

# 新竹市第四十四屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

科別：生活與應用科學科(三) (含化學工程/環境科學)

組別：國中組

作品名稱：除「塑」大作戰-煮沸法及廢棄蝦殼製成  
幾丁聚醣去除水中塑膠微粒探討

關鍵詞：塑膠微粒、幾丁聚醣、去除率

編號：

## 摘要

飲用水被檢測出的塑膠微粒已嚴重影響民眾的健康。我們使用加熱煮沸法，探討去除塑膠微粒效果。同時，餐飲產生的蝦殼廢棄物再利用，製成環保的「綠色淨水劑」幾丁聚醣，去除塑膠微粒。結果:①中等硬水環境：加熱煮沸法塑膠微粒去除率達到 51.24%，去除率偏低。②微波加熱提取法製成的幾丁聚醣，用於去除水中塑膠微粒，獲得良好成效。去除率(%):聚醯胺 (PA) > 聚對苯二甲酸乙二酯 (PET) > 聚丙烯 (PP)，分別為 85.8%、81.5%、74.5%。此外，小粒徑 75 微米去除率>150 微米。pH 為 6.0、幾丁聚醣與塑膠微粒劑量比 3:1，去除率達到最高峰，為 91.5%。礦泉水實測 A，B 品牌塑膠微粒被幾丁聚醣去除 30mg 及 10mg。結論:我們研究--廢棄蝦殼微波加熱製成幾丁聚醣去除水中塑膠微粒，是一個有效、可行的方法。

## 壹、前言

### 一、研究動機

隨著塑膠污染日益嚴重，根據 2024 年《美國國家科學院院刊》的新研究，瓶裝水或礦泉水中等飲用水被檢測出的塑膠微粒(Microplastics，MPs)，。塑膠微粒已嚴重影響民眾的健康。研究顯示微塑膠進入人體循環系統，會對人體健康造成潛在威脅，包括造成心血管、神經系統、生殖與代謝、腸道等健康風險。(健康網 2025)

為了解決飲用水中塑膠微粒帶來的健康風險，開發出有效且普遍適用的去除「塑膠微粒」技術，是一項重要的目標與需求。

我們嘗試尋找自然課本知識及相關文獻，希望找出簡單、低成本、環保、再利用的可行方法。結果發現加熱煮沸法及幾丁聚醣，是去除塑膠微粒的可能辦法。

## (一)「古老智慧」加熱煮沸法，達成簡單去除塑膠微粒

相較於昂貴的逆滲透過濾系統，加熱煮沸法是一種簡單且低成本的居家淨水方式。理化課本有提到在加熱硬水的過程中，水中的鈣離子（ $\text{Ca}^{2+}$ ）會與碳酸氫根離子（ $\text{HCO}_3^-$ ）反應，生成碳酸鈣（ $\text{CaCO}_3$ ）沉澱，即俗稱的「水垢」。

利用碳酸鈣沉澱的「包覆效應」，碳酸鈣晶體在形成過程中，將水中的塑膠微粒包裹產生共同沉澱，形成一種「捕捉器」，如果成效良好「加熱煮沸法」將是一種簡單極低成本的去除塑膠微粒方法。

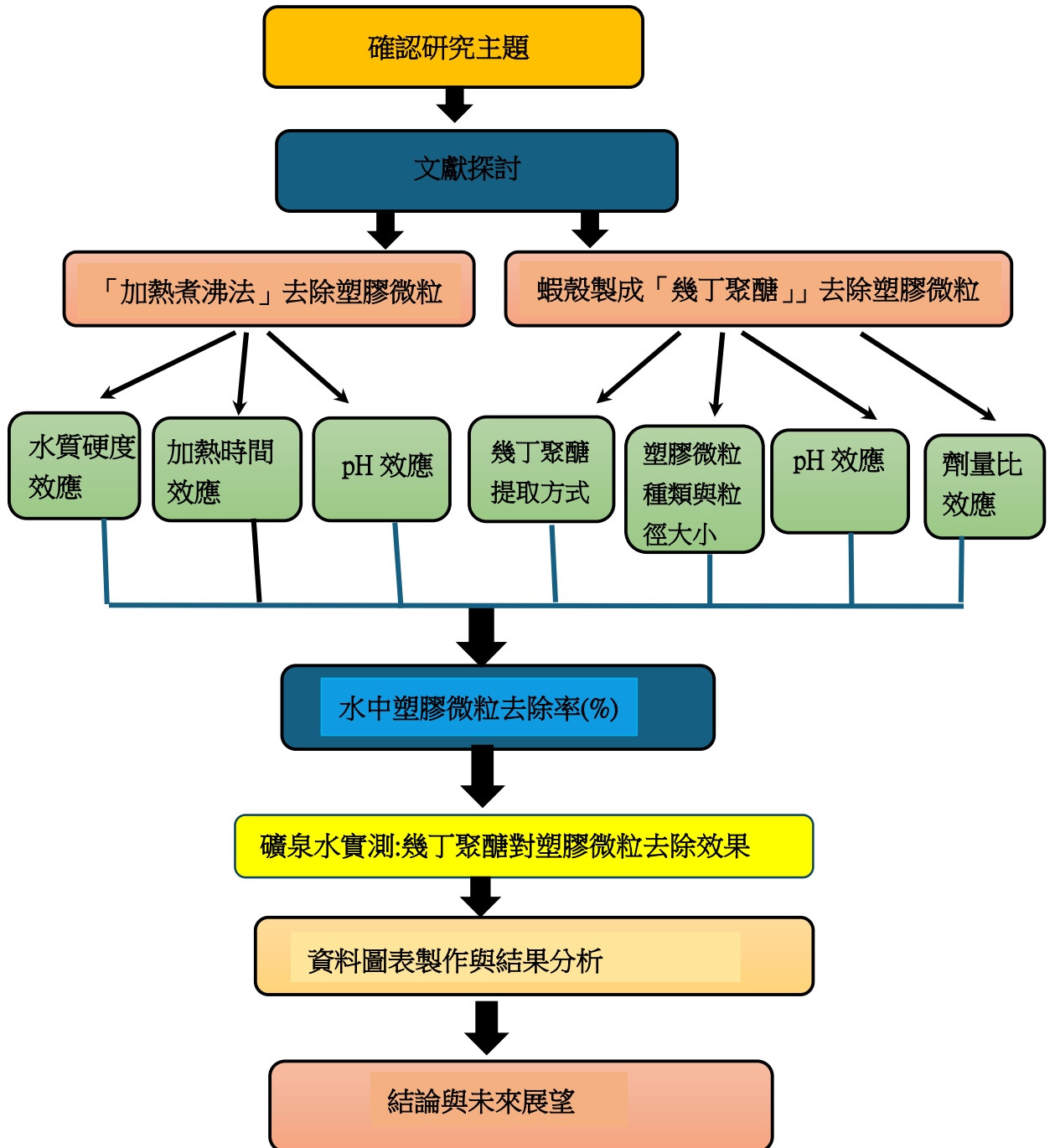
## (二)蝦殼廢棄物再利用，製成環保的「綠色淨水劑」-幾丁聚醣，達成永續利用目標

台灣餐廳每年餐飲產生的蝦殼廢棄物數量龐大，若直接丟棄會造成環境惡臭與汙染。透過回收蝦殼提取方式，製成環保的「綠色淨水劑」-幾丁聚醣，不僅解決了廢棄物問題，還能達成除塑大作戰目標，去除水中塑膠微粒，確保民眾健康。

### ●研究特色

1. 環保性:利用廢棄的蝦殼再利用製成幾丁聚醣，達成環保回收再利用目標。
2. 知識性:應用國中自然課程《萃取、提取》知識，製成高效率「綠色淨水劑」。
3. 實用性: 幾丁聚醣去除水中塑膠微粒效率高，具有實用性。
- 4 自發合作:我們小組成員能發揮團隊精神，符合 108 課綱《自發、互動、共好》精神，實驗中實事求是，發現問題，自我探索，解決問題。

### 研究流程架構圖



## 二、文獻探討

●**發現問題:** 我們觀賞新聞發現了塑膠微粒健康相關問題，包括:

①**塑膠微粒吃下肚恐不孕!** ②**塑膠微粒會造成大腦塑化失智。**([塑膠微粒危害 2026](#))

Q:什麼是塑膠微粒呢?塑膠微粒對人有哪些影響呢?塑膠微粒有哪些去除方法呢?

●**自我探索:**我們找了科教館科展資料及相關文獻整理如下:

### 1. 常見塑膠微粒種類

塑膠微粒定義:一般是指直徑或長度小於 **5 毫米 (mm)**的塑膠碎片或顆粒。

塑膠微粒的種類可從「物理形態」或「化學材質」來區分 ([綠色和平 2025](#)):

#### ①按形態區分:

塑膠纖維	來源是尼龍等人造纖維衣物在洗滌過程中脫落，是水體中最常見的種類。
碎片	來源是塑膠瓶子、製造過程磨碎而產生其中。例如礦泉水中的塑膠微粒。
柔珠	為了某種目的刻意製造的微小粒子，如洗面乳中的去角質的塑膠顆粒。

#### ②按化學材質區分:

種類	用途
聚醯胺/尼龍(PA)	反滲透濾膜(RO 膜)
聚乙烯 (PE)	塑膠袋、保鮮膜
聚丙烯 (PP)	吸管、食品容器、礦水瓶蓋、食物盒、咖啡杯蓋。
聚苯乙烯 (PS)	免洗餐具、泡綿、透明食物盒
聚對苯二甲酸乙二酯 (PET)	寶特瓶、礦泉水瓶

根據 2024 年研究指出，瓶裝水或礦泉水中檢測出的塑膠微粒含量及嚴重性較高的前三名分別是 **PA (聚醯胺/尼龍)**、**PET (聚對苯二甲酸乙二酯)**、**PP(聚丙烯)** ([健康網 2025](#))。PA (聚醯胺/尼龍)主要源自生產端用於淨水、除菌的反滲透濾膜。PET (聚對苯二甲酸乙二酯)來源則是來自瓶身材質，當瓶身受到擠壓或高溫曝曬時，微粒會脫落進入水中。

⇒本研究塑膠微粒種類:

以 **PA (聚醯胺/尼龍)**、**PET (聚對苯二甲酸乙二酯)**、**聚丙烯 (PP)**為主

## 2. 塑膠微粒以大小分類:

類別	尺寸範圍	備註
大塑膠微粒	> 20 mm	肉眼清晰可見的垃圾
中塑膠微粒	5 - 20 mm	瓶蓋碎片等
塑膠微粒	<b>1 <math>\mu</math>m - 5 mm</b>	上限為 <b>5 mm</b>
次微米塑膠微粒	0.1 $\mu$ m - 1 $\mu$ m	食品容器加熱後釋放
奈米塑膠微粒	<b>&lt; 1 <math>\mu</math>m (或 &lt; 100 nm)</b>	粒徑極小，可能穿過細胞膜進入血液循環

• U.S. FDA (2026)、新竹市環保局研究報告(2026)、環境部化學物質管理署(2021)、Qian, N., et al. (2024)

本研究受限於塑膠微粒後續觀測顯微鏡放大倍數(2000 倍)及 **Whatman 濾紙孔徑 (11 $\mu$ m)** :限制

⇒ 本研究塑膠微粒大小:以 **1  $\mu$ m - 5 mm** 為主  
(**100 目:150 微米 (um)** ; **200 目:75 微米 (um)**)兩種規格。

## 3. 塑膠微粒的主要健康風險

心血管風險	心臟病發作、中風或死亡的風險是常人的 4.5 倍。
神經系統風險	塑膠微粒具有親脂性，能穿透血腦屏障，造成阿茲海默症(失智症)及認知衰退等。
生殖與代謝風險	內分泌干擾與生育力下降。
腸道風險	微粒進入腸道後會破壞腸道菌叢，引發全身性發炎。

Raffaele Marfella(2024)

#### 4. 塑膠微粒去除與測量方法

閱讀歷屆科展文獻:塑膠微粒去除與測量方法，整理如下:

見「微」知「塑」	優點:報告顯示自製簡易螢光顯微鏡取代昂貴市售螢光顯微鏡，進行微塑膠螢光染色檢測。在溪流製造泡泡牆產生向上水流，清除水中的微塑膠。 缺點: 缺乏「鹽度對吸附率的影響」
降塑「油」解！清除水中塑膠微粒的方式	優點:結合塑膠和磁粉來吸油，再以磁鐵去除水中塑膠微粒，運用自製光譜儀測量塑膠微粒濃度 缺點: 低濃度時光譜儀測量線性不佳，容易產生測量誤差。
淨「塑」撤離「鐵」定「油」效	優點:這篇報告油料先吸附水中塑膠微粒，再用鐵磁性吸油劑吸附含塑油料，最後利用磁鐵吸附清除。 缺點:使用油料容易產生飲用水油類二次污染，需再進行除油

唐祥恩(2020)、連芮暄(2021)、薛宇竣(2022)

## 貳、研究設備及器材

### 一、實驗藥品與樣本

1. 餐廳飯後廢棄蝦殼	7. 鹽酸
2. 聚醯胺/尼龍 (PA) 塑膠微粒 (100 目、200 目)	8. 氫氧化鈉
3. 聚對苯二甲酸乙二酯(PET) 塑膠微粒 (100 目、200 目)	9. 尼羅紅染料
4. 聚丙烯(PP) 塑膠微粒 (100 目、200 目)	10. 甲基藍染料.
5. 氯化鈣	
6. 碳酸氫鈉	

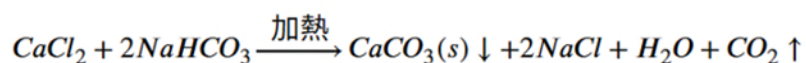
### 二、實驗器材

1. 2000 倍單眼顯微鏡	8. 培養皿
2. 2000 倍 USB 顯微鏡	9. 燒杯
3. 磁石攪拌機	10. 量筒
4. 磨粉機	11. 玻棒
5. 微量天平	12. 烘箱
6. 微波爐	13. 濾紙
7. 酒精燈	14. 定量吸管

## 參、研究方法

### 一「加熱煮沸法」，達成簡單去除塑膠微粒

為了要精確模擬含鈣硬水，使用以下反應系統，美國環境保護局 (EPA) 標準方法中常見的配方：



這個反應能完美模擬自來水中的碳酸氫根受熱分解，產生沉澱包裹塑膠微粒的過程。

步驟①秤取 0.20、0.13、0.06 克氯化鈣 ( $CaCl_2$ ) 放入 1000mL 燒杯，加水至 1000mL，使用攪拌機攪拌至溶解，配置完成 180 mg/L ( $CaCO_3$  當量)、中度硬水 120 mg/L ( $CaCO_3$  當量)硬水、60 mg/L ( $CaCO_3$  當量)軟水。

步驟②秤取 0.30、0.20、0.1 克碳酸氫鈉 ( $NaHCO_3$ ) 放入 1000mL 燒杯，加水至 1000mL 使用攪拌機攪拌至溶解。

步驟③取①、②各 50mL 放入 100mL 燒杯中。

步驟④使用微量天平秤取 0.01g 塑膠微粒，放入 100mL 燒杯中，使用磁石攪拌機攪拌均勻。

步驟⑤開始煮沸。隨著溫度升高，二氧化碳會逸散，碳酸鈣沉澱就會從微粒表面開始結晶生長，達成包裹塑膠微粒，達到去除塑膠微粒效果。靜置樣品直到室溫，讓生成的  $CaCO_3$  晶體捕捉塑膠微粒並沉澱至底部。

步驟⑥以滴管吸取上清液以濾紙過濾

步驟⑦以尼羅紅染料及亞甲藍染料染色

步驟⑧以 2000 倍 USB 顯微鏡觀察計數塑膠微粒顆粒並計算塑膠微粒去除效率。

**去除率計算公式：**

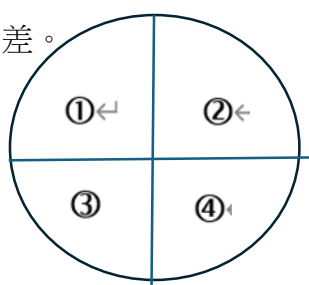
$$R(\%) = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\%$$

其中  $C_0$  為初始濃度， $C_e$  為處理後濃度。

上層液塑膠微粒數 ← 上層液塑膠微粒數 ←

硬水標準 台灣自來水公司 <https://www.water.gov.tw/dist12/Contents?nodeId=7568>

顯微鏡觀察計數方式:為了更精準測量與計數⇒採用四分隔計數方式⇒將過濾後的濾紙分四格計算塑膠微粒數量⇒如數量超過 30 以上則採用 3 次不同人計數方式，避免人為主觀認定偏差。



## 二、蝦殼廢棄物再利用，製成環保的「綠色淨水劑」幾丁聚醣



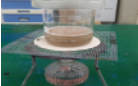


本研究參考相關研究後進行修正，蝦殼萃取幾丁聚醣流程如下：

步驟	處理程序	目的	傳統加熱煮沸法	微波加熱法
1.預備處理	清洗、烘乾、粉碎	增加接觸面積，提高效率	洗淨雜質後於 60-80°C 烘乾，研磨成粉。	洗淨雜質後於 60-80°C 烘乾，研磨成粉。
2.去除蝦殼中蛋白質	加入氫氧化鈉 (NaOH) 溶液加熱	破壞幾丁質與蛋白質間的共價鍵	濃度 10%，溫度 100°C，反應 2 小時。	濃度 10%，600W 加熱 10 分鐘
3.去除蝦殼中礦物質	加入鹽酸 (HCl) 溶液攪拌	去除碳酸鈣與磷酸鈣，產生二氧化碳氣泡	10% 鹽酸，室溫反應 2 小時。	10% 鹽酸，450W 加熱 10 分鐘
4.去色素	使用氧化劑 (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 雙氧水)	去除殘留的蝦紅素與脂質	以雙氧水脫色。	以雙氧水脫色。
5.去乙醯化	50% 高濃度 NaOH	幾丁質分子鏈上含有大量的「乙醯基」(-NHCOCH <sub>3</sub> )，這使得分子鏈結構緊密，不溶於水及大多數溶劑。透過強鹼高溫處理，可以水解掉這些乙醯基，轉變為游離胺基 (-NH <sub>2</sub> )	使用 50% NaOH 於 100°C 加熱 1 小時處理成幾丁聚醣甲殼素	使用 50% NaOH，800W 加熱 20 分鐘
5. 最終處理	水洗、乾燥	得到純化的幾丁聚醣甲殼素	用蒸餾水洗至 pH 中性，於 60-80°C 烘乾。	用蒸餾水洗至 pH 中性，於 60-80°C 烘乾。






陳子琳(2007) 陳柏翔(2018)

### 三、實驗流程圖示








#### (一)傳統加熱煮沸法

清洗	磨粉	去蛋白 NaOH 10%	去礦物質 HCl 10%	去色素 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	去乙醯化 NaOH 50%	水洗乾燥	幾丁聚醣
							









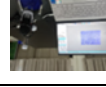
#### (二)微波加熱法

清洗	磨粉	去蛋白 NaOH 10%	去礦物質 HCl 10%	去色素 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	去乙醯化 NaOH 50%	水洗乾燥	幾丁聚醣
							










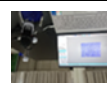
#### (三)加熱煮沸去除塑膠微粒

配置各式 硬水	加入塑膠微粒 PA 0.01g	快速攪拌 120 轉/分 2 分鐘	加熱時間 (30 分)	吸取上層 液過濾	亞甲藍染 色	USB 顯微鏡 計數	計算去除率 (%)
							$\frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\%$

#### (四)幾丁聚醣去除塑膠微粒

燒杯裝 100mL 純水	加入塑 膠微粒 PA0.01g	快速攪拌 120 轉/ 分 2 分鐘	加入幾 丁聚醣 0.01g	慢速攪拌 120 轉/ 分 2 分鐘	慢速攪拌 30 轉/分 30 分鐘	吸取上 層液過 濾	亞甲藍 染色	USB 顯微鏡 計數	計算 去除率(%)
									$\frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\%$

#### (五)礦泉水實測:幾丁聚醣去除塑膠微粒

濾紙 秤重 0.53g	燒杯裝 500mL 礦泉水	加入幾 丁聚醣 0.05g	慢速攪拌 120 轉/ 分 2 分 鐘	慢速攪拌 30 轉/分 30 分鐘	取下 層液過 濾	濾紙 烘乾	秤重 0.61g	亞甲藍 染色	USB 顯微鏡 計數	計算 去除塑膠微 粒重量'
										We-W0 0.03g=30mg

計算去除塑膠微粒重量: We(濾紙+幾丁聚醣+塑膠微粒)-W0(濾紙+幾丁聚醣)

## 肆、研究結果與討論

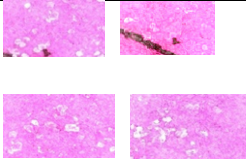
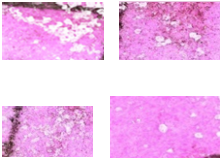
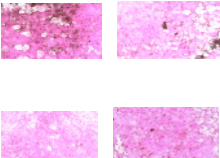
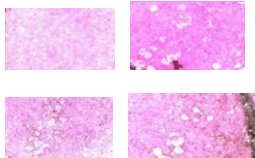
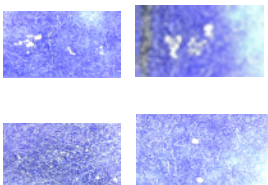
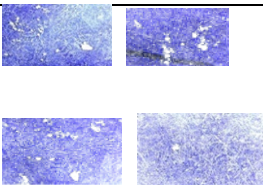
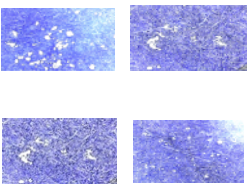
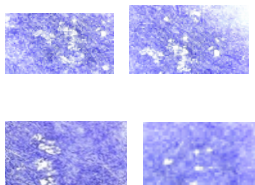
### 一、「加熱煮沸法」，達成簡單去除塑膠微粒

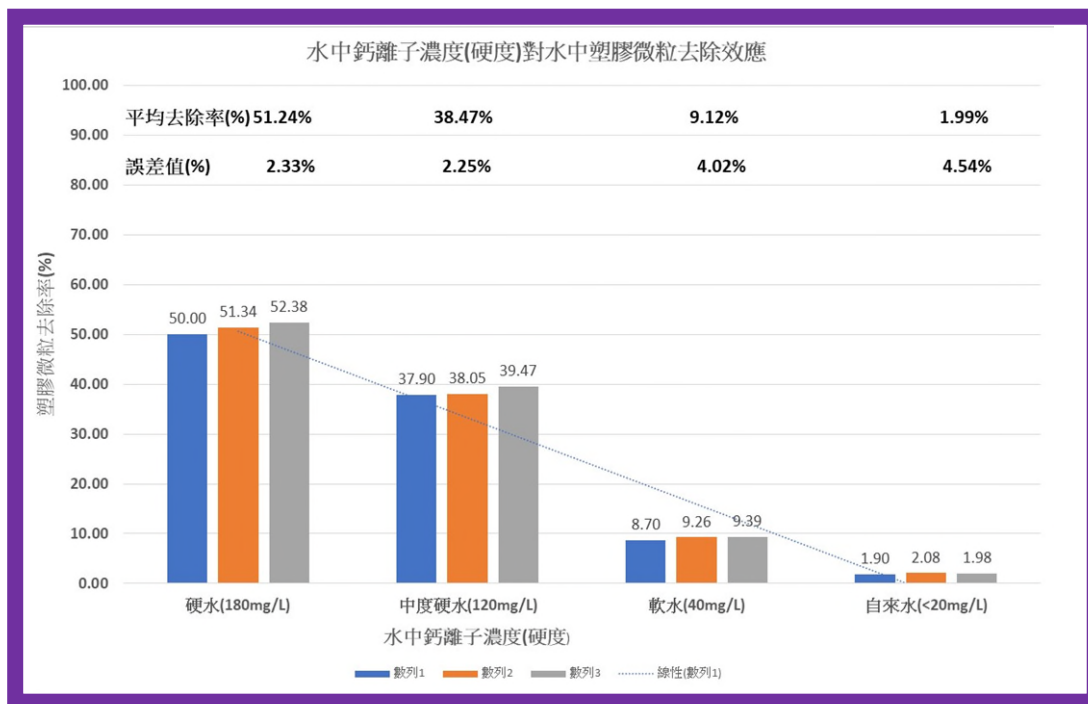
●**發想(目的):**塑膠微粒的去除一定要靠昂貴的 RO 逆滲透方式才能去除嗎?。利用「加熱煮沸法」，是否能像「捕捉器」一樣，將水中的塑膠微粒包裹產生共同沉澱，進而去除塑膠微粒。

我們的實驗設計針對四個主要參數，①**水質硬度**(硬水、中度硬水、軟水、自來水) ②**加熱時間**:30 分、60 分鐘 ③**pH 值效應**: 7.0、8.5。

#### 1.水質硬度效應:鈣離子濃度效應

操縱變因	水質硬度
控制變因	溫度(25 度) 攪拌速度(快混 120 轉/分 2 分鐘) 加熱時間(30 分) PA (聚醯胺/尼龍)100 目 150 微米 (um) 0.01g
應變變因	水中塑膠微粒去除效率(%)

水質種類	硬水 (180mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	中度硬水 (120mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	軟水 (40 mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	自來水(對照組) (<20 mg/L as CaCO <sub>3</sub> )
加熱煮沸前 初始塑膠微粒 數量(個/100mL) (計數 3 次)	No.1:36+35+35+40=146 No.2:38+38+40+40=156 No3.:35+36+38+40=149 平均數:150	No.1:60+32+45+15=152 No.2:65+30+46+12=153 No3.:63+36+43+14=156 平均數:153	No.1:56+50+20+36=162 No.2:56+48+18+40=162 No3.:57+45+20+36=158 平均數:160	No.1:30+40+40+42=152 No.2:32+43+38+43=156 No3.:31+45+40+41=155 平均數:154
加熱煮沸後 塑膠微粒 總數目 (計數 3 次)	No.1:21+30+20+2=73 No.2:22+32+22+2=78 No3.:22+31+20+2=75 平均數:75	No.1:30+36+30+1=97 No.2:29+35+30+1=95 No3.:29+34+30+1=94 平均數:95	No.1: 53+28+30+36=147 No.2:48+28+31+36=143 No3.:50+30+32+35=147 平均數:146	No.1: 56+47+44+6=153 No.2:55+46+44+6=151 No3.:56+46+43+6=151 平均數:151
塑膠微粒 去除率%	50.0%	37.9%	8.7%	1.9%
加熱煮沸前 顯微鏡下圖片				
加熱煮沸後 顯微鏡下圖片				



## ●結果:

上圖結果清晰地看到了水中鈣離子濃度（硬度）與塑膠微粒去除效率之間的正相關的關係。隨著水質硬度的提升，塑膠微粒的平均去除率呈現顯著的階梯式上升：

- 極低硬度環境（自來水, <20mg/L）：塑膠微粒幾乎無法被有效去除，平均去除率僅有 1.99%。
- 軟水環境（40mg/L）：去除率小幅提升至 9.12%，但效果依然有限。
- 中度硬水環境（120mg/L）：去除效率出現質的飛躍，大幅跳升至 38.47%。
- 硬水環境（180mg/L）：達到本次實驗的最高效應，平均去除率高達 51.24%。


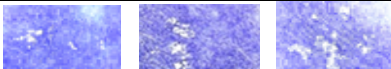
從趨勢線（線性數列 1）可以看出，硬度每增加一個級距，去除率便呈現穩定的增長趨勢。

## ●省思與討論:發現問題與自我尋找答案

### Q 問題:為何硬度較高的水塑膠微粒去除效率較高?

參考相關文獻資料(Maocai Shen 2022)後發現、硬度較高的水塑膠微粒去除效率較高，主要是有兩個機制①電荷中和作用：鈣離子帶有正電荷，可能中和了水中塑膠微粒表面的負電荷，降低微粒間的斥力，促使它們聚集。②共同沈澱效應：在硬度高的環境中，鈣離子容易與水中的碳酸氫根結合形成微小的碳酸鈣( $\text{CaCO}_3$ ) 晶體。這些晶體在生成或沈降過程中，會像「網子」一樣將塑膠微粒包裹並一同沈澱。

Q 問題:為何使用尼羅紅染料染色會使濾紙會邊緣呈現黑色狀況?能否改用其他染料取代呢?

尼羅紅染料	亞甲藍染料
	
邊緣呈現黑色 影響計數	邊緣無黑色
單價高 100mg 約 3000-4000 元。	單價低 便利性高 25g 約 280 元 生物實驗中使用不須額外購買

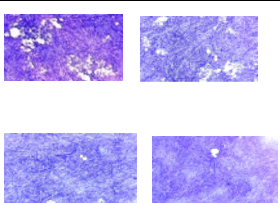
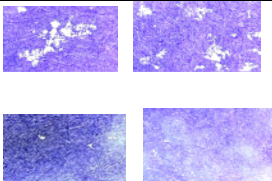
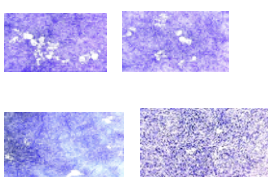
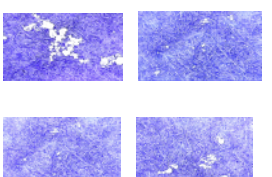
可能是毛細管現象與邊緣積聚：尼羅紅溶液滴在濾紙上時，溶劑乙醇會向邊緣擴散並揮發。在揮發過程中，尼羅紅分子會被推向濾紙的最外緣形成黑色邊界。

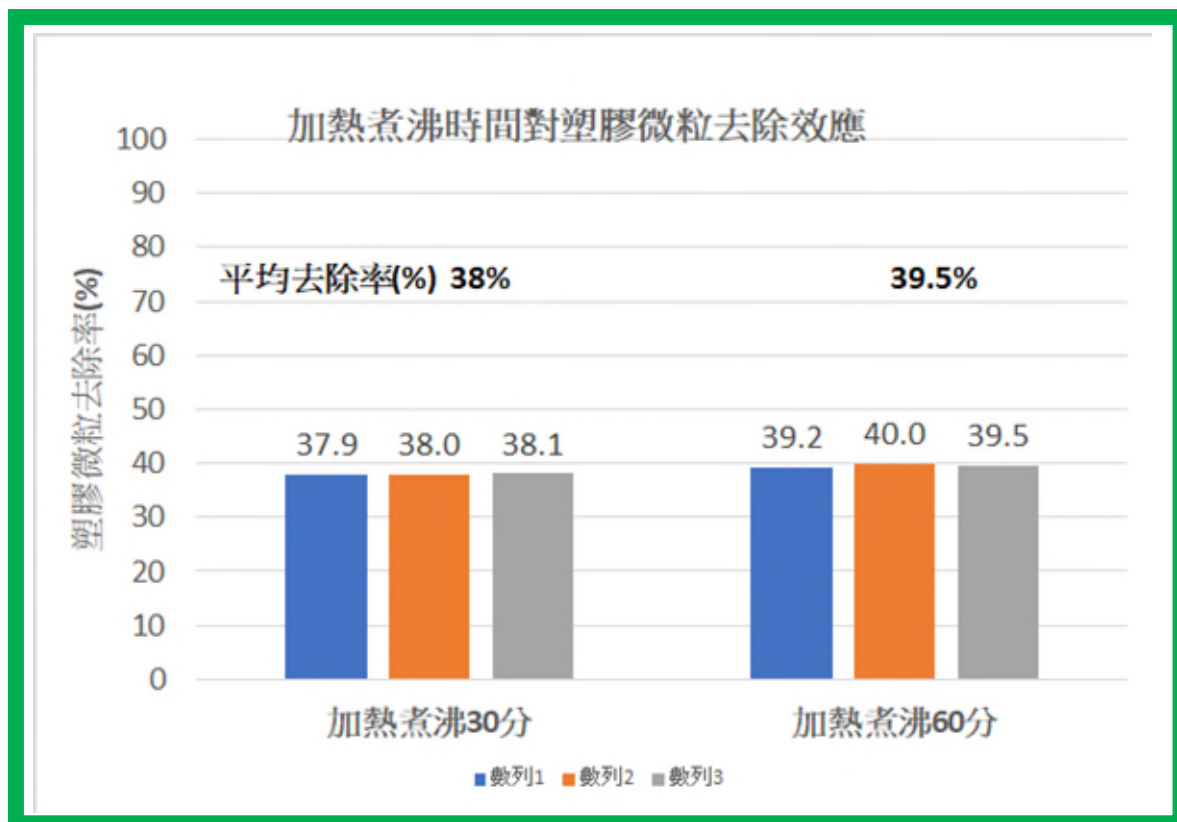
⇒改用生物實驗常用的亞甲藍染劑，單價低 便利性高。

## 2.加熱時間效應:

操縱變因	加熱時間(30、60 分)
控制變因	攪拌速度(120 轉/分 2 分鐘) PA (聚醯胺/尼龍)100 目 150 微米 (um) 0.01g
應變變因	塑膠微粒去除效率(%)

## ●結果

	加熱時間 30 分	加熱時間 60 分
加熱煮沸前 初始塑膠微粒 (計數 3 次)	No.1:75+73+3+1=152 No.2:76+76+3+2=157 No3.:75+72+3+1=151 平均數:153	No.1:78+72+3+4=157 No.2:76+76+3+4=159 No3.:78+75+3+4=160 平均數:158
加熱煮沸後 上層液塑膠微粒數量 (個/100mL)	No.1:48+26+19+4=97 No.2:47+25+19+4=95 No3.:47+24+19+4=94 平均數:95	No.1:45+17+16+17=95 No.2:44+18+15+17=94 No3.:48+18+16+17=99 平均數:96
塑膠微粒去除率(%)	37.9%	39.2%
加熱煮沸前 顯微鏡下圖片		
加熱煮沸後 顯微鏡下圖片		

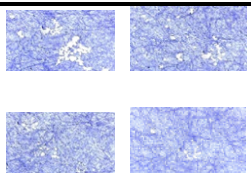
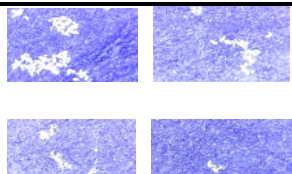
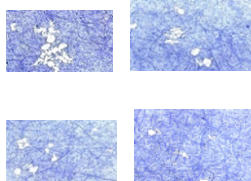
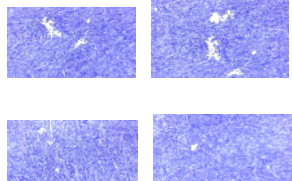


1. 去除率無明顯差異: 當加熱時間從 30 分鐘增加到 60 分鐘時，平均去除率僅從 38% 提升至 39.5%，無明顯差異。顯示在加熱時會形成水垢沉澱，並將塑膠微粒「包裹」或「吸附」其中形成沉降的反應，在加熱前 30 分鐘就已趨於飽和。
2. 實驗的高穩定性: 不論是 30 分鐘還是 60 分鐘的組別，三次重複實驗（數列 1、2、3）的數據都非常接近。這代表實驗的操作變因控制良好，結果具有高度的可重複性與信賴度。

### 3. pH 值效應:

操縱變因	pH
控制變因	攪拌速度(120 轉/分 2 分鐘) PA (聚醯胺/尼龍)100 目 150 微米 (um) 加熱時間(30 分)
應變變因	塑膠微粒去除效率(%)

●結果

	pH7.0	pH8.5
加熱煮沸前水溶液中 塑膠微粒總數目 (計數 3 次)	No.1:56+39+50+10=155 No.2:58+39+49+10=156 No3.:55+39+50+9=153 平均數:154	No.1:78+35+30+12=154 No.2:77+36+31+11=155 No3.:79+37+31+11=158 平均數:156
加熱煮沸後水溶液中 塑膠微粒總數目	No.1:49+21+19+7=96 No.2:47+20+19+8=94 No3.:48+20+20+7=95 平均數:94	No.1:28+38+11+1=78 No.2:27+39+12+1=79 No3.:28+37+11+1=77 平均數:78
塑膠微粒去除率(%)	38.9%	50.0%
加熱煮沸前 顯微鏡下圖片		
加熱煮沸後水溶液中 塑膠微粒經過濾後 顯微鏡下圖片		

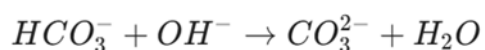


1. 去除率隨 pH 值上升而顯著增加：在 pH 7.0（中性）環境下，三次實驗的去除率落在 38.9% 至 40.2% 之間，平均去除率為 39.4%。在 pH 8.5（弱鹼性）環境下，去除率提升至 50.0% 至 52.8% 之間，平均去除率達到 51.3%。
2. 升幅比較：pH 值僅提升 1.5 個單位，平均去除率就增加了約 11.9%。相較於延長加熱時間，改變酸鹼度對於提升去除效率的效果更為直接且明顯。

### ●省思與討論:發現問題與自我尋找答案

#### Q:為何鹼性環境可以提高塑膠微粒去除率?

依照國中理化課程的化學反應及勒沙特列原理，在鹼性環境下（高 pH 值），化學平衡會向生成碳酸根離子（ $\text{CO}_3^{2-}$ ）的方向移動：



生成固體的碳酸鈣結晶旺盛，包裹住水中塑膠微粒的機會就越高。調整微塑膠與鈣離子的靜電引力，讓塑膠微粒更容易成為沉澱的核心，加速沉澱，增加去除率。

#### Q: 新聞指出，傳統煮沸法，能去除 80%塑膠微粒?為何本研究只有 51.3%?

據查該項研究數據所用的硬水硬度大為 **500 mg/L as  $\text{CaCO}_3$**  已偏離真正生活中飲用水標準，會造成飲用口感與風味不佳。高硬度的水喝起來會有種「厚重感」或微苦的澀味。對於腸道較敏感的人，易產生腸道不適症狀。本研究因考慮實際飲水狀況，及生活上實際性，採用**中度硬水(120mg/L as  $\text{CaCO}_3$ )**，雖然去除率(%)只有 51.3%，但確是真實數據。

#### Q: 礦泉水是否可以透過加熱煮沸法去除塑膠微粒?

台灣泉水與自來水大都屬於低硬度水或是軟水。使用傳統加熱煮沸法效果不佳。

**結論:**傳統加熱煮沸法，用於中硬度水質中去除塑膠微粒雖然有 **51.3%** 去除率，但台灣泉水與自來水大都屬於低硬度水或是軟水。使用傳統加熱煮沸法效果不佳。因此傳統加熱煮沸法去除塑膠微粒非最佳的方式，需要開發更有效、更貼近生活實用的方法。

## 二、蝦殼廢棄物再利用，製成環保的「綠色淨水劑」，達成永續利用目標

●**發想(目的):** 台灣餐廳每年餐飲產生的蝦殼廢棄物數量龐大，若直接丟棄會造成環境惡臭與汙染。透過回收蝦殼提取幾丁聚醣製成環保的「綠色淨水劑」不僅解決了廢棄物問題，還能達成除塑大作戰目標，去除水中塑膠微粒，確保民眾健康。

### ●影響幾丁聚醣混凝沉澱去除塑膠微粒的關鍵變因

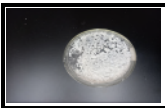
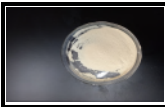
變因	影響機制
幾丁聚醣提取方式	傳統加熱及微波加熱提取法的幾丁聚醣性質不同，去除率也會不同。
塑膠微粒種類	不同塑膠微粒特性與密度粒徑具有不同電荷密度的去除率不同。
塑膠微粒粒徑	較小的粒徑通常需要更高電荷密度的幾丁聚醣來捕捉。
劑量	過少無法完全包裹微塑膠；過多會導致電荷反轉，使顆粒重新分散。
pH 值	影響幾丁聚醣的電荷密度；太高會導致幾丁聚醣失去電荷並沉澱。

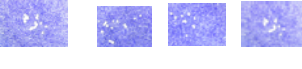
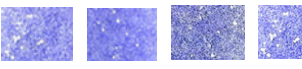
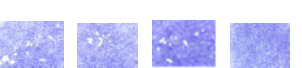
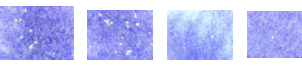
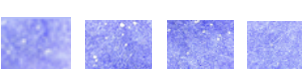
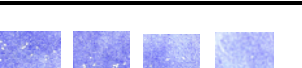
我們的實驗設計是針對五個主要參數，①蝦殼製成幾丁聚醣方法②塑膠微粒種類③塑膠微粒大小④塑膠微粒粒徑⑤劑量⑥pH 值，來進行設計。

### 1.幾丁聚醣取方式對去除水中塑膠微粒效率

操縱變因	幾丁聚醣取方式
控制變因	添加試劑相同
應變變因	水中塑膠微粒去除率(%)

#### ●結果

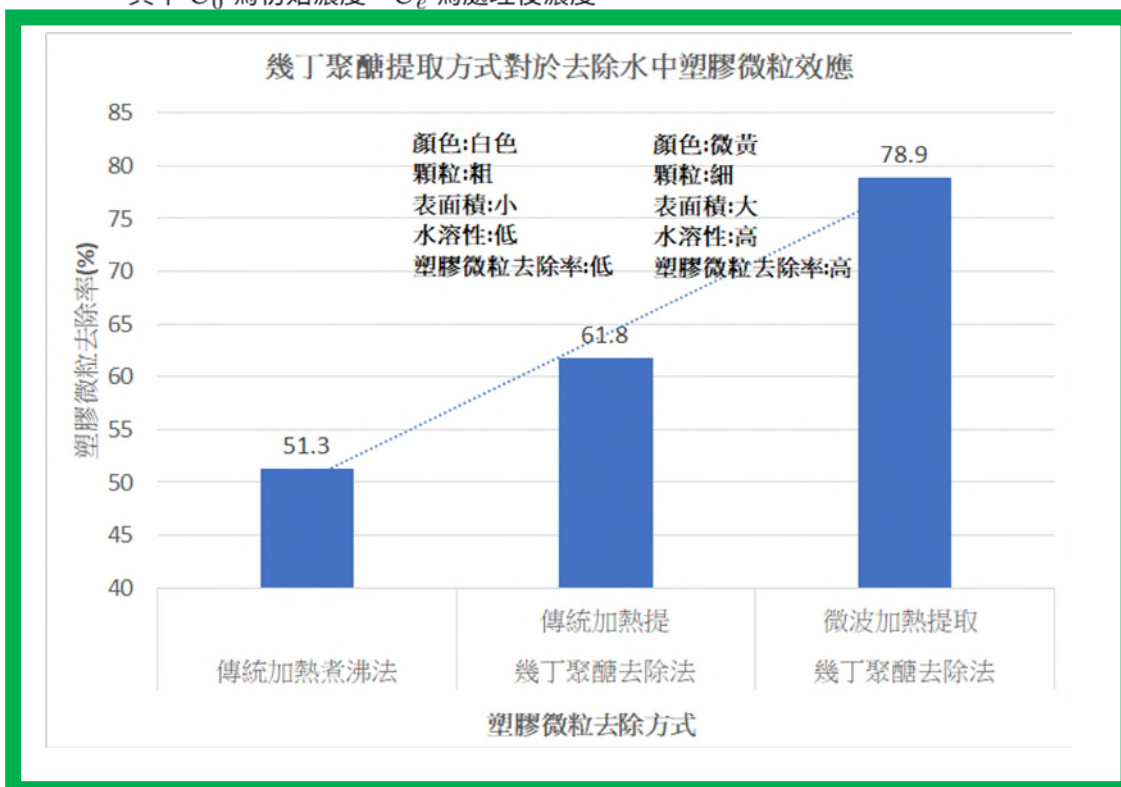
組別	顏色	顆粒大小	水溶性	圖片	平均去除率 (%)
傳統加熱提取法	白色	粗	水溶性低		61.8
微波加熱提取法	微黃色	細	水溶性較高 適合當混凝劑		78.9

組別	實驗 批次	幾丁聚醣濃度 (mg/100mL)	初始塑膠微粒數 量(個/100mL)	處理後上層液塑 膠微粒數量 (個/100mL)	去除率 (%)	處理後上層液過濾後 顯微鏡下圖片
傳統加熱 提取法	實驗 A	1	155	61 (18+15+10+18)	60.6	
	實驗 B	1	155	58 (18+10+12+18)	62.5	
	實驗 C	1	155	58 (28+14+15+1)	62.5	
微波加熱 提取法	實驗 A	1	155	35 (11+21+1+1)	77.4	
	實驗 B	1	155	31 (10+10+9+2)	80.0	
	實驗 C	1	155	32 (12+14+5+1)	79.3	

去除率計算公式：

$$R(\%) = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\%$$

其中  $C_0$  為初始濃度， $C_e$  為處理後濃度。



根據圖表數據，去除水中塑膠微粒的效率由低到高依序為：

1. **傳統加熱煮沸法**：去除率最低，僅為 **51.3%**。
2. **傳統加熱提取幾丁聚醣去除法**：去除率提升至 **61.8%**。此方式提取的幾丁聚醣物理特性為：白色、顆粒較粗、表面積較小、水溶性較低。
3. **微波加熱提取幾丁聚醣去除法**：去除率最高，達到 **78.9%**。此方式提取的幾丁聚醣物理特性為：微黃色、顆粒較細、表面積較大、水溶性較高。
4. **幾丁聚醣相較於單純煮沸的優勢**：實驗結果顯示，加入幾丁聚醣後的去除效果明顯優於單純的「傳統加熱煮沸法」。這說明幾丁聚醣作為一種天然高分子聚合物，其帶有的電荷與氨基能與水中的塑膠微粒產生**凝結或吸附作用**，從而更有效地將微粒析出或沉降。

●**省思與討論:發現問題與自我尋找答案：**

**Q:為何微波加熱提取幾丁聚醣比傳統加熱提取幾丁聚醣對塑膠微粒去除率高?**

①**作用機制分析**

- **傳統加熱**：依靠**熱傳導與對流**。熱量從容器外部緩慢傳導至溶液，再滲透進蝦蟹殼顆粒內部。這會導致溫度梯度，即外部已經過熱，但顆粒核心尚未反應。
- **微波加熱**：①微波直接穿透反應物，使水分子和離子產生每秒數十億次的高頻振動。使殼體組織結構迅速鬆散，讓酸、鹼試劑更容易進入②**微波加熱**能產生更細的顆粒與更大的表面積③**水溶性**的差異也是關鍵。微波提取出的幾丁聚醣具有較高水溶性，有助於其在水中更均勻地分散，增加與塑膠微粒碰撞並結合的機會。
- **微波加熱提取法的去除率（78.9%）比傳統加熱法（61.8%）高出約 17.1%**。推測是因為微波加熱能更有效地破壞幾丁質的晶體結構，使其轉化為脫乙酰度更高或結構更鬆散的幾丁聚醣，優化了其吸附塑膠微粒的能力。

## ②關鍵性能對比

比較項目	傳統加熱	微波加熱提取
處理時間	需數小時甚至更久	需時較短
能源消耗	高（持續加熱且熱能散失多）	低（加熱迅速且具選擇性）
脫乙酰度	將甲殼素轉變成幾丁聚醣較少	反應速度快，易達成高脫乙酰度

### Q:幾丁聚醣去除水中塑膠微粒率去除機制與原理?

幾丁聚醣去除微塑膠主要透過以下三種機制來去除塑膠微粒：

1. **靜電吸附**:大多數微塑膠在水中表面帶有負電荷，幾丁聚醣在胺基，其強大的正電荷會像磁鐵一樣吸引帶負電的微塑膠顆粒。
2. **架橋作用**:幾丁聚醣是一種長鏈聚合物，長鏈分子的兩端會同時吸附多顆塑膠微粒，如同繩索般將多個微細顆粒「網綁」在一起，形成較大的顆粒而產生沉澱。
3. **網捕機制**:當調整 pH 值使幾丁聚醣沉澱時，它會形成類似網狀的結構，在沉降過程中將塑膠微粒「捲入」並一同沉降至底部。

### Q:為何不選常用的活性碳而採用自製幾丁聚醣?

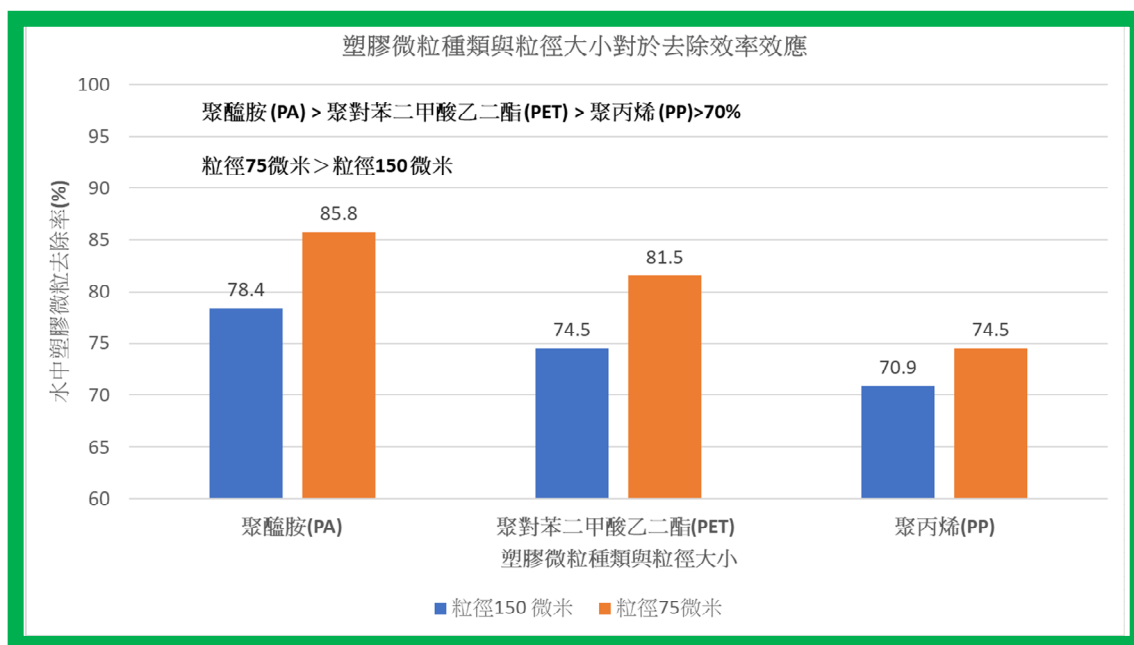
去除機制活性碳以物理攔截為主與幾丁聚醣以化學凝聚為主。幾丁聚醣對於水中塑膠微粒的去除效率率通常被認為優於單純的活性碳，特別是在處理「極微小」的顆粒時。

### 2.塑膠微粒種類與粒徑大小對於塑膠微粒去除率影響

操縱變因	塑膠微粒種類[PA(聚醯胺/尼龍) PET (聚對苯二甲酸乙二酯) PP (聚丙稀)]及粒徑大小(150 微米、75 微米)
控制變因	混凝參數相同:溫度(25 度) 攪拌速度(快混 120 轉/分 2 分鐘 慢混 30 轉/分 30 分鐘) 幾丁聚醣劑量 0.01g
應變變因	塑膠微粒去除率 (%)

### ●結果

組別	PA (聚醯胺/尼龍)	PET (聚對苯二甲酸乙二酯)	PP (聚丙烯)	
粒徑 150 微米	77.4、80.0、79.3 (平均 78.4)	75.3、74.1、74.3 (平均 74.5)	70.6、70.8、71.4. (平均 70.9)	去 除 率 (%)
粒徑 75 微米	85.6、84.9、86.9 (平均 85.8)	81.8、82.0、80.6 (平均 81.5)	73.7、74.9、75.0 (平均 74.5)	



1 幾丁聚醮對三種塑膠微粒的去除效率排序: 聚醮胺 (PA) > 聚對苯二甲酸乙二酯 (PET) > 聚丙烯 (PP)。

2 去除效率: 小顆粒塑膠微粒 > 大顆粒塑膠微粒: 粒徑 75 微米 > 粒徑 150 微米。

●省思與討論:發現問題與自我尋找答案:

Q:為何聚醮胺 (PA) > 聚對苯二甲酸乙二酯 (PET) > 聚丙烯 (PP)?

查詢環境工程化學及水質化學的相關書籍(施英隆 2025、李中光 2004、Susiana Prasetyo 2025)後，發現可能的原因：聚醮胺 (PA) 分子鏈中含有大量的醮胺基 (-NH-CO-)，這使得它具有較強的極性。幾丁聚醮本身含有大量的氨基 (-NH<sub>2</sub>) 與 羥基 (-OH)，兩者之間極易形成強大的作用力。這種強烈的化力量讓幾丁聚醮能像「磁鐵」一樣輕易捕捉 PA 微粒。聚丙烯 (PP) 是一種非極性的飽和碳氫化合物，表面缺乏能

與幾丁聚醣結合的官能基，所以去除率低。加上聚丙烯 (PP)密度為 0.9 小於水的密度 1.0 造成更不易產生沉澱。

特性	PA (聚醯胺/尼龍)	PET (聚對苯二甲酸乙二酯)	PP (聚丙烯)
主要用途	刷毛、機能衣纖維	寶特瓶、合成纖維	外帶餐盒、瓶蓋、吸管
密度	約 <b>1.14 g/cm<sup>3</sup></b> (大於水及海水，易沉降)	約 <b>1.38 g/cm<sup>3</sup></b> (大於水及海水，易沉降)	約 <b>0.90 g/cm<sup>3</sup></b> (小於水及海水，漂浮)
吸水性	高 (分子含極性基團)	低	極低 (疏水性強)

●省思與討論:發現問題與自我尋找答案:

Q:為何小顆塑膠微粒去除效率 > 大顆粒塑膠微粒去除效率，原因為何呢?

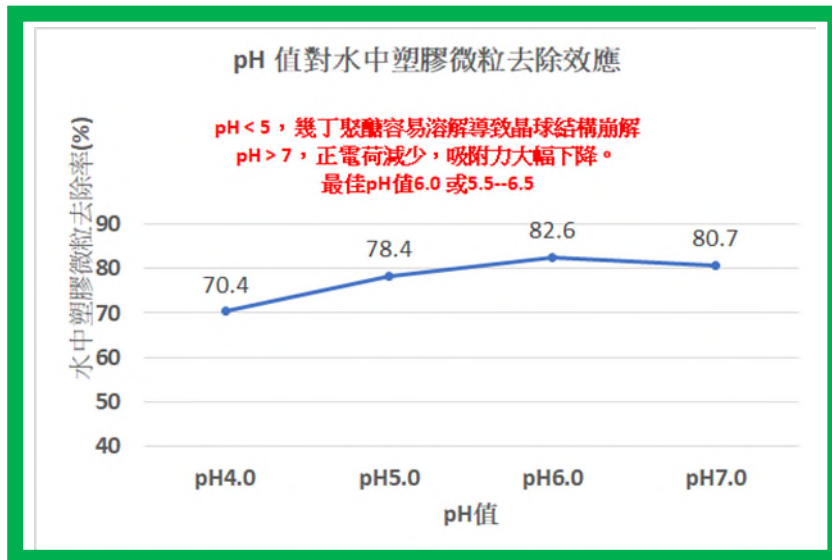
自我查詢環境工程化學及水質化學的相關書籍(施英隆 2025、李中光 2004)後發現可能原因：75 微米表面積大、布朗運動較強、易被凝聚包裹，易產生沉澱。150 微米體積大、浮力大、慣性強、與幾丁聚醣的結合穩定性較差，難產生沉澱。

### 3.pH 效應

操縱變因	pH 值
控制變因	塑膠微粒以 <b>PA (聚醯胺)</b> 為主 粒徑大小(150 微米) 幾丁聚醣劑量 0.01g、混凝參數相同:溫度(25 度) 攪拌速度(快混 120 轉/分 2 分鐘 慢混 30 轉/分 30 分鐘)
應變變因	塑膠微粒去除率 (%)

●結果

pH	pH4.0	pH5.0	pH6.0	pH7.0
去除率 A(%)	70.6	77.4	84.3	80.4
去除率 B(%)	70.9	80.0	83.9	80.6
去除率 C(%)	69.8	79.3	83.6	81.2
平均去除率(%)	70.4	78.4	82.6	80.7



1.水中塑膠微粒去除率：隨 pH 值增加，去除率呈現先升後降的趨勢。

2.最佳 pH 值：pH6.0 時，去除率達到最高點 82.6%。

●省思與討論:發現問題與自我尋找答案

Q: 水中塑膠微粒去除率為何隨 pH 值增加，呈現先升後降的趨勢?

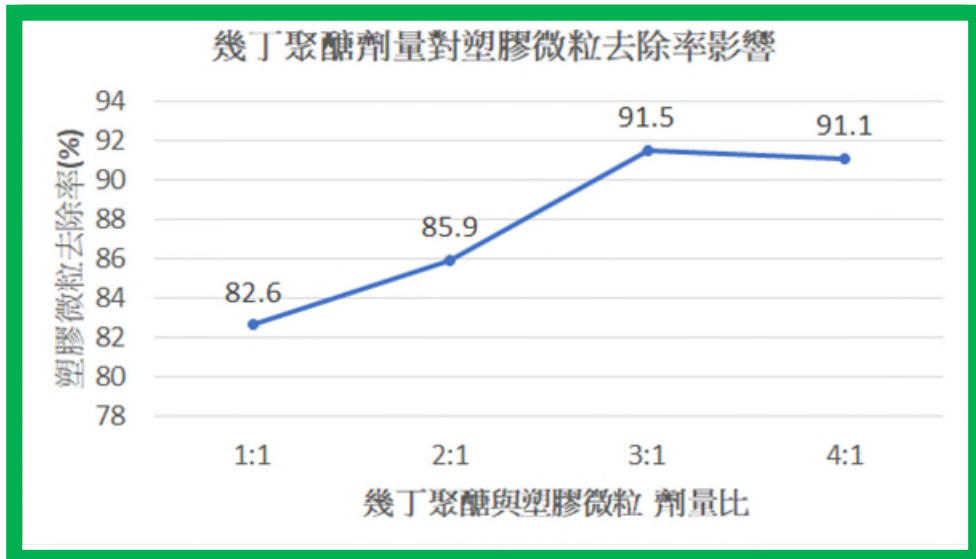
幾丁聚醣的胺基 (-NH<sub>2</sub>) 在酸性下會質子化變成 -NH<sub>3</sub><sup>+</sup>，產生強大正電荷吸附帶負電的塑膠。在 pH 6.0 時，幾丁聚醣氨基質子化程度與水溶液環境達到最佳平衡，有利於形成較大且穩定的絮凝團塊，從而達到最高去除率。pH < 5，幾丁聚醣容易溶解導致晶球結構崩解，pH > 7，正電荷減少，吸附力大幅下降。最佳 pH 值 6.0 或 5.5--6.5。

4.劑量效應

操縱變因	幾丁聚醣與塑膠微粒劑量比
控制變因	塑膠微粒以 PA (聚醯胺)為主 粒徑大小(150 微米)、混凝參數相同
應變變因	塑膠微粒去除率 (%)

●結果

幾丁聚醣與塑膠微粒劑量比	1:1	2:1	3:1	4:1
去除率 A(%)	84.3	87.4	92.2	91.4
去除率 B(%)	83.9	86.0	90.9	90.7
去除率 C(%)	83.6	84.5	91.6	91.2
平均去除率(%)	82.6	85.9	91.5	91.1



幾丁聚醣與塑膠微粒劑量比	實驗批次	幾丁聚醣劑量 30mg	初始塑膠微粒數量(個/100mL)	處理後上層液塑膠微粒數量(個/100mL)	去除率 (%)	處理後上層液過濾後顯微鏡下圖片
3:1	實驗 A	1	155	12 (4+6+1+1)	92.2	
	實驗 B	1	155	14 (9+1+1+3)	90.9	
	實驗 C	1	155	13 (8+1+3+1)	91.6	

1.劑量比 **3:1**：平均去除率達到最高峰，為 **91.5%**。劑量比 **4:1**：平均去除率略微下降，穩定在 **91.1%**。

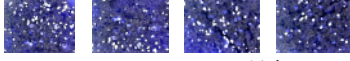

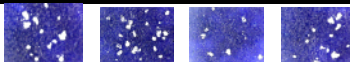

2.在劑量比為 **3:1** 的實驗組（實驗 A、B、C）中，處理後的上層液塑膠微粒數量顯著減少（初始 155 個減少至約 12-14 個），展現了穩定的去除效果。因此，**3:1** 為本實驗的**最佳劑量比**。

●**省思與討論:發現問題與自我尋找答案**

**Q: 劑量比從 3:1 進一步提升至 4:1 時，反而微幅下降?**

推測原因可能產生飽和現象，當水中的塑膠微粒幾乎被捕捉殆盡時，增加再多的劑量也無法顯著提升去除效率。

## 5.礦泉水實測:幾丁聚醣對塑膠微粒去除效果

	幾丁聚醣混凝前總重(濾紙+幾丁聚醣)	幾丁聚醣混凝後下層過濾烘乾總重(濾紙+幾丁聚醣+塑膠微粒)	去除塑膠微粒重量	下層沉澱物顯微鏡下圖片	下層沉澱物圖片
礦泉水 A 牌	$0.53+0.05=0.58\text{g}$	0.61g	$0.61-0.58=0.03\text{g}$ (30mg)	 $61+42+45+35=183(\text{顆})$	
礦泉水 B 牌	$0.53+0.05=0.58\text{g}$	0.59g	$0.59-0.58=0.01\text{g}$ (10mg)	 $23+26+8+15=72(\text{顆})\text{S}$	

過程①幾丁聚醣混凝讓塑膠顆粒沉澱②吸走上層③取下層過濾④烘乾⑤秤重⑥計算混凝去除塑膠微粒重量⑦顯微鏡下計算塑膠微粒去除顆數

### ●結果

- 1.從顯微鏡圖片可見，白色微粒被網羅成簇，說明幾丁聚醣發揮了良好的架橋聚集作用，將分散的微粒聚集，使其因重量增加而沉澱。
- 2.廢棄蝦殼製成幾丁聚醣去除水中塑膠微粒是可行的方法，分別去除 A，B 品牌礦泉水中的塑膠微粒 0.03g 及 0.01g。
- 3.品牌間的微粒含量差異，可能是①包裝材質：瓶身 PET 材質的穩定度。②過濾工序：出廠前的終端過濾精度。③瓶蓋摩擦：物理磨損可能也是微粒來源，影響塑膠微粒含量。

## 伍、結論

### 一、「加熱煮沸法」，達成簡單去除塑膠微粒

- 1.水質硬度效應:硬水環境(180mg/L)平均去除率高達 51.24%。但對於軟水、中硬度水、礦泉水、瓶裝水，但效果有限。
- 2.加熱時間效應: 加熱時間 30、60 分鐘時，塑膠微粒去除率，無明顯差異。
- 3.pH 效應: pH 8.5 (弱鹼性) 環境下去除率較高，平均去除率達到 51.3%。

### 二、蝦殼廢棄物再利用，製成環保的「綠色淨水劑」幾丁聚醣，達成環保再利用目標

#### 1.幾丁聚醣取方式對去除水中塑膠微粒效率

微波加熱提取幾丁聚醣優於傳統加熱提取方式：對塑膠微粒去除率最高，達到 78.9%。此方式提取的幾丁聚醣物理特性為：微黃色、顆粒較細、表面積較大、水溶性較高。

#### 2.塑膠微粒種類與粒徑大小對於塑膠微粒去除率影響

幾丁聚醣對三種塑膠微粒的去除效率排序: 聚醯胺 (PA) > 聚對苯二甲酸乙二酯 (PET) > 聚丙烯 (PP)。去除效率: 小顆粒塑膠微粒 > 大顆粒塑膠微粒：粒徑 75 微米 > 粒徑 150 微米。

3.pH 效應:最佳 pH6.0，去除率達到最高點 82.6%。

4.劑量效應: 幾丁聚醣與塑膠微粒劑量 3:1：平均去除率達到最高峰，為 91.5%。

#### 5.礦泉水實測:幾丁聚醣對塑膠微粒去除效果

廢棄蝦殼製成幾丁聚醣去除水中塑膠微粒是可行的方法，分別去除 A，B 品牌礦泉水中的塑膠微粒 30mg 及 10g。

### 三、未來展望

未來我們希望將幾丁聚醣製作成錠劑、或軟膠囊形式，讓使用上更加便利。期許我們的研究，能對地球永續利用與民眾健康，發揮一定功效。

## 陸、參考文獻

1. 健康網(2025) 失智者腦中塑膠微粒高 3-6 倍。  
<https://health.ltn.com.tw/article/breakingnews/5013134>
2. 塑膠微粒危害(2026) <https://www.youtube.com/watch?v=APTJOkFytPg>  
<https://www.youtube.com/watch?v=1XLeXUro7TY>
3. U.S. FDA (2026) [Microplastics and Nanoplastics in Foods](https://www.fda.gov/food/environmental-contaminants-food/microplastics-and-nanoplastics-foods) 食品中的微塑料和奈米塑料  
<https://www.fda.gov/food/environmental-contaminants-food/microplastics-and-nanoplastics-foods> 。
4. [新竹市環保局研究報告\(2026\)：塑膠微粒與濕地生物關係](#)
5. 環境部化學物質管理署(2021)。減塑在幹嘛？微型塑膠、塑膠微粒是什麼？環境荷爾蒙資訊網站。
6. Qian, N., et al. (2024) "Rapid single-particle chemical imaging of nanoplastics by SRS microscopy. PNAS (美國國家科學院院刊). 利用 SRS 顯微鏡對奈米塑膠進行快速單顆粒化學成像 <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2300582121>
7. Raffaele Marfella(2024) 動脈粥狀硬化斑塊和心血管事件中的微塑料和奈米塑料。新英格蘭醫學雜誌 2024 ; 390 : 900 - 910
8. 陳子琳(2007)以微波催化製備幾丁聚醣並測定其理化性質與抗菌活性，國立嘉義大學食品科學系研究所碩士論文。
9. Susiana Prasetyo (2025) Utilization of chitosan as a natural coagulant for polyethylene microplastic removal , Sustainable Chemistry for the Environment , Volume 9, March 2025, 100225 ( 利用殼聚醣作為天然凝固劑去除聚乙烯微塑料)
10. 陳柏翔(2018)以幾丁質和幾丁聚醣製備碳點並探討其特性和應用於檢測微生物及金屬離子，國立臺灣海洋大學碩士論文。
11. 維基百科(2025) 吸附 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%90%B8%E9%99%84>
12. Maocai Shen(2022) Chemical Engineering Journal Volume 428, 15 January 2022, 131161 Efficient removal of microplastics from wastewater by an electrocoagulation process (利用電絮凝法高效去除廢水中的微塑料)

13. 唐祥恩(2020)(中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 降塑「油」解！清除水中塑膠微粒的方式。
14. 連芮暄(2021) 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 見「微」知「塑」
15. 薛宇竣(2022) 中華民國第 62 屆中小學科學展覽會 淨「塑」撤離 「鐵」定「油」效。
16. 施英隆(2025) 環境化學 五南出版社。
17. 李中光等 (2004) 水質化學 麥格羅出版社。
18. 綠色和平(2025) <https://www.greenpeace.org/taiwan/update/13518/> /什麼是塑膠微粒？我的排遺物中可能都有它！
19. 硬水標準 台灣自來水公司 <https://www.water.gov.tw/dist12/Contents?nodeId=7568>