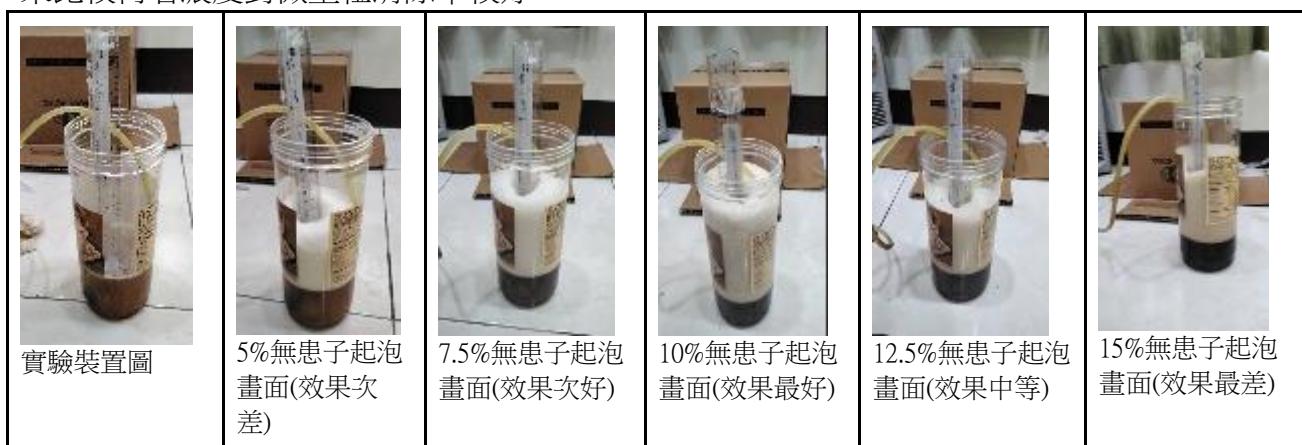


圖 5-5-2 海塑粒的量固定，無患子濃度對起泡力的影響的實驗照片(作者拍攝)

(六)、海塑粒的量固定，無患子濃度對海洋微塑粒清除效果的影響

實驗假設:海塑粒的量固定，無患子濃度越高，起泡後海洋微塑粒清除效果越佳。

操作變因:無患子濃度(5、7.5、10、12.5、15%)。

控制變因:溫度、海洋微塑粒濃度(1%)。

應變變因:海洋微塑粒清除效果(TDS 值)。

表 5-6-1 海塑粒的量固定，無患子濃度對海洋微塑粒清除效果的影響(作者繪製)

起泡次數/TDS 平均	5%	7.5%	10%	12.5%	15%
未起泡 TDS 平均	7856.7	8220.0	8526.7	8830.0	9393.3
起泡一 TDS 平均	7763.3	8180.0	8423.3	8940.0	9456.7
起泡二 TDS 平均	7806.7	7970.0	8463.3	9370.0	9373.3
起泡三 TDS 平均	7340.0	7786.7	8470.0	9416.7	9740.0

表 5-6-2 海塑粒的量固定，無患子濃度對海洋微塑粒清除率的影響(作者繪製)

濃度與起泡次數	5%起泡一	5%起泡二	5%起泡三
清除率(與原液相比)	1.2	0.6	6.6
濃度與起泡次數	7.5%起泡一	7.5%起泡二	7.5%起泡三
清除率(與原液相比)	0.5	3.0	5.3
濃度與起泡次數	10%起泡一	10%起泡二	10%起泡三
清除率(與原液相比)	1.2	0.7	0.7
濃度與起泡次數	12.5%起泡一	12.5%起泡二	12.5%起泡三
清除率(與原液相比)	-1.2	-6.1	-6.6
濃度與起泡次數	15%起泡一	15%起泡二	15%起泡三
清除率(與原液相比)	-0.7	0.2	-3.7

圖5-6-1海塑粒的量固定，無患子濃度對海洋微塑粒清除效果的影響

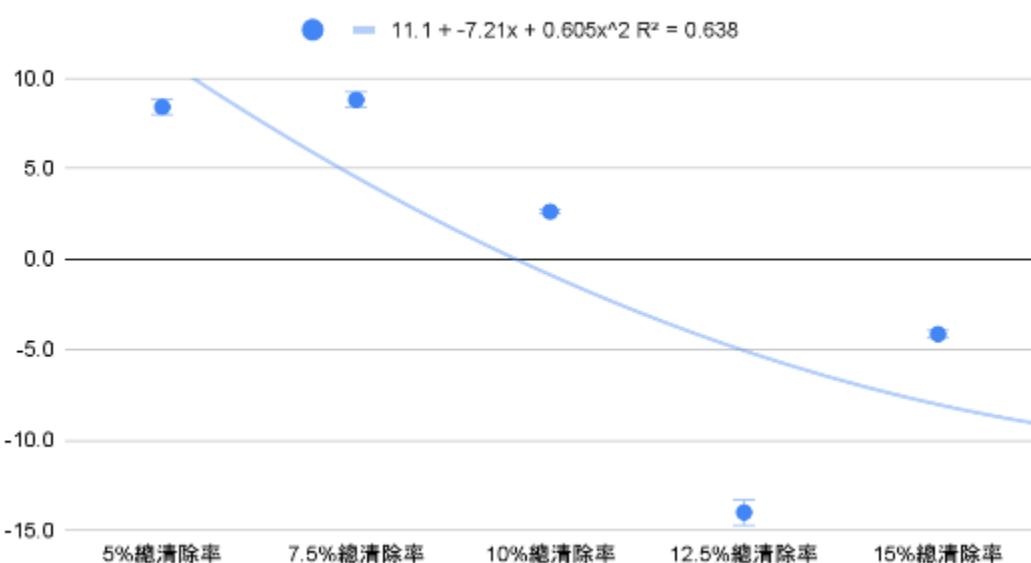


圖 5-6-1 海塑粒的量固定，無患子濃度對海洋微塑粒清除效果的影響(作者繪製)

實驗結果：

1. 數據關係 what: 7.5% 無患子溶液的清除率較對照組好，有隨著濃度增加，但在 7.5% 後的清除率漸漸下降，無患子的最佳清除微塑粒比例約為 7.5%左右。
2. 原理與討論 why: 雖然 10%的起泡力較好，但因為無患子濃度過高不易清除的原因，導致 TDS 值偏高，則 12.5、15%起泡力皆越來越低，加上本身無患子濃度過高之原因，在泡泡清除後，剩下來的溶液還有過多的無患子溶質，導致 TDS 值增加，所以清除率計算上結果不增反減，甚至 TDS 值起泡後還較原液高。
3. 新發現與應用 How: 10%以上的無患子濃度都濃度過高，對海塑粒清除率皆造成反效果，**7.5%無患子溶液可以有效清除 1%海塑粒溶液中佔比 8.8%的微塑粒溶質**。

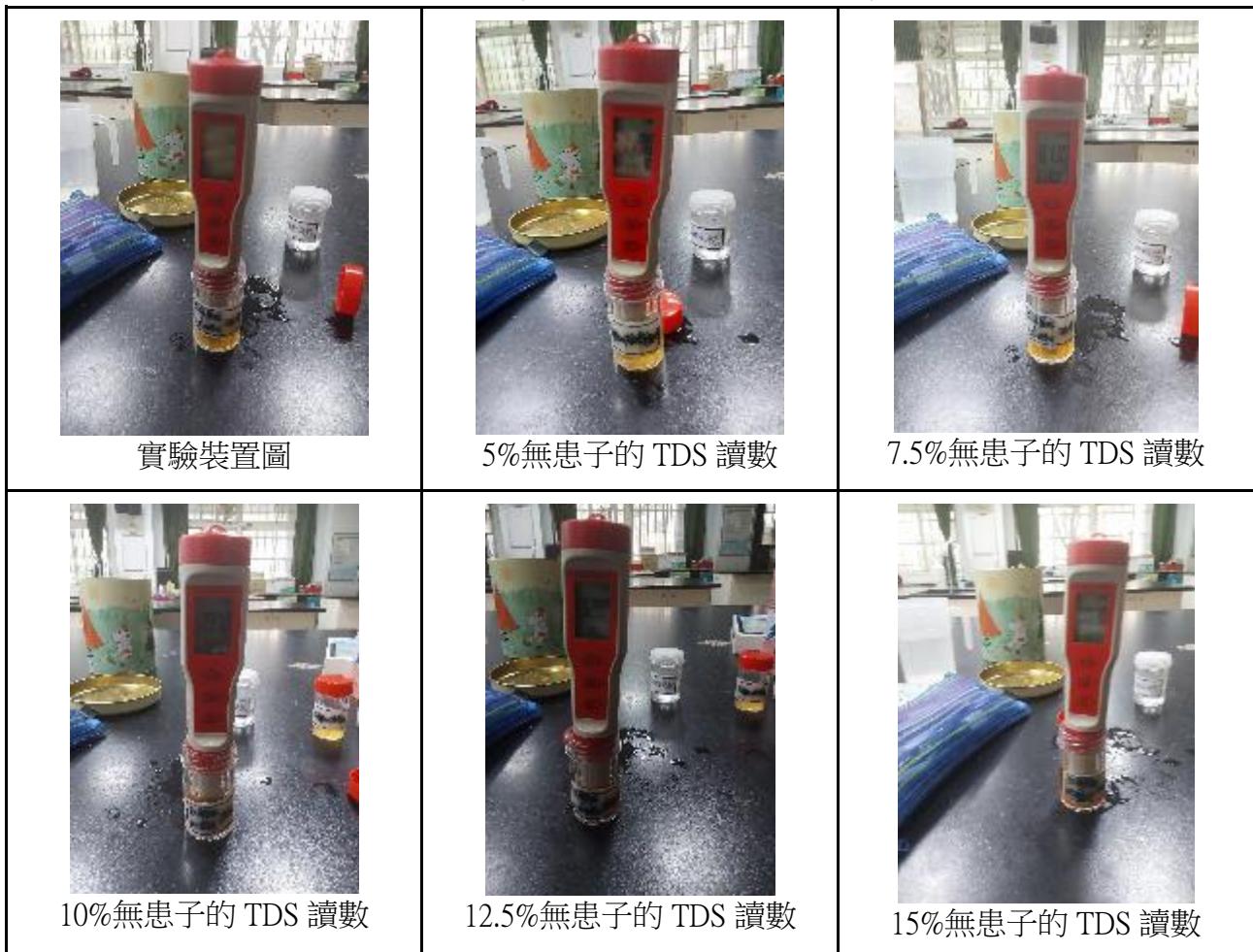


圖 5-6-2 海塑粒的量固定，無患子濃度對 TDS 讀數的影響的實驗照片(作者拍攝)

(七)、海塑粒的量固定，無患子與大豆卵磷脂的比例對起泡力的影響

實驗假設:海塑粒的量固定，無患子與大豆卵磷脂的比例會對起泡力造成影響

操作變因:無患子與大豆卵磷脂的比例(1:9、3:7、5:5、7:3、9:1)。

控制變因:起泡機位置、溶液量(350ml)、海洋微塑粒濃度(1%)。無患子、卵磷脂濃度(7.5%)

應變變因:起泡高度。

表 5-7-1 海塑粒的量固定，無患子與大豆卵磷脂的比例對起泡力的影響(作者繪製)

無患子、磷脂比例	無患子濃度(%)	起泡高度 1(cm)	起泡高度 2(cm)	起泡高度 3(cm)	平均	標準差
1:9	10.00	13.30	11.60	11.90	12.27	0.91
3:7	30.00	9.40	10.10	10.30	9.93	0.47
5:5	50.00	7.90	7.60	8.10	7.87	0.25
7:3	70.00	12.30	13.60	13.70	13.20	0.78
9:1	90.00	9.90	12.50	11.80	11.40	1.35
7.5%無患子	100.00	11.30	12.00	11.80	11.70	0.36
7.5%大豆卵磷脂	0.00	10.40	10.70	9.70	10.27	0.51

註:起泡時間皆為 50 秒

圖 5-7-1 海塑粒的量固定，無患子與大豆卵磷脂的比例對起泡力的影響

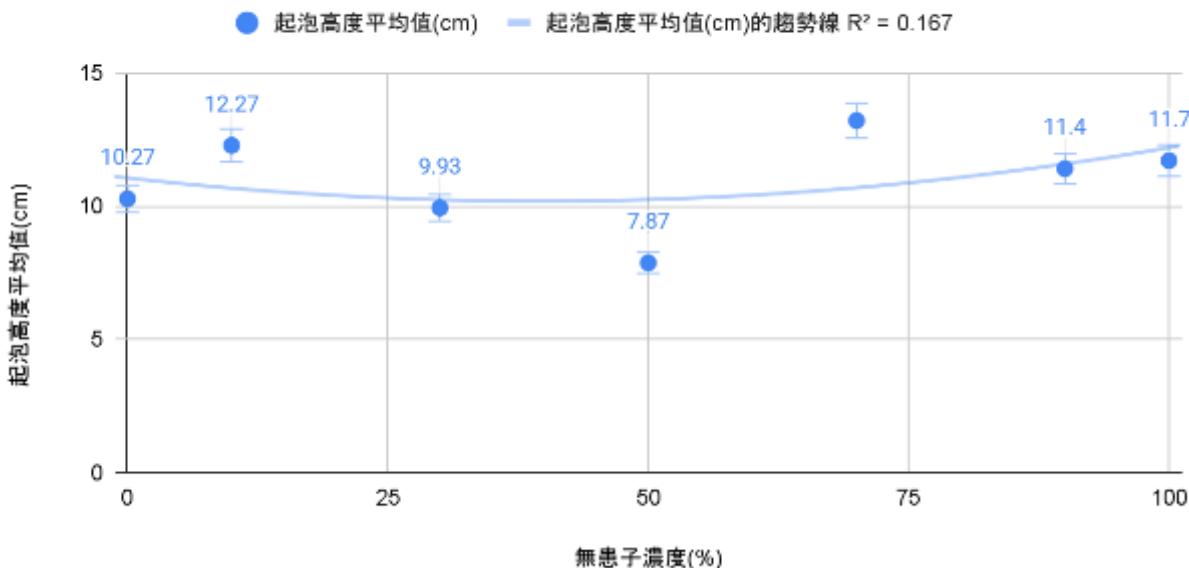


圖 5-7-1 海塑粒的量固定，無患子與大豆卵磷脂的比例對起泡力的影響(作者繪製)

實驗結果：

1. 數據關係 what: 無患子與大豆卵磷脂無論比例如何，起泡力都有不錯的效果，但其中又以無患子:大豆卵磷脂=7:3 的效果最佳

2. 原理與討論 why: 單純無患子與單純大豆卵磷脂的起泡力差不多(11.70cm 與 10.27cm)，等濃度下的等體積混合之起泡力最低(7.87cm)，因為無患子和卵磷脂都為界面劑，可以降低水的表面張力，但如果超過個別溶劑的『臨界微胞濃度』(Critical micelle concentration,CMC)後，會剩下多餘的界面活性劑分子，使形成凝聚體而影響起泡高度。再者，差異大的 HLB 值溶劑混合可能造成拮抗效應，使起泡力降低，因為皂素 HLB 值大者應會形成水包油(O/W)的微胞體系，反之，大豆卵磷脂的 HLB 值小會形成油包水 (W/O) 的微胞形式，兩種微胞結後互相干擾，造成整體的起泡高度下降許多。

3.新發現與應用 How:無患子與大豆卵磷脂的比例以 7:3 有最好的起泡力，我們在下個實驗中探討最佳清除微塑粒之比例。

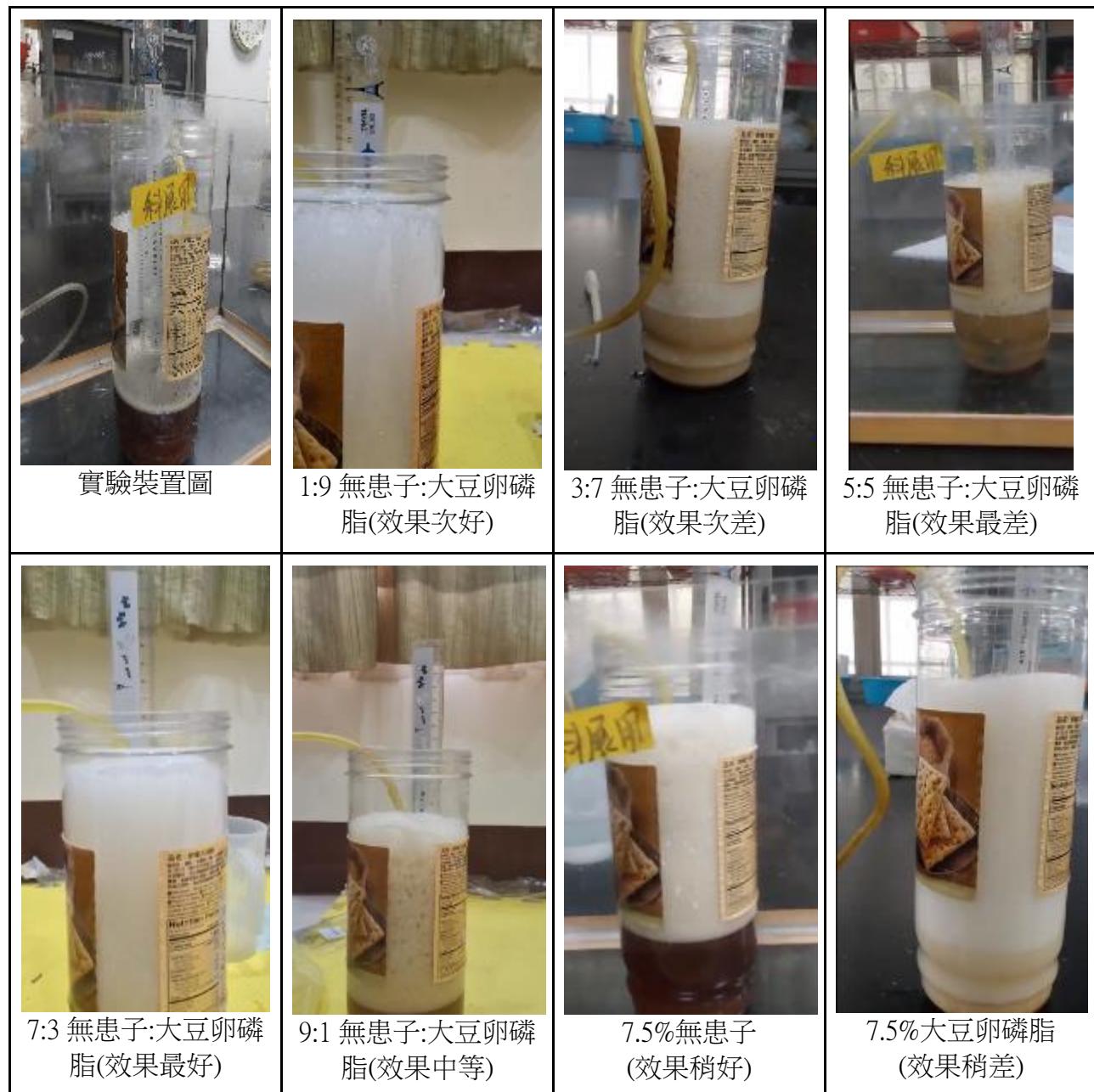


圖 5-7-2 海塑粒的量固定，無患子與大豆卵磷脂的比例對起泡力的影響的實驗照片(作者拍攝)

(八)、海塑粒的量固定，無患子與大豆卵磷脂的比例對海洋微塑粒清除效果的影響

實驗假設:海塑粒的量固定，無患子與大豆卵磷脂的比例會對海洋微塑粒清除效果造成影響

操作變因:無患子與大豆卵磷脂的比例(1:9、3:7、5:5、7:3、9:1)。

控制變因:溫度、海洋微塑粒濃度(%)。

應變變因:海洋微塑粒清除效果(TDS 值)。

表 5-8-1 海塑粒的量固定，無患子與大豆卵磷脂比例對海洋微塑粒清除效果的影響(作者繪製)

無患子濃度(%)	10.00	30.00	50.00	70.00	90.00	100.00	0.00
未起泡 TDS 平均	6773.33	4813.33	9393.33	8946.67	9030.00	9520.00	5043.33
起泡 1 次後 TDS 平均	6733.33	4663.33	6910.00	7833.33	8880.00	9253.33	3816.67
起泡 1 次總清除率 (%)	0.59	3.12	26.44	12.44	1.66	2.80	24.32
起泡 2 次後 TDS 平均	6686.67	4633.33	6493.33	7580.00	8680.00	9343.33	3750.00
起泡 2 次總清除率 (%)	1.28	3.74	30.87	15.28	3.88	1.86	25.64
起泡 3 次後 TDS 平均	6673.33	4490.00	6466.67	7823.33	8706.67	9566.67	3320.00
起泡 3 次總清除率 (%)	1.48	6.72	31.16	12.56	3.58	-0.49	34.17
全部總清除率(%)	3.35	13.57	88.47	40.28	9.12	4.17	84.14

圖 5-8-1 海塑粒的量固定，無患子與大豆卵磷脂的比例對海洋微塑粒清除效果的影響

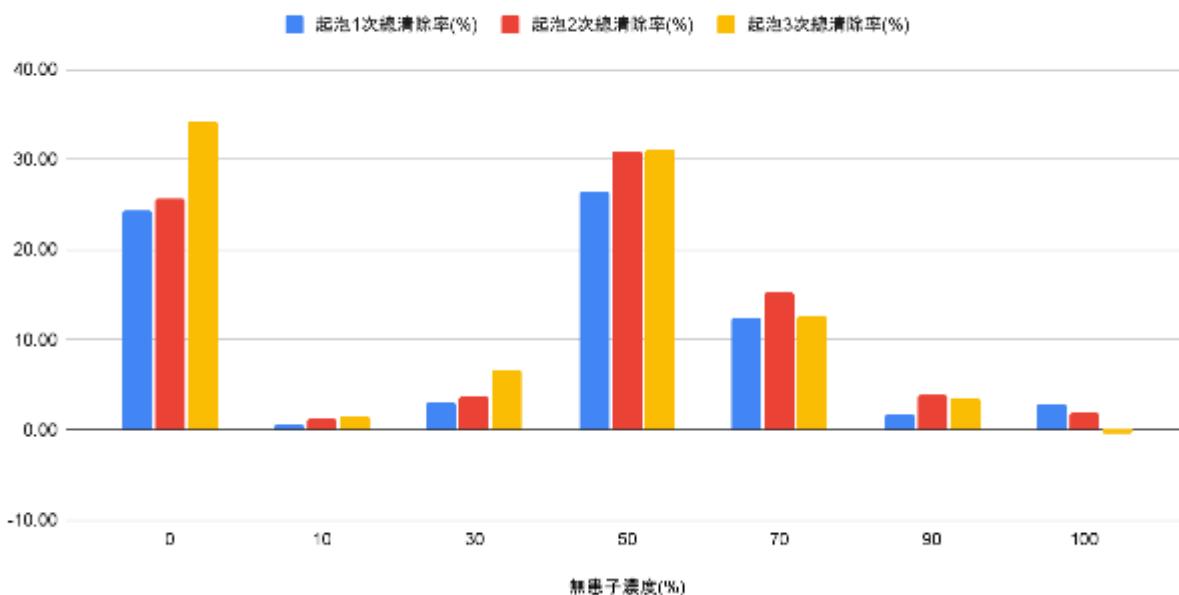


圖 5-8-1 海塑粒的量固定，無患子與大豆卵磷脂的比例對海洋微塑粒清除效果的影響(作者繪製)

圖 5-8-2 海塑粒的量固定，無患子與大豆卵磷脂的比例對海洋微塑粒清除效果的影響

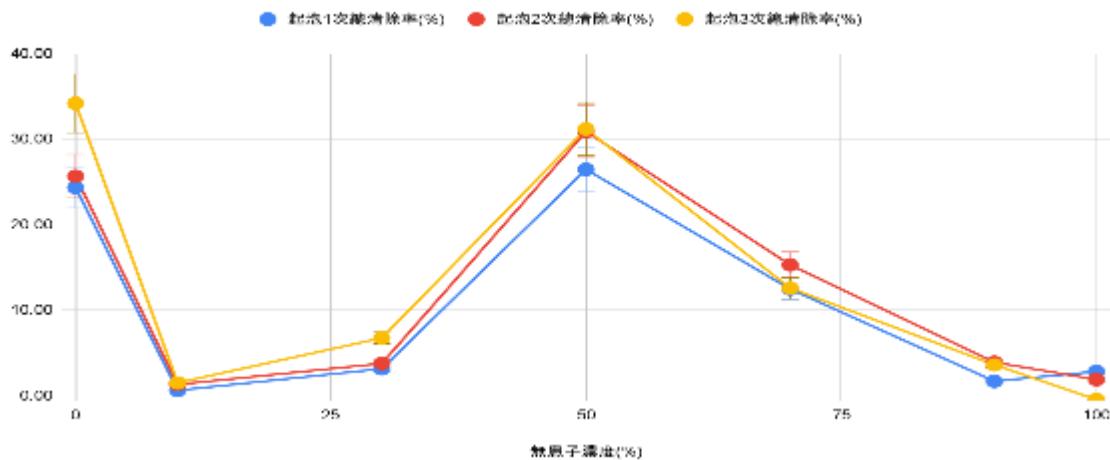


圖 5-8-2 海塑粒的量固定，無患子與大豆卵磷脂的比例對海洋微塑粒清除效果的影響(作者繪製)

實驗結果：

1. 數據關係 what: 7.5% 大豆卵磷脂及 5:5 無患子:大豆卵磷脂的清除率皆高於以前最佳之清除率。(7.5% 大豆卵磷脂總清除率 84.14%，5:5 無患子:大豆卵磷脂總清除率 88.47%，皆高於以前最高之白蠟油 60.7%)，但考慮成本單價(無患子 2 元/g，大豆卵磷脂 0.8 元/g)後，我們後續實驗將會使用 7.5% 大豆卵磷脂來進行。

2. 原理與討論 why: 計算得知，大豆卵磷脂為 HLB 值 4.28 的界面活性劑，而且同時具有親水性的羥基及疏水性的烷基，所以不但能起泡又有極高之清除率。

Griffin 法： $HLB = 20 \times \text{親水部分的分子量的總和} / \text{界面活性劑的分子量}$ ，大豆卵磷脂總分子量 775，親水端分子量 166 ($PO_3(CH_2)_2N(CH_3)_3$)

3. 新發現與應用 How: 大豆卵磷脂是天然的界面活性劑，且不但能起泡又有很好的清除率，是一項重大的發現，後續的實驗也都會採用 7.5% 大豆卵磷脂來進行。

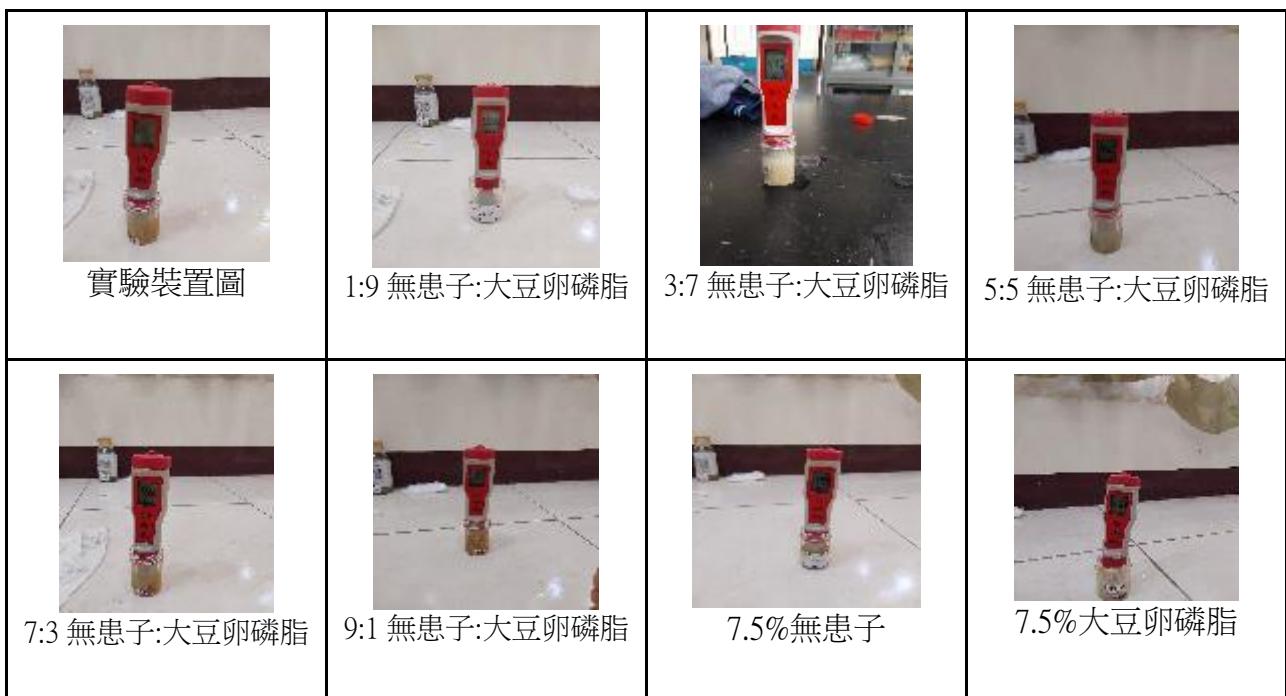


圖 5-8-3 海塑粒的量固定，無患子與大豆卵磷脂比例對 TDS 讀數的影響的實驗照片(作者拍攝)

(九)、模擬此裝置在真實海水中清除微塑粒的情況。

實驗假設:目前最佳配方能有效地在真實海水中清除微塑粒

操作變因:海水中是否加入微塑粒

控制變因:溫度、海洋微塑粒濃度(1%)、卵磷脂濃度(7.5%)、最佳配方比例

應變變因:海洋微塑粒清除效果(TDS 值)。

表 5-9-1 模擬此裝置在真實海水中清除微塑粒的情況(作者繪製)

是否加入微塑粒	未起泡 TDS 平均	起泡 1 次後 TDS 平均	起泡 1 次總清除率(%)	起泡 2 次後 TDS 平均	起泡 2 次總清除率(%)	起泡 3 次後 TDS 平均	起泡 3 次總清除率(%)	全部總清除率(%)
海水+7.5%磷脂	1166.67	1086.67	6.86	1070.00	8.29	1090.00	6.57	21.71
海塑粒+7.5%磷脂	1086.67	957.33	11.90	952.33	12.36	942.33	13.28	37.55

圖 5-9-1 模擬此裝置在真實海水中清除微塑粒的情況

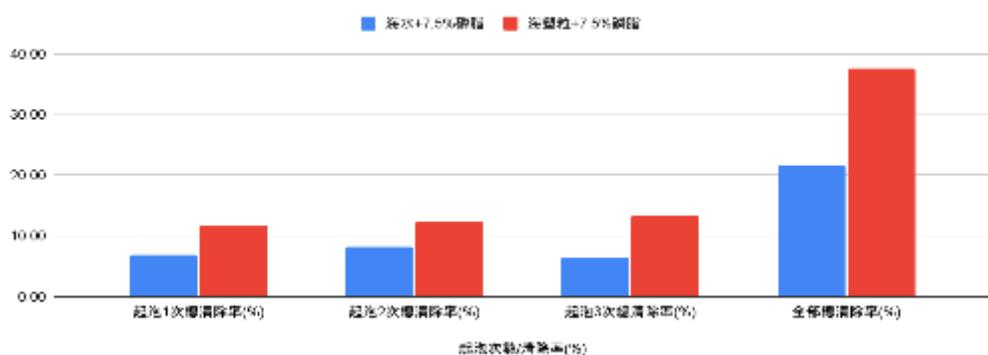


圖 5-9-1 模擬此裝置在真實海水中清除微塑粒的情況(作者繪製)

實驗結果：

1. 數據關係 what:此起泡裝置直接在海水中起泡就可以有高達 21.71% 的清除率，而在加入微塑粒後的海水起泡則是有 37.55% 的清除率。

2. 原理與討論 why:加入微塑粒的水的 TDS 值反而比單純海水+大豆卵磷脂還低，推測是因為海水中的雜質非常複雜，所以推測有可能我們加入的微塑粒與海水中其他雜質起化學反應，讓真實海水(中強電解質)的電性減弱，使得 TDS 值下降。且用真實海水的清除率會較之前模擬海水(3.5% 鹽水)加入微塑粒還要低，有可能是因微塑粒與海水中的帶電粒子互相干擾，使其清除率不像以前那麼好，儘管如此，這個起泡裝置還是可以清除高達 37.55% 的微塑粒，具有環保性與實用性。

3. 新發現與應用 How:此起泡裝置起泡三次後目前可清除海水中 37.55% 的微塑粒，不但環保又實用，值得研究開發。未來也希望可以找出有更好的效果的天然界面活性劑，來提升微塑粒清除率，並同時精進微塑粒的測量濃度的測量方法及作出實體的裝置來在海水中起泡。

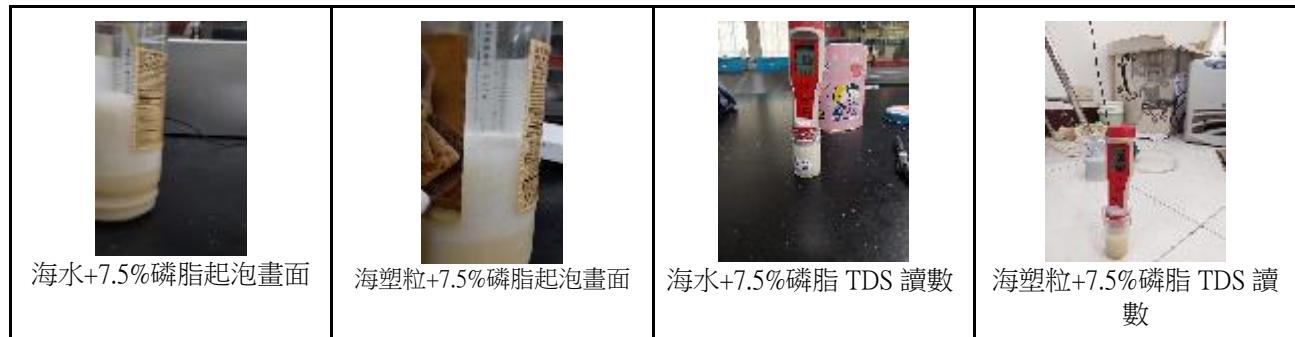


圖 5-9-1 模擬此裝置在真實海水中清除微塑粒的情況的實驗照片(作者拍攝)

陸、結論

本研究透過使用起泡劑，以市售泡泡水、無患子溶液、白蠟油以及大豆卵磷脂來吸附海洋塑膠微粒，形成長效型微型塑粒泡泡。目前研究成果有：

- 一、無患子比泡泡水的親油性好，成球性質佳作為去除海洋微塑粒的介面活性劑較為適合。
- 二、TDS 數值可以對應溶液中的海塑粒濃度。無患子公式： $TDS=0.176 \times \text{海塑粒濃度} + 115$ ，泡泡水公式： $TDS=0.783 \times \text{海塑粒濃度} + 241$ ，可用 TDS 數值來計算海塑粒濃度。
- 三、泡泡水加入海塑粒後起泡力會大幅下降，無患子加入海塑粒後起泡力與原液差不多，且其起泡效果優於海塑粒泡泡水。
- 四、泡泡水去除海洋塑膠微粒效果約為 8%(1.5% 3.6% 3.2%)，無患子溶液約為 9.7%(4.9% 3.1% 1.7%)，白蠟油約為 60.7%(13.9% 22.4% 24.3%)，去除海洋微塑粒總清除率之大小排序：(白蠟油>無患子>泡泡水)，以白蠟油為最佳。
- 五、海塑粒無患子最佳起泡濃度為 10%，過了 10%的起泡力開始下降。
- 六、海塑粒無患子最佳清除濃度為 7.5%，到了 10%以上因起泡力下降、無患子無法完全清除等原因，使得清除率下降。
- 七、無患子與大豆卵磷脂的比例以 7:3 有最好的起泡力。
- 八、大豆卵磷脂這個材料不但能起泡又有很好的清除率(84.14%)，而且又是天然的介面活性劑，是一項新的發現，後續的實驗將會使用 7.5% 大豆卵磷脂來進行。
- 九、此起泡裝置起泡三次後目前可清除海水中 37.55% 的微塑粒，不但環保又實用，且符合 SDGs 永續發展目標中 SDG 6 淨水及衛生，值得開發與研究。
- 十、未來希望找出有更佳清除率的天然介面活性劑，並可以做出實體在海中運用裝置，目前做出的小型實驗裝置的實驗裝置圖如下圖：

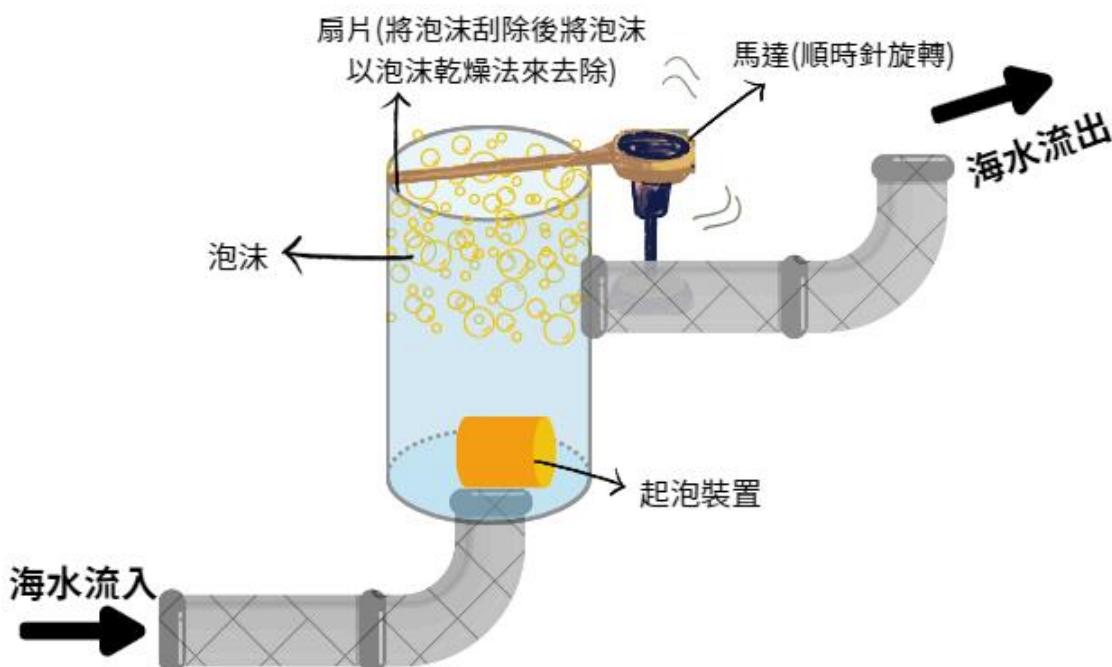


圖 6-1-1 目前做出小型裝置之實驗裝置圖 (作者繪製)

柒、參考資料及其他

- 一、江翎、張善絜、何松霖、羅宇莊(2000) 許我一個長命泡泡吧！---氳氣泡泡會比較長命嗎？中華民國第49屆中小學科學展覽會。20240618 取自：<https://reurl.cc/kyN63L>
- 二、楊道評(2009)，不同界面活性劑之拉泡泡效果的研究 碩博士論文網。20240618 取自：<https://reurl.cc/rvde4r>
- 三、HuHu 瀚宇教育(2023)表面張力，戳不破的泡泡 X 【@camphuhu · 科學小實驗】。20240618 取自：<https://reurl.cc/6dV8Yb>
- 四、李庭芝(2023)，消保處抽驗液態玩具 生菌數超標，財團法人國語日報社。20240618 節錄自：<https://reurl.cc/GpZ1Ly>
- 五、林人芳(2012)，四類玩具安全標準趨嚴 財團法人國語日報社表面張力 20240618 節錄自：<https://reurl.cc/VMp9Qy>
- 六、中視新聞(2015)科學補給站-就是不破！超強大泡泡的秘密表面張力 20240618 取自：<https://reurl.cc/pvnGAZ>
- 七、玩具腦(2023)自製不破泡泡水！5種小孩玩到樂翻的吹泡泡玩法。20240618 節錄自：<https://reurl.cc/Yq7xp0>
- 八、李彥霆、林冠豪、陳立珩(2017)泡泡面面觀，中華民國第56屆中小學科學展覽會作品說明書。20240703 節錄自：<https://reurl.cc/4d5xnD>
- 九、自由時報(2022)史上最長壽泡泡存活1年又100天 破掉前一刻竟變詭異綠色表面張力 20240707 節錄自：<https://reurl.cc/GpZ1Oy>
- 十、呂玉雯、張榮格(1995)泡泡界的養生秘方-甘油濃度與泡泡壽命的探討，中華民國第45屆中小學科學展覽會作品說明書。20240707 節錄自：<https://reurl.cc/QEnMxM>
- 十一、泛科學(2013)有沒有不破的泡沫 20240716 節錄自：<https://reurl.cc/VMp9ly>
- 十二、陳乃瑜、葉馨予、王娟娟、張翔、黃翔、張乃文(1994)「膜」力十足—泡泡膜的研究，中華民國第44屆中小學科學展覽會作品說明書。20240727 節錄自：<https://reurl.cc/ZVavQp>
- 十三、Aymeric Roux, Alexis Duchesne, and Michael Baudoin(2022) Everlasting bubbles and liquid films resisting drainage, evaporation, and nuclei-induced bursting. 20240808 節錄自：<https://reurl.cc/VM3Geb>
- 十四、香港科學館(2022)，如何令肥皂泡變「恆久」？。20240915 取自：<https://hk.science.museum/tc/web/scm/online-explore/cb/htmbe.html>
- 十五、吳尹傑、吳振華、洪鶴祐、林達(2005)被忽略的神秘力量—表面張力，中華民國第44屆中小學科學展覽會作品說明書。20240918 取自：<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/44/D/030111.pdf>
- 十六、綠色和平塑膠專案小組(2020)什麼是塑膠微粒？——正在影響食安、健康的它。20240919 取自：<https://reurl.cc/NIN3Kx>
- 十七、維基百科(2023)泡沫。20240919 取自：<https://reurl.cc/OrRdyr>
- 十八、維基百科(2024)表面張力。20240919 取自：<https://reurl.cc/xvKdyE>
- 十九、蘇裕昌(2015)界面活性劑的基礎及應用 中興大學森林學系表面張力 20240922 取自：<https://reurl.cc/GpgVGx>
- 二十、維基百科(2024)果膠，維基百科。20240924 取自：<https://reurl.cc/6dX15d>
- 二一、安吉(2022)，465天都不會破 法國物理學家成功讓泡泡「延年益壽」，地圖圖擊隊表面張力 20241110，取自：<https://dq.yam.com/post/14694>。
- 二二、無名(2021)，臺灣公衛學生聯合會，科普小學堂 | 環境的魔鬼-微塑顆粒。20241110，取自：<https://fphsa.org.tw/eh/%E7%A7%91%E6%99%AE%E5%B0%8F%E5%AD%B8%E5%A0%82%E2%94%82%E7%92%B0%E5%A2%83%E7%9A%84%E9%AD%94%E9%AC%BC-%E5%BE%AE%E5%A1%91%E9%A1%86%E7%B2%92/>
- 二三、綠色和平(2023)塑膠氾濫危害人體健康，錯誤使用這6類塑膠製品恐致癌。2024.11.10 取自：<https://reurl.cc/E6OKeK>
- 二四、維基百科(2022)總溶解固體。20241114 取自：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%80%BB%E6%BA%B6%E8%A7%A3%E5%9B%BA%E4%BD%93>
- 二五、【科學探究競賽-這樣教我就懂】(2024)年魔法般的泡泡：調配泡泡水與甘油，探索泡膜的神奇穩定性，【科學探究競賽-這樣教我就懂】普高組成果報告表單。20241116 取自：<https://sciexplore.colife.org.tw/work/2024/C0362/pdf>
- 二六、楊德良(2002)表面張力係數，國家教育研究院辭書。20241116 取自：<https://pedia.cloud.edu.tw/Entry/Detail/?title=%E8%A1%A8%E9%9D%A2%E5%BC%B5%E5%8A%9B%E4%BF%82%E6%95%B8&search=%E8%A1%A8%E9%9D%A2%E5%BC%B5%E5%8A%9B%E4%BF%82%E6%95%B8>
- 二七、Julien(2018)神奇泡泡，海洋污染的救星，Picupi 挑品。20241225 取自：<https://www.picupipress.com/single-post/2018/11/28/%E7%A5%9E%E5%A5%87%E6%B3%A1%E6%B3%A1%EF%BC%8C%E6%B5%B7%E6%B4%8B%E6%B1%A1%E9%9F%93%E7%9A%84%E6%95%91%E6%98%9F>
- 二八、許寶仁(2024)水中滿是塑膠微粒！新研究：自來水煮沸加1步驟 減少90%微塑粒喝下肚，健康2.0。20241225 取自：<https://health.tvbs.com.tw/life/345437>
- 二九、維基百科 HLB 值 20241229 取自：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/HLB%E5%80%BC>
- 三十、fish09352003(2021)，簡單又聰明！荷蘭「泡泡屏障」阻近9成塑膠垃圾入海，20250217 取自：<https://ocean.cyc.edu.tw/modules/tadnews/index.php?ncsn=1&nsn=319>
- 三十一、real botany(2023)，乳化劑：護膚妝品的藝術與科學，20250217 取自：<https://realbotany.com/blogs/diy-natural-life-blog/emulsifier-in-cosmetics-science-and-art>
- 三十二、薛宇竣 李柏諺 張巧蓁 陳玥吟 吳政穎 淨「塑」撤離「鐵」定「油」效
中華民國第49屆中小學科學展覽會。20250221 取自：<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/62/pdf/NPHSF2022-080201.pdf?0.43474222416989505>
- 三十三、楊恩(2023)，追查海洋塑膠微粒，科學人電子報，20250223 取自：<https://www.scitw.cc/posts/10988>
- 三十四、陳芊仔、黃歆芸、蕭德芙(2020)水吃不吃「塑」？探討水中塑膠微粒的含量 中華民國第60屆中小學科學展覽會作品說明書 20250601 取自：<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/60/pdf/NPHSF2020-030504.pdf>

【評語】033007

1. 本研究以開發測試不同起泡劑應用於模擬移除海水中塑膠微粒之效率評估，具減塑、環境保育及創新性。
2. 實驗設計細節完整詳盡，方法步驟具備科學再現性和實用性之參考價值。
3. 塑膠微粒於模擬海水或真實海水皆非均勻分散狀態，建議起始塑膠微粒添加至海水中的濃度控制仍需再更精準控制。
4. 建議可強化泡沫收集回收塑膠微粒(< 300 孔目)之操作步驟，並建議評估本研究起泡劑大量使用的成本。

作品海報

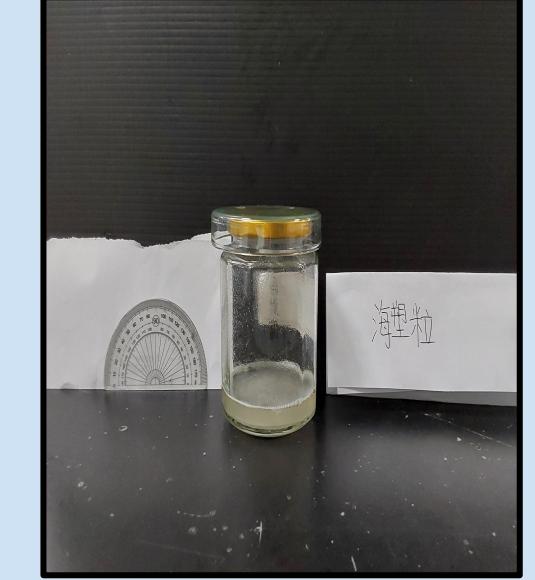
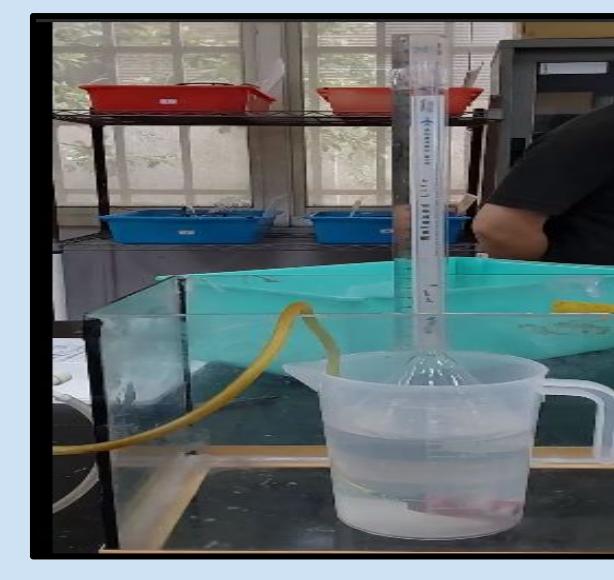
「泡生溶溶」---

泡泡除塑淨水法的研究



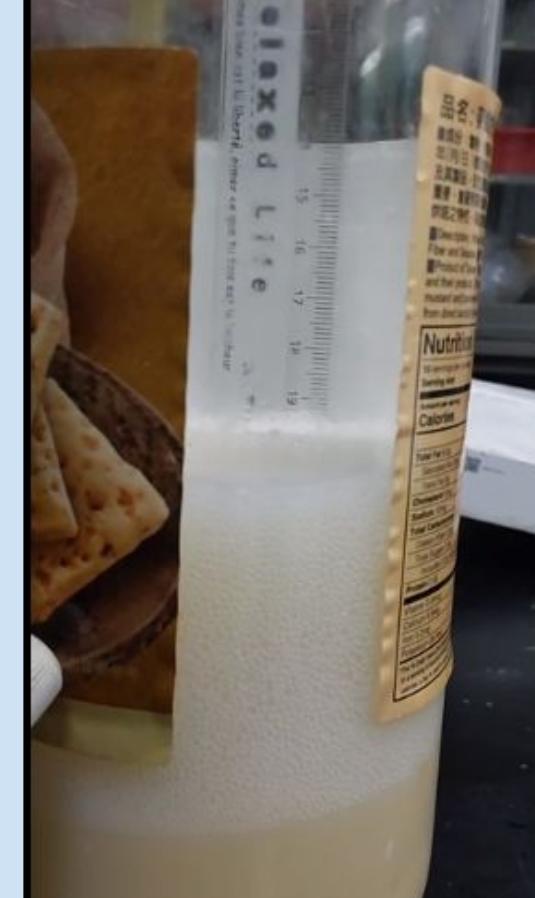
壹、研究動機

微塑粒汙染已成為嚴重的海洋汙染問題，我想利用天然的起泡劑去吸附微塑粒，一方面使泡泡存續時間更長，利於微塑粒後續回收處理及乾燥利用，一方面將海水淨化，可以提供海產養殖，同時維持海洋生態健康。



貳、研究目的

- 一、起泡劑種類對接觸角(親疏水性及成球性質)的影響。
- 二、海塑粒濃度與TDS(溶解性固體總量)數值的關係。
- 三、不同界面活性劑(的HLB值)對起泡力及海塑粒清除率的影響。
- 四、無患子濃度對起泡力及海塑粒清除效果的影響。
- 五、無患子與大豆卵磷脂的比例對起泡力及海塑粒清除率的影響。
- 六、模擬此裝置在真實海水清除微塑粒的清除率。



參、研究方法

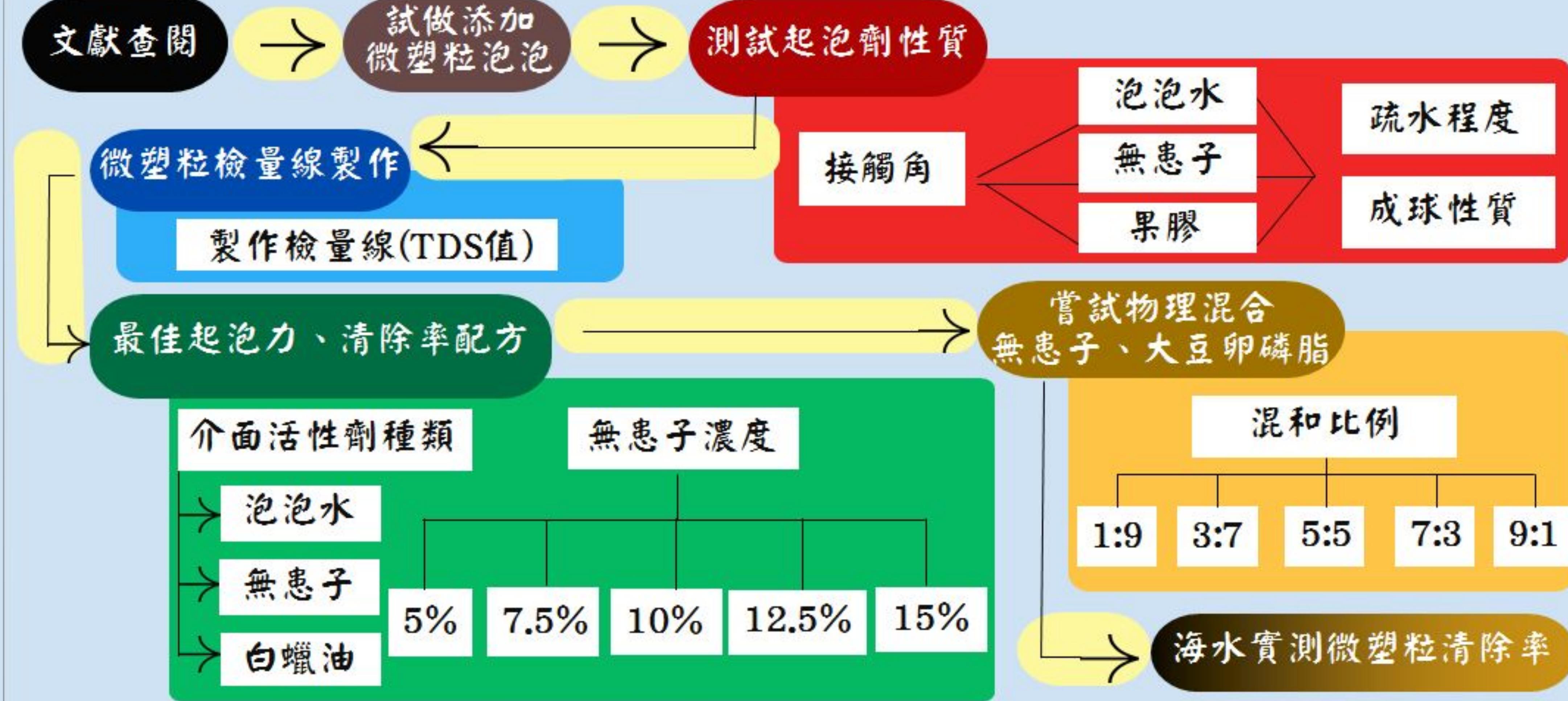
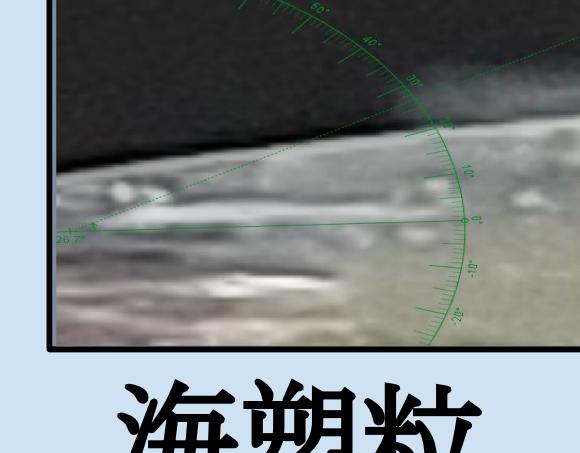
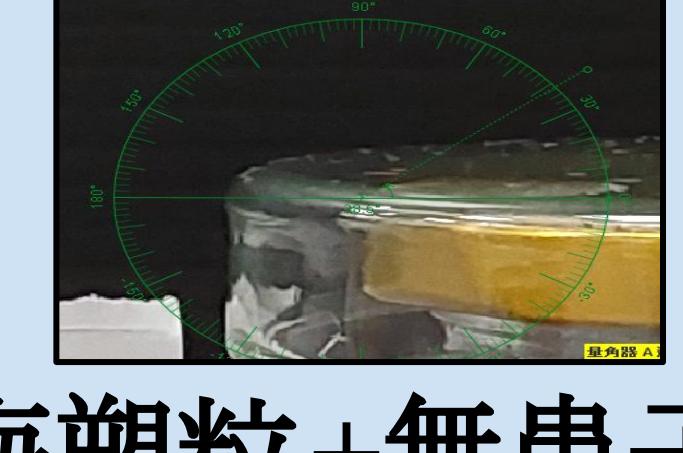
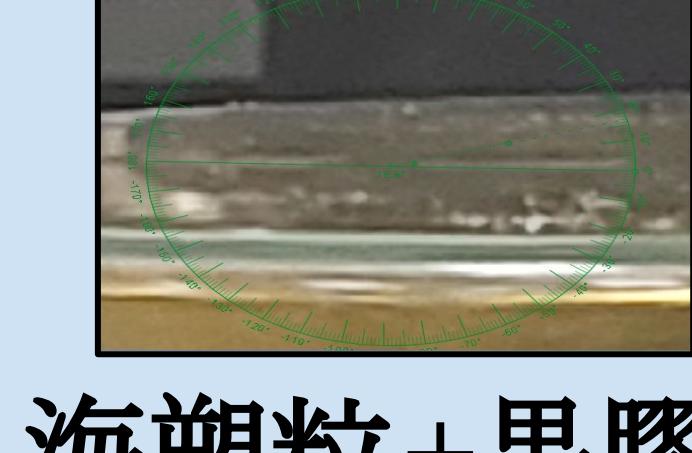
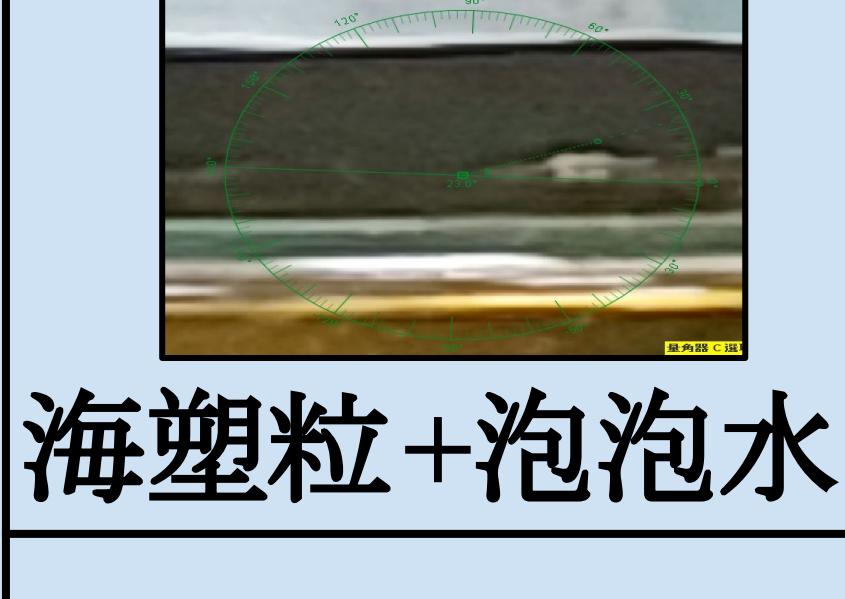
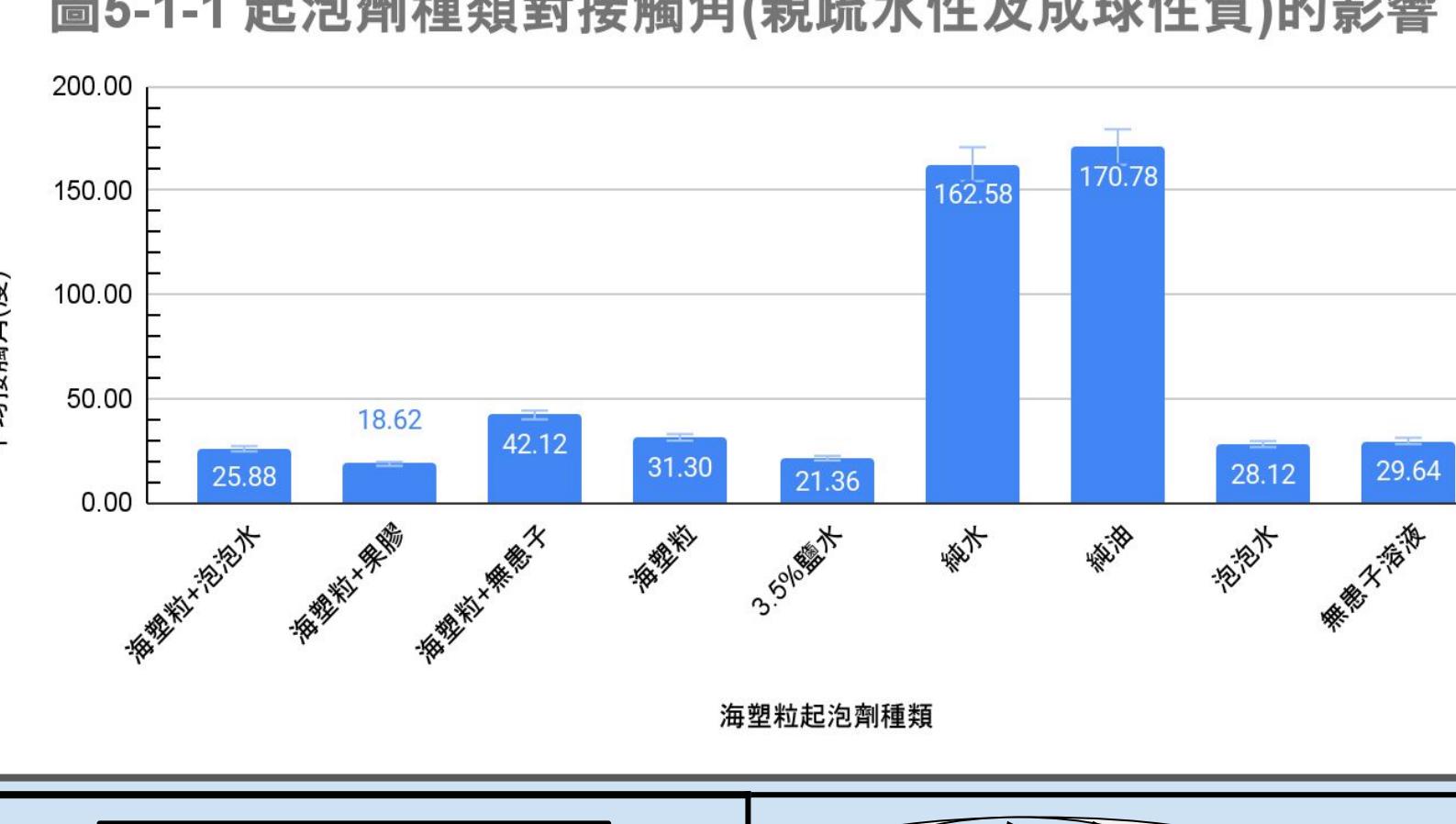


圖3-1 實驗流程圖(作者繪製)

肆、²⁵研究結果與討論

一、海塑粒起泡劑對接觸角的影響

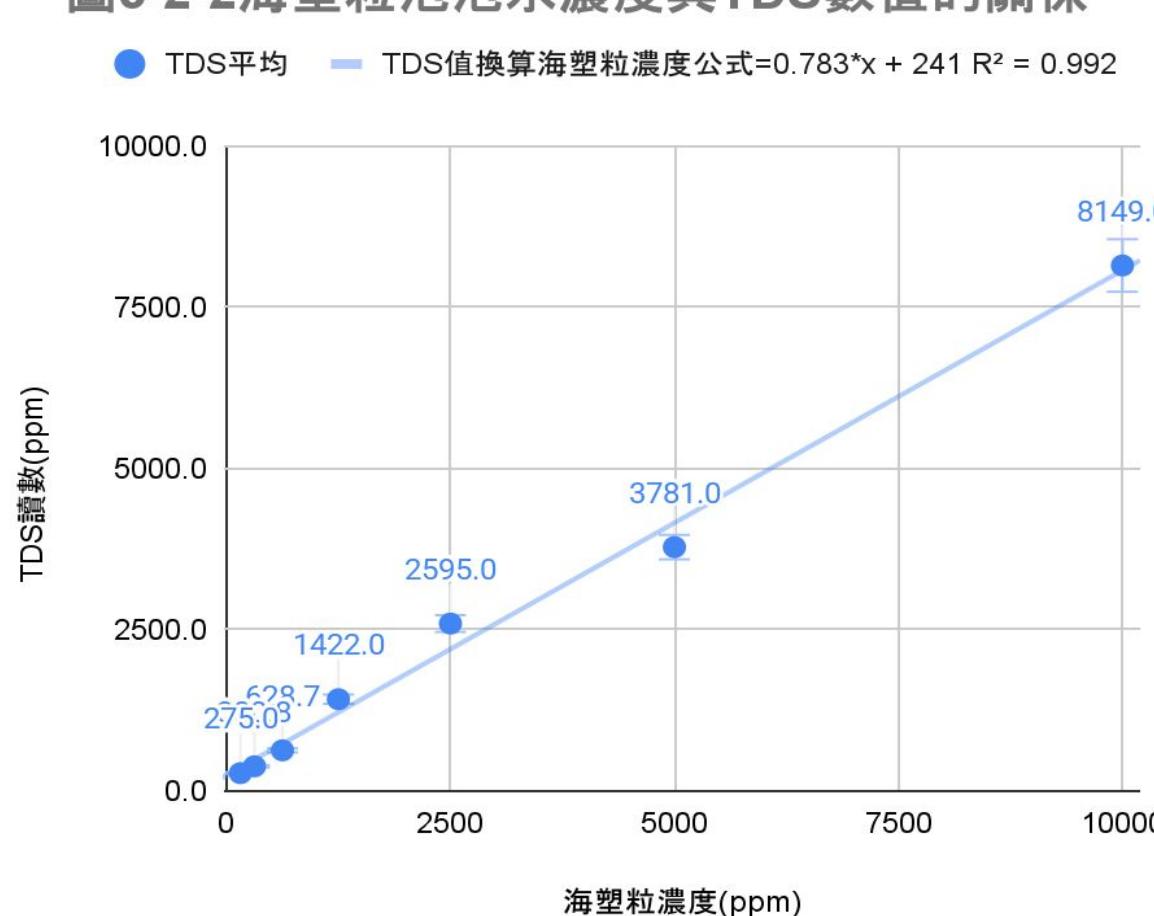
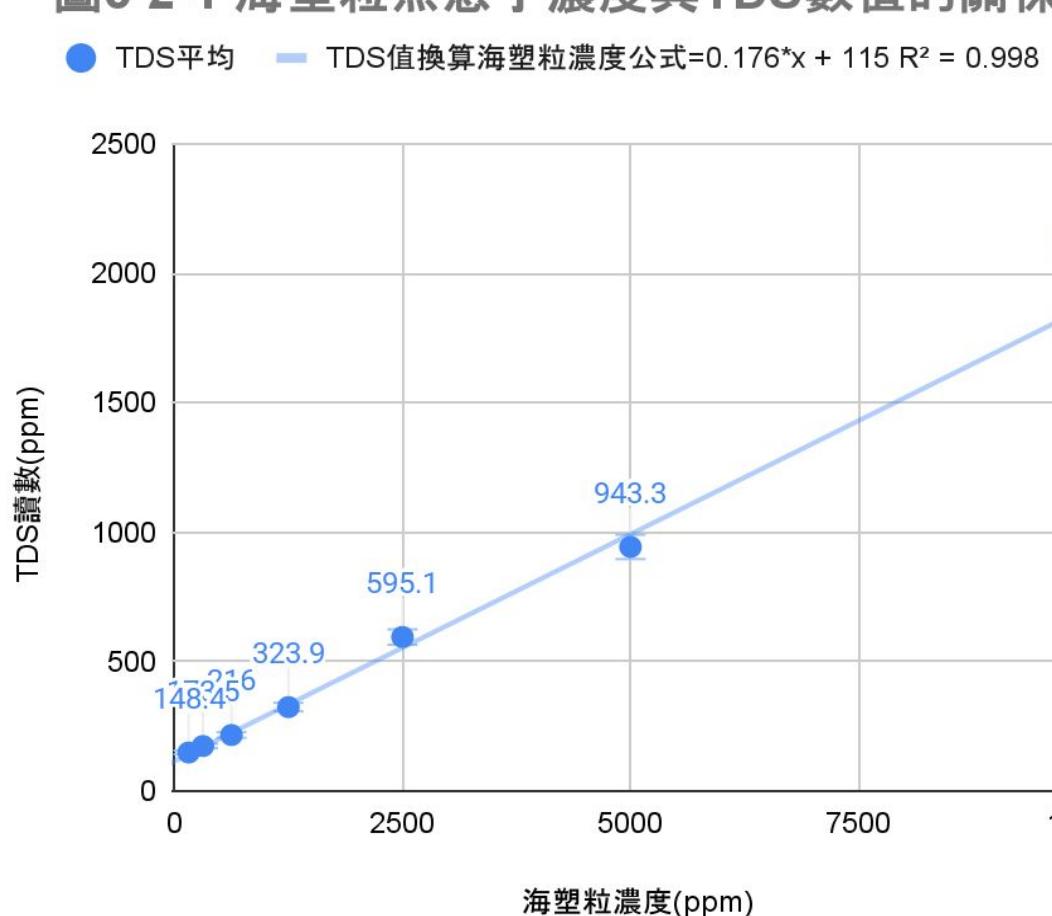
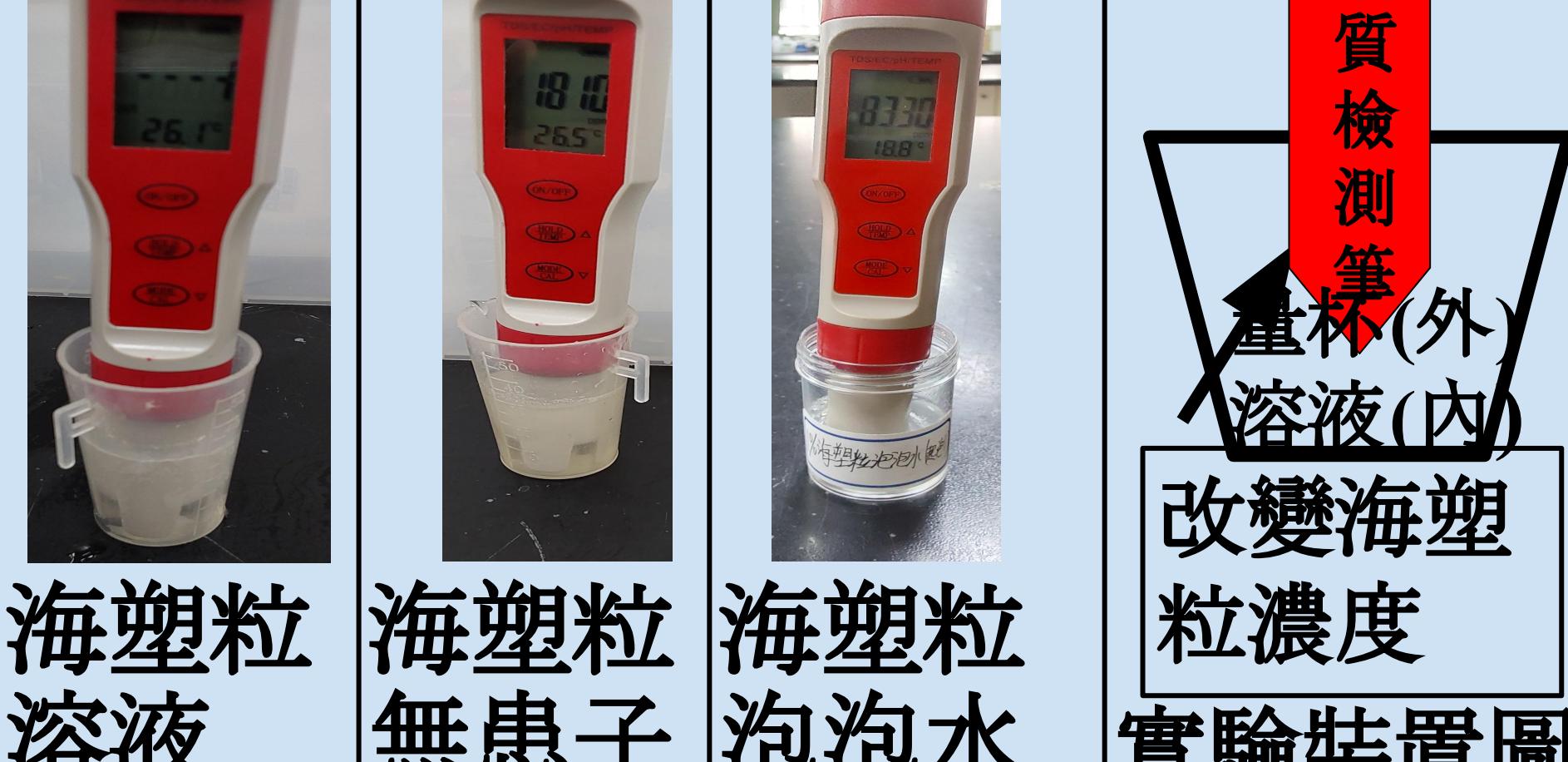
1. 因果:接觸角(成球性質、疏水程度)大到小為海塑粒無患子>海塑粒泡泡水>海塑粒果膠。
2. 原理:接觸角是在固體表面形成的角度，角度越小表示越親水，角度越大表示越疏水。
3. 發現:無患子比泡泡水的親油性好，成球性質佳，最適合作為去除海塑粒的界面活性劑。



上方實驗圖片均由作者拍攝、製作，圖 5-1-1 由作者親自繪製

二、海塑粒濃度與TDS數值的關係。

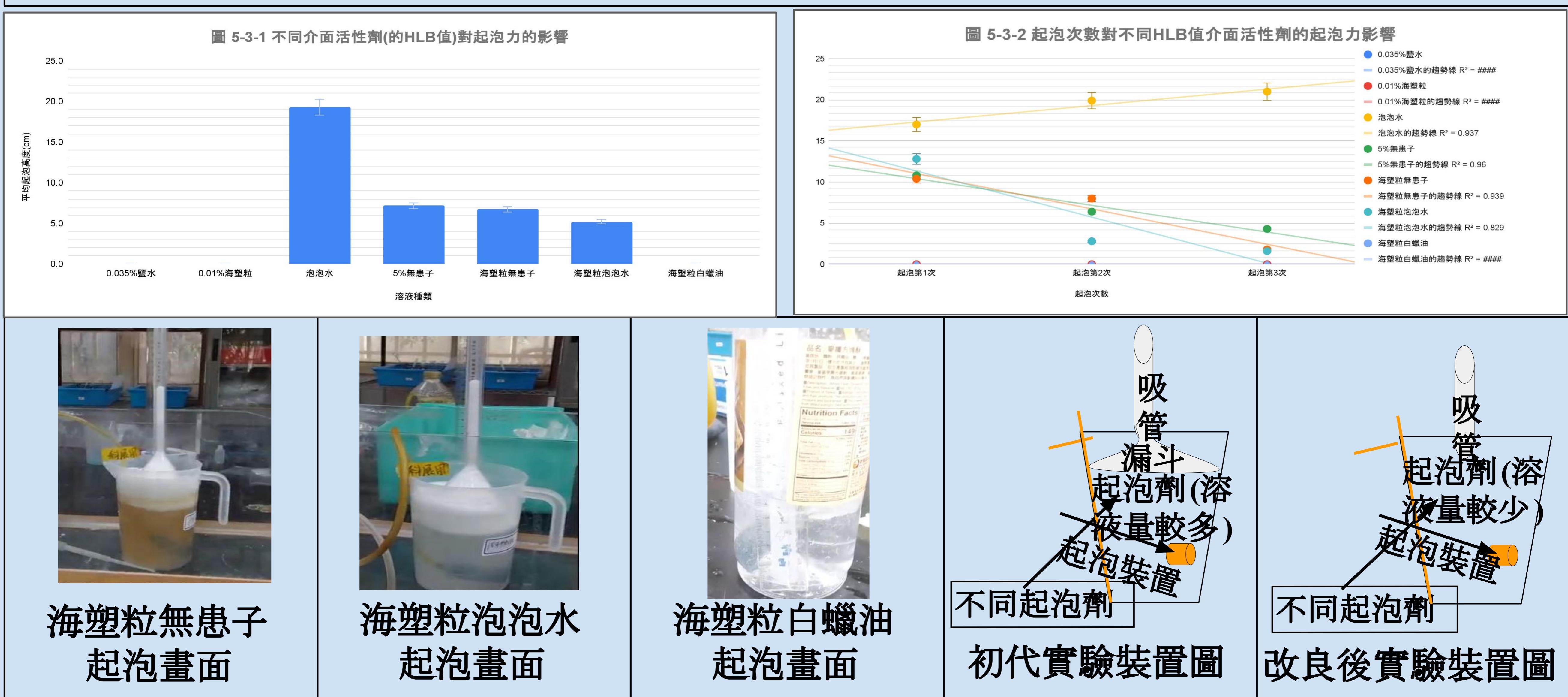
1. 因果:微塑粒濃度與TDS值成正比關係，TDS值可以成為微塑粒濃度的檢量線。
2. 原理:當水中有溶解的固體，會增加水的導電率，則可以推算總溶解性物質。
- 無患子 TDS-海塑粒濃度公式: $TDS = 0.176 \times \text{海塑粒濃度} + 115 \dots$
- 泡泡水 TDS-海塑粒濃度公式: $TDS = 0.783 \times \text{海塑粒濃度} + 241 \dots$
- 發現:TDS數值可以對應溶液中的微塑粒濃度。



上方實驗圖片均由作者拍攝，圖 5-2-1、5-2-2 的檢量線也由作者親自繪製

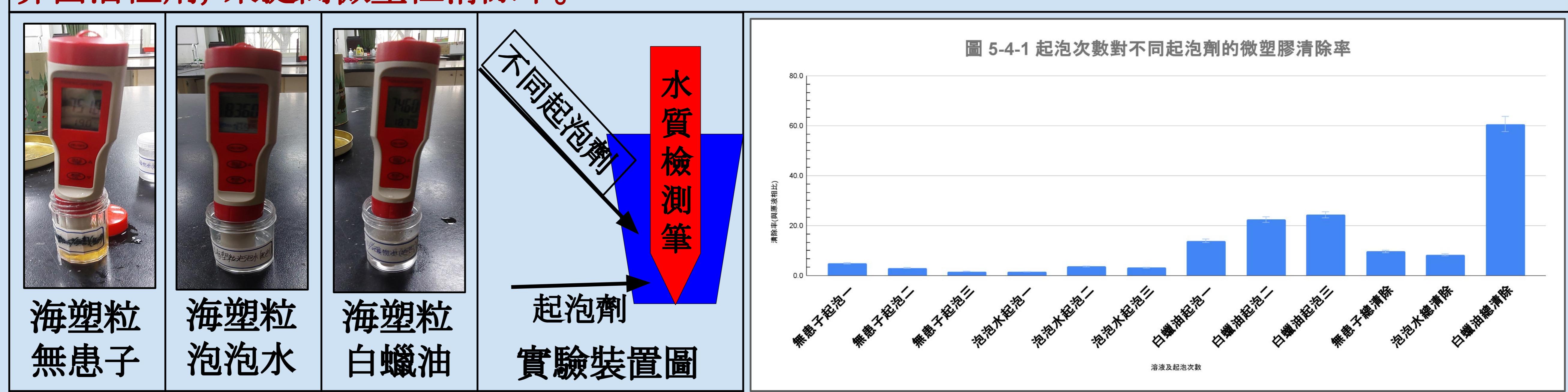
三、不同HLB值界面活性劑對起泡力的影響

- 因果：起泡力之大小排序：(無患子>泡泡水>白蠟油)，以海塑粒無患子的起泡效果最佳。
- 原理：泡泡水親水效果較無患子強，所以我猜測 泡泡水加入海塑粒後起泡力大幅下降，有可能是因為與親油性的海塑粒不合，降低泡泡的穩定性。
- 發現：不同HLB值的界面活性劑會有不同的起泡效果，以 無患子的起泡效果最佳。



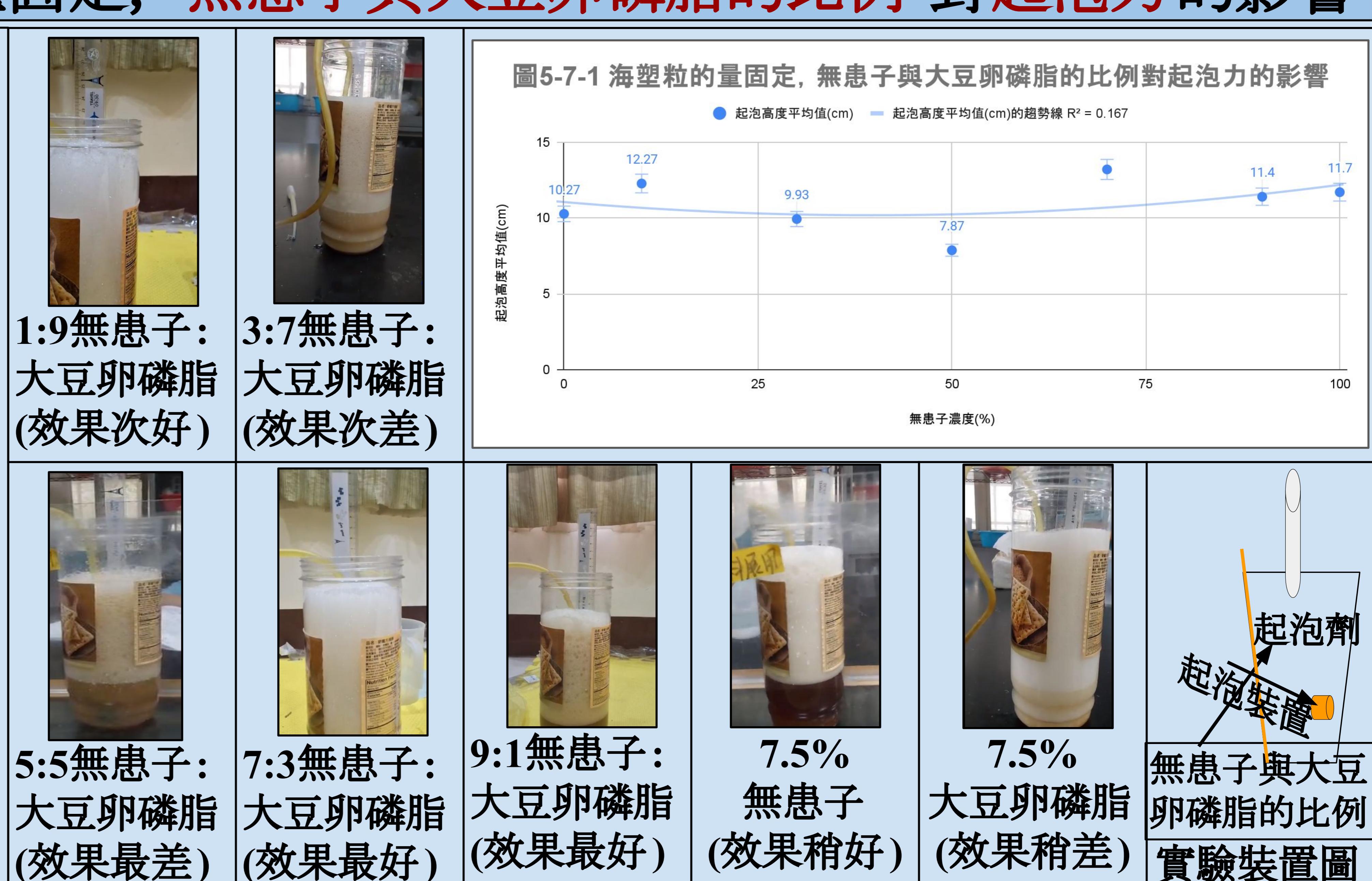
四、不同HLB值界面活性劑對海洋微塑粒清除效果的影響

- 因果：泡泡水去除海洋塑膠微粒效果約為 8%，無患子溶液約為 9.7%，白蠟油約為 60.7%，去除海洋微塑粒總清除率之大小排序：(白蠟油>無患子>泡泡水)，以白蠟油為最佳。
- 原理：泡泡水的親水性最強(丙三醇)，無患子的親水性強度次之(天然皂甘)。而白蠟油(烷類)為極親油性界面活性劑，推測起泡劑的HLB值越低(越親油)，海洋微塑粒總清除率越高。
- 發現：海洋微塑粒總清除率以 白蠟油為最佳，但並不天然，所以我想試著找看看天然的親油性界面活性劑，來提高微塑粒清除率。



七、海塑粒的量固定，無患子與大豆卵磷脂的比例對起泡力的影響

- 因果：以無患子：大豆卵磷脂=7:3的效果最佳，5:5最差。
- 原理：可能因為差異大的HLB值溶劑混合造成拮抗效應，使比例5:5的起泡力降低，因為皂素會形成水包油(O/W)的微胞，而大豆卵磷脂會形成油包水(W/O)的微胞，兩種微胞形成後互相干擾，造成整體的起泡高度下降。
- 發現：無患子：大豆卵磷脂=7:3的起泡力最佳。



八、無患子與大豆卵磷脂的比例對海塑粒清除效果的影響

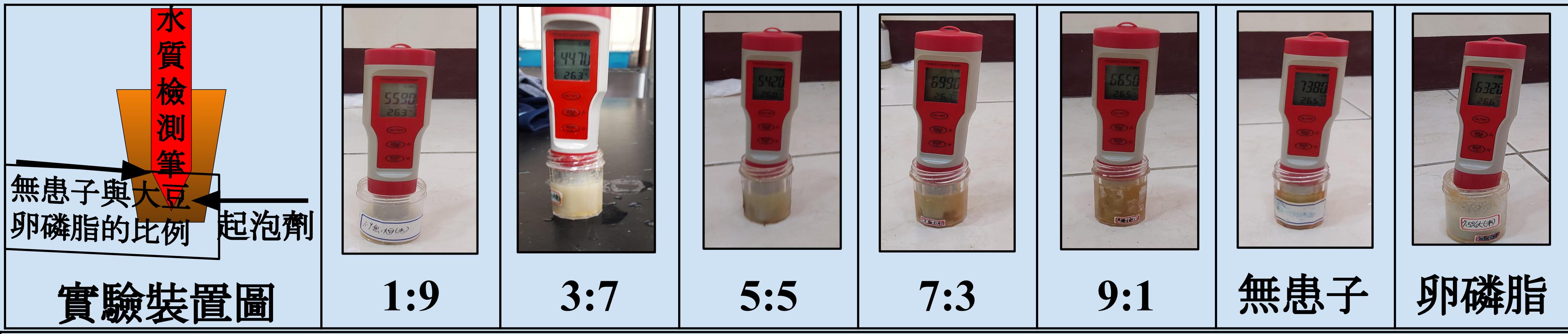
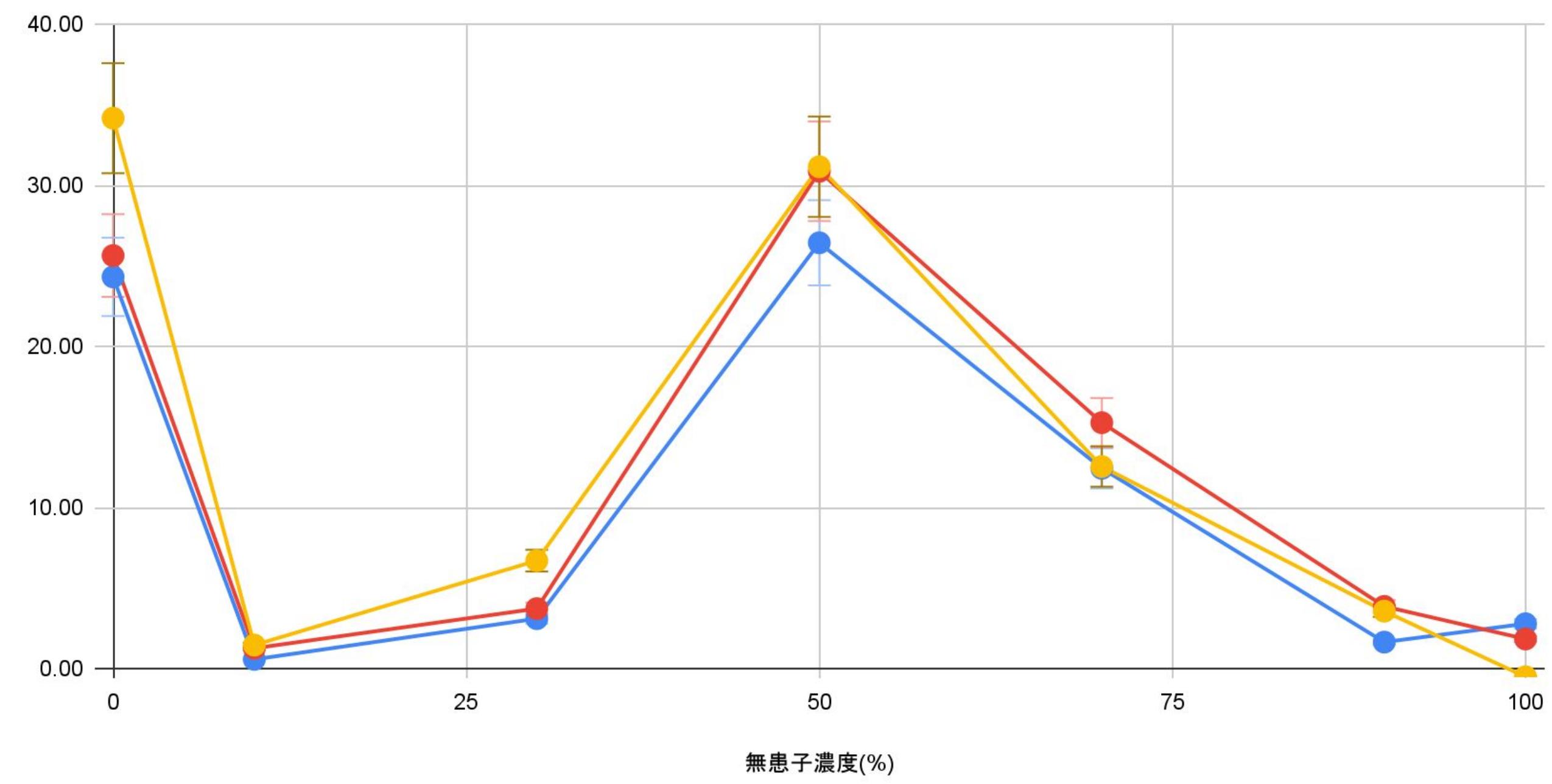
1. 因果: 7.5% 大豆卵磷脂及 5:5 無患子: 大豆卵磷脂皆高於以前最佳之白蠟油之清除率。

2. 原理: 大豆卵磷脂為 HLB 值 4.28 的界面活性劑，而且同時具有親水性的羥基及疏水性的烷基，所以不但能起泡又有極高之清除率。

3. 發現: 大豆卵磷脂不但天然、便宜，有極佳的起泡力、清除率，是項重大的發現。

圖 5-8-1 無患子與大豆卵磷脂的比例對海洋微塑粒清除效果的影響

● 起泡1次總清除率(%) ● 起泡2次總清除率(%) ● 起泡3次總清除率(%)



上方實驗圖片均由作者拍攝，圖 5-8-1 也由作者親自繪製

九、模擬此裝置在真實海水清除微塑粒的清除率

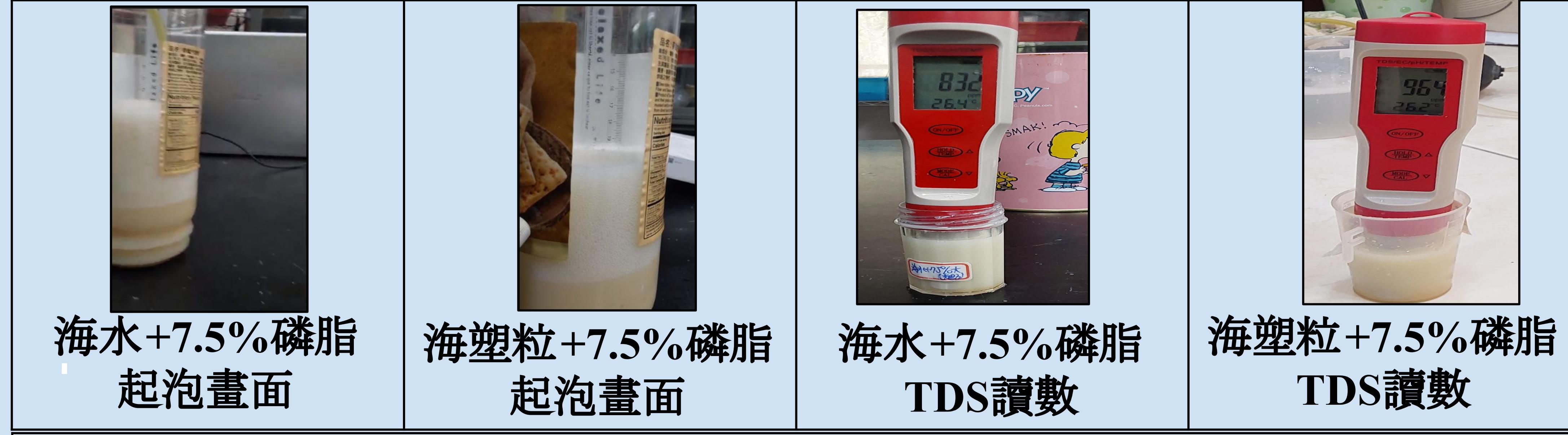
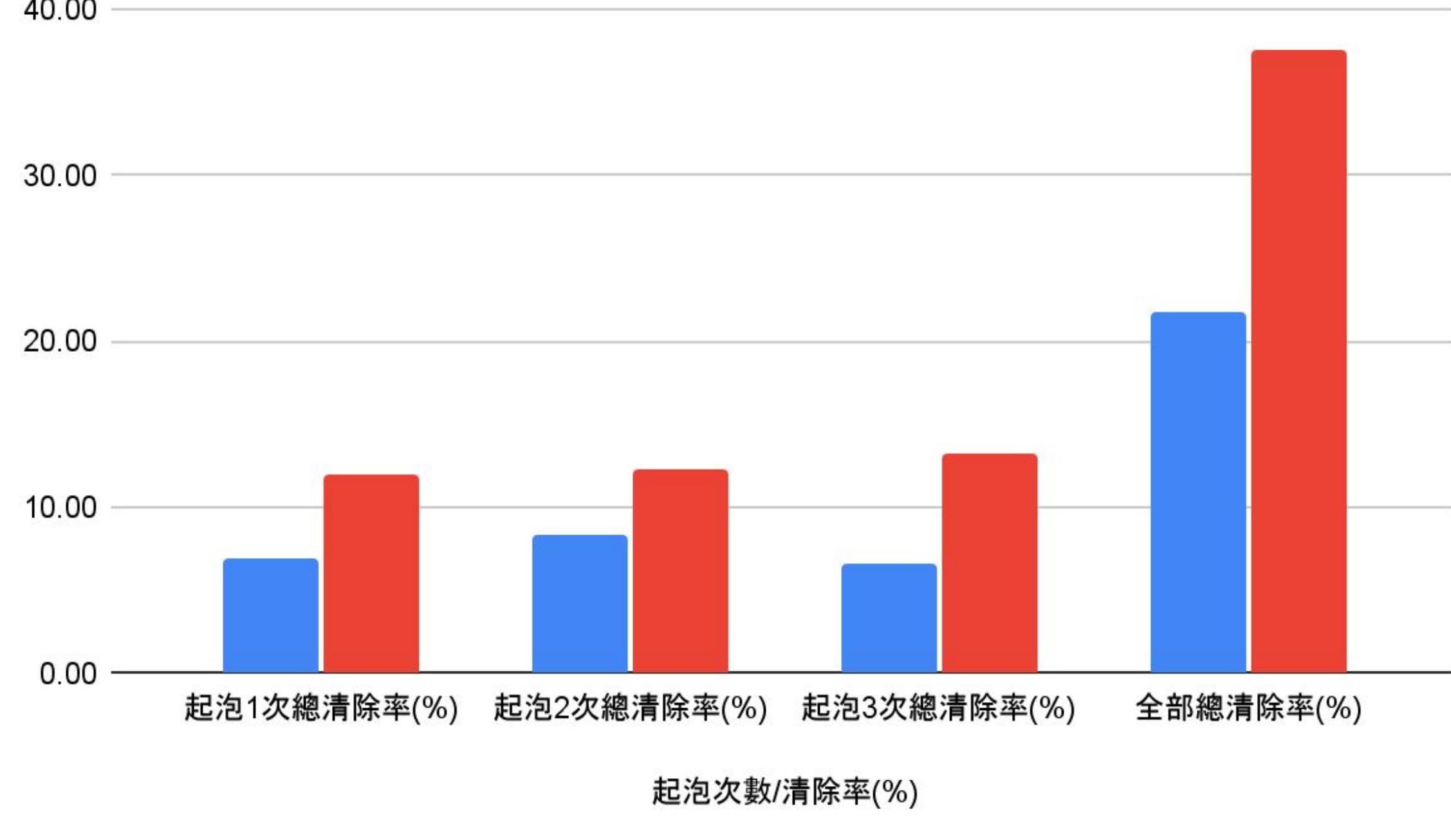
1. 因果: 此起泡裝置直接在海水中起泡就可以有高達 21.71% 的清除率，而在加入微塑粒後的海水起泡則是有 37.55% 的清除率。

2. 原理: 實驗結果顯示真實海水的清除率會較之前模擬海水加入微塑粒還要低，可能是因微塑粒與海水中的帶電粒子互相干擾，使其清除率下降。

3. 發現: 此起泡裝置起泡三次後目前可清除海水中 37.55% 的微塑粒，不但環保又實用，值得研究開發。

圖 5-9-1 模擬此裝置在真實海水清除微塑粒的清除率

■ 海水+7.5%磷脂 ■ 海塑粒+7.5%磷脂



上方實驗圖片均由作者拍攝，圖 5-9-1 也由作者親自繪製

伍、結論

一、無患子比泡泡水的親油性佳，作為去除海洋微塑粒的界面活性劑較為適合。

二、TDS 數值可對應溶液中的海塑粒濃度。

無患子 TDS-海塑粒濃度 計算公式: $TDS = 0.176 \times \text{海塑粒濃度} + 115$,

泡泡水 TDS-海塑粒濃度 計算公式: $TDS = 0.783 \times \text{海塑粒濃度} + 241$ 。

三、海塑粒無患子起泡效果最佳。

四、海塑粒總清除率排序: 大豆卵磷脂 > 白蠟油 > 無患子 > 泡泡水 = 10:7:1:1，以大豆卵磷脂最佳。

七、無患子與大豆卵磷脂比例以 7:3 有最好的起泡力。

八、大豆卵磷脂不但能起泡又有很好的清除率(84.14%)，而且又是天然的界面活性劑，後續的實驗將會使用 7.5% 大豆卵磷脂來進行。

九、此起泡裝置起泡三次後目前可清除海水中 37.55% 的微塑粒，不但環保又實用，且符合 SDGs 永續發展目標中 SDG 6 淨水及衛生，值得開發與研究。

十、未來希望找出更佳清除率的天然界面活性劑，並在海中以實體起泡裝置，來提高微塑粒清除率，增加此作品的實用性。