

# 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 生活與應用科學(二)科

第三名

082906

精鹽變驚鹽-食鹽中的塑膠微粒檢驗及清除機制

學校名稱：新北市新莊區中港國民小學

作者： 小六 馬順恩 小五 張舒涵 小五 張沁軒	指導老師： 羅玉慧 洪偉翔
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：食鹽、塑膠微粒、塑膠微粒清除

## 摘要

塑膠微粒污染全球海洋，鹽為生命之母得之於大海，塑膠微粒是否混入食鹽，被吃下肚呢？

本研究旨在檢驗食鹽中的塑膠微粒，探討其差異原因及清除機制。改裝學校螢光顯微鏡，用尼羅紅將塑膠染色進行觀察。檢驗 22 種食鹽發現，每克食鹽平均含 0.8 個塑膠微粒。依來源以海鹽含塑膠微粒最多，表示海洋污染嚴重，其次是湖鹽，岩鹽最少。國產的食鹽污染相似，但低於國外。依製鹽方式，電析法能過濾雜質，較日曬法乾淨。日曬的海鹽則以瓦盤法較土盤法乾淨；上層鹽之花較下層鹽塑膠微粒高出 7 倍。依生產及包裝，以玻璃包裝且粗顆粒不研磨最乾淨。

本研究以密度分辨塑膠種類，並設計塑膠清除機達 77% 清除率，未來可應用在鹽場。問卷顯示消費者變得重視食鹽污染問題。

## 壹、研究動機

假日和老師去海邊清除海洋廢棄物，海洋中的塑膠微粒污染嚴重，而日常食鹽取之於大海，這些塑料是否會混入食鹽，而成為人類餐桌上的「塑膠調味料」呢？我們學過「能源對環境的影響」、「溶解」單元中取回食鹽結晶的實驗，讓我們想要測試日常食鹽中的塑膠微粒污染情形。於是我們著手改裝學校螢光顯微鏡，將食鹽以尼羅紅染色進行實驗觀察。而分析塑膠種類需要拉曼光譜儀，國小取得困難，我們試著以簡易的塑膠密度差異來辨識塑膠種類。且研究指出污水處理廠無法有效去除塑膠微粒。我們由鹽花實驗中，發現塑膠多浮在上層，促使我們想到以密度分離的方式設計塑膠微粒清除機，未來可應用在鹽場的過濾機制。

## 貳、研究目的

本研究旨在檢驗食鹽中的塑膠微粒，探討其差異原因及清除機制。首先改裝學校顯微鏡作為觀察工具，對市售食鹽進行檢驗，依食鹽的不同來源和生產製作過程，探討食鹽中的塑膠微粒含量。以密度來分辨塑膠種類，並設計塑膠微粒清除機，期待未來能應用在鹽場。最後進行問卷，調查消費者得知研究結果後，是否重視食鹽污染問題。

- 一、改裝螢光顯微鏡作為觀察工具及建立檢驗塑膠微粒的步驟
- 二、依不同來源、區域、製鹽方式、上下層鹽、包裝、粒徑探討食鹽的塑膠微粒含量
- 三、探討以密度分辨塑膠種類
- 四、塑膠微粒清除機的設計及其清除效果的探討
- 五、消費者購鹽因素問卷調查

## 參、研究設備及器材

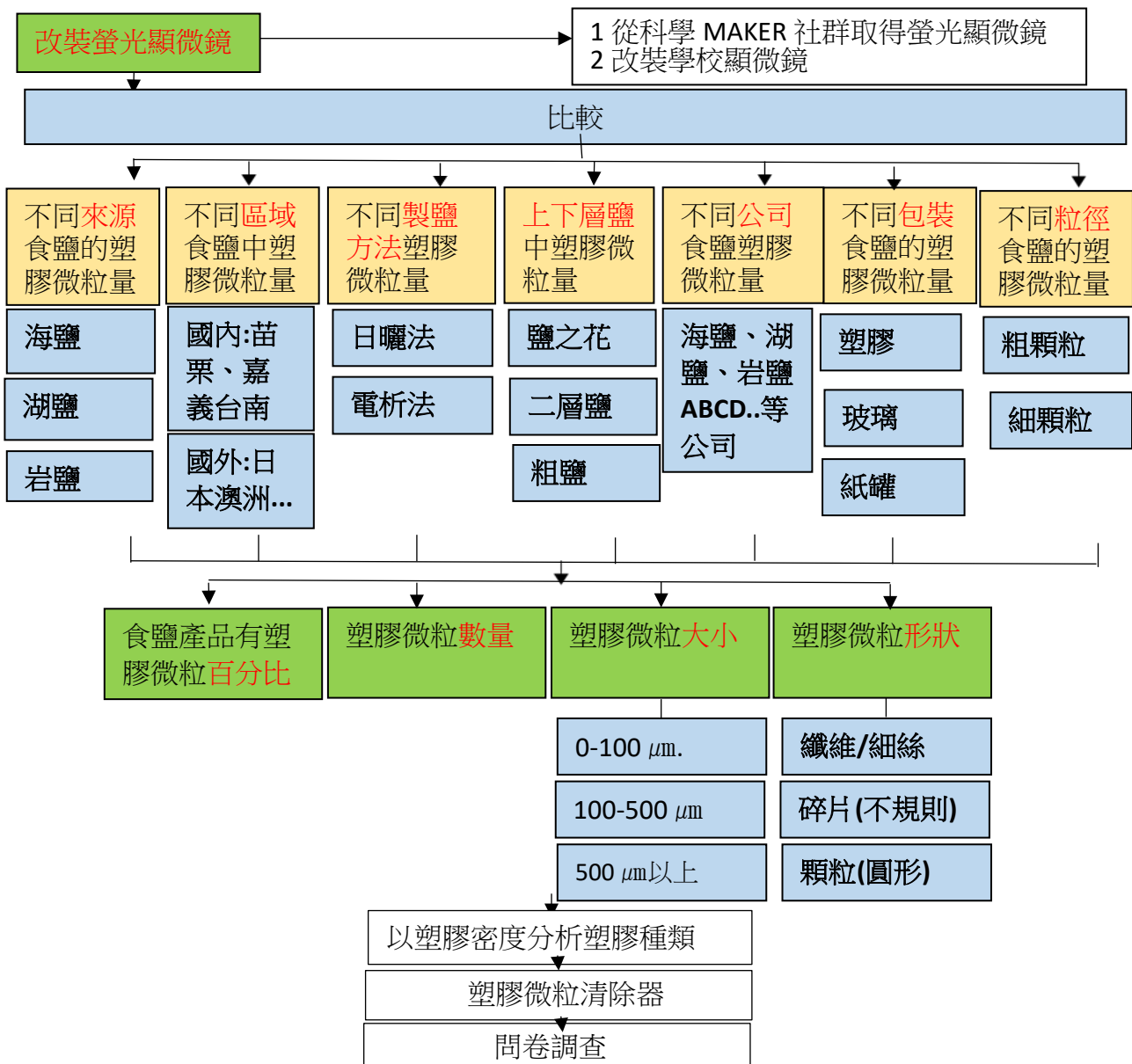
表 1 實驗器材

				
螢光顯微鏡	尼羅紅	負壓過濾器	雷切機	濾紙(5 $\mu$ m)

## 肆、研究方法與文獻探討

### 一、研究架構

#### 研究架構圖



## 二、文獻探討

近年來，常在媒體上看到海洋塑膠微粒的汙染報導，而食鹽取之於大海，這些塑膠碎片小於0.5公分的塑膠微粒混入食鹽中，吃下這些塑膠微粒會造成什麼危害呢？Hyemi Lee et al. (2019) 提到海中塑膠微粒具有親油特性，容易黏附重金屬，食用對人體造成危害。並提到以尼羅紅檢驗塑膠微粒的方法，尼羅紅染劑能和塑膠或生物體中的脂質結合，經綠光照射激發而產生螢光，以濾鏡過濾掉反射的光線後，使用顯微鏡觀察螢光，即可對螢光的塑膠微粒加以計數。

然而，僅有一篇研究針對國內食鹽塑膠數量、大小與形狀報告。國外研究提到生產和製作過程可能有塑膠混入，卻缺乏國內食鹽汙染資料。

表 2 食鹽中塑膠微粒相關文獻分析

作者	研究摘要	缺乏的資料
Hyemi Lee et al. (2019)	抽樣台灣 11 種鹽產品，檢測到 9.77 個塑膠/kg，分析食鹽中的塑膠微粒數量、形狀、大小、種類。	缺乏來源產區、製鹽方式的影響
Qun Zhang et al. (2020)	(1)不同來源塑膠微粒數量：海鹽>湖鹽>岩鹽 (2)生產過程：運送、包裝、研磨，有塑膠微粒混入	國內缺乏生產包裝混入塑膠資料

亦即國內需針對食鹽的來源、區域及生產製作過程，進一步分析其塑膠微粒的汙染情形。

1. 依**食鹽來源**，了解海洋和湖泊的食鹽汙染情形。
2. 依**食鹽產區**，瞭解台灣(嘉義和台南)海鹽的汙染情形，並與國外汙染情形比較。
3. 依**製鹽方式**，瞭解如何減少食鹽中的塑膠微粒。台灣海鹽的製作方式有電透析法和日曬法，日曬法又有不同的結晶池鋪面、採收方式、包裝，需分析這些製程是否能減少塑膠微粒。

上述研究雖能檢驗出食鹽中有塑膠微粒，卻缺乏去除機制。文獻中提到砂石法和磁吸附方式可過濾去除塑膠微粒，但這些方式不適合過濾可食用的食鹽水。本研究在鹽花實驗中，發現塑膠浮在上層，因此想以密度分離的方式來去除塑膠，並利用塑膠密度差異來辨識六大塑膠種類。Ryota Nakajima et al.(2019)以密度分離方式分離塑膠微粒。但是實際測試會漏水無法清除。本研究加以設計改良，設計出自動化清除機，期待未來可應用在鹽場的塑膠自動化清除上。

表 3 塑膠微粒清除機文獻分析

作者	研究摘要	問題
林亞慧(2020)	以砂石過濾海中塑膠微粒	不適合過濾可食用的食鹽水
唐祥恩(2020)	以磁粉和油黏附塑膠再以磁鐵清除	
Ryota Nakajima et al.(2019)	以密度分離設計清除機	實際測試漏水無法清除

### 三、研究方法與過程

改造學校螢光顯微鏡作為觀測工具，建立尼羅紅將食鹽染色步驟。分析市售食鹽不同製程中塑膠微粒情形。設計塑膠微粒清除機，並以問卷了解大眾對食鹽汙染重視情形。

#### 【前導研究】

#### 【改裝螢光顯微鏡作為觀察工具】

第一版由科學 maker 取得，光源微弱激發光效果不佳。修正版將光源打在樣品，鏡頭放置紅色濾片觀察。光源移動使焦距要一直調整，且要在暗房進行。第二版，改裝學校顯微鏡，觀測頭分別接綠光雷射筆，與攝影鏡頭，並放置紅色濾片過濾綠螢光。

表 4 螢光顯微鏡第一版和第二版比較表

	第一版 科學 maker 螢光顯微鏡	第二版 改裝學校顯微鏡
設計	<p>1.原始版，以螢光分光鏡過濾落射螢光。</p> <p>2.修正方式，以 LED 直接打光在樣品上，上方放置紅色濾片觀察。</p>	<p>改裝學校顯微鏡，接上觀測頭，一邊接上綠色雷射筆，另一邊接上照相鏡頭攝影，並放置紅色濾片觀察。</p>
設計圖	<p>第一版螢光顯微鏡設計圖</p>	<p>第二版螢光顯微鏡設計圖</p>



	第一版 科學 maker 螢光顯微鏡		第二版 改裝學校顯微鏡		
螢光顯微鏡照片					
					
	圖 第一版科學 maker 螢光顯微鏡(原始版)		圖 第二版學校顯微鏡(原始版)		
	圖 第一版科學 maker 螢光顯微鏡(修正版)		圖 第二版改裝學校顯微鏡(修正版)		
問題	黃色濾片，只能過濾藍光	外界光源干擾	光源.鏡頭都由上照射	光源微弱	須計算塑膠大小
修正	綠光打在樣品上，上方放紅色濾片觀察	以黑色紙罩住光源	改雙孔觀測	擴束雷射	裝設照相機
	能夠觀察到被激發的塑膠微粒，但是光源一移動就會模糊。	效果不佳，仍需在暗房觀察	觀測頭一邊可接雷射筆，一邊接鏡頭	雷射光束筆，照射光較強且面積大	以鏡頭拍照，程式計算塑膠大小

## 【建立檢驗塑膠微粒的步驟】

首先，檢驗塑膠經尼羅紅染色需要多少時間，研究方法是否能分辨六類塑膠與非塑膠的差異，並檢驗溶解食鹽的水無塑膠汙染。最後建立檢驗食鹽中塑膠微粒的研究步驟。

### 1. 測試塑膠染尼羅紅的時間


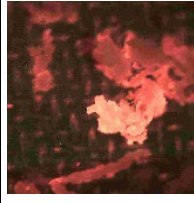


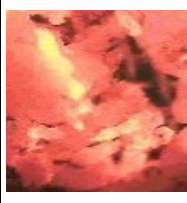

塑膠需要多少時間才能被染色呢? 研究測試不同時間尼羅紅染色的效果。

#### (1) 實驗步驟

A 將尼羅紅染料和甲醇，以 1:1000 比例混合。將塑膠微粒添加 0.2mL 的尼羅紅染料

B) 經過 10、20、30、40、50、60min，濾片過濾塑膠，用水清洗，再以顯微鏡觀察。

表 5 不同時間尼羅紅將塑膠染色情形


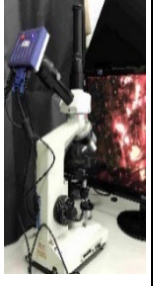
					
10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50分鐘	60 分鐘

(2) 討論：經30分鐘塑膠已全數發出螢光。因此後續實驗染色時間為30分鐘。

### 2. 檢驗螢光顯微鏡下塑膠和非塑膠差異



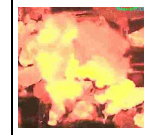

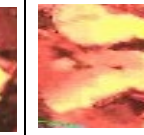
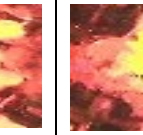
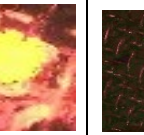
(1) 實驗步驟：為了確定過濾水是乾淨的，我們進行過濾水的空白實驗。再將1-6號塑膠染色後放置螢光顯微鏡下觀察，並與對照組砂石作比較

表6 六大類塑膠染尼羅紅步驟

空白實驗	將 6 類塑膠磨成微粒			
水經 5 μm 濾紙過濾，再以尼羅紅檢驗	將 6 大類塑膠，以磨砂機磨成塑膠微粒，再以 0.1mm 濾網過濾	添加 1ppm 尼羅紅	靜置30分，以負壓過濾器通過濾片(45 μm)過濾	以螢光顯微鏡進行檢測

(2)討論：過濾水 0 個塑膠，均無照到發螢光物質，溶解食鹽的水是乾淨。六種塑膠染色後發螢光，而砂石不發光，此方法可區分天然物質和塑膠。

表 7 六大類塑膠和砂石染尼羅紅發光情形

1 號 PET	2 號 HDPE	3 號 PVC	4 號 LDPE	5 號 PP	6 號 PS	砂石
						

### 3.建立檢驗食鹽中的塑膠微粒步驟

研究方法是將市售食鹽，分別秤重樣品100g溶於400mL過濾水中(孔徑5 $\mu$ m濾紙)。將尼羅紅染料和甲醇，以1:1000比例混合。將樣品添加0.2mL的尼羅紅染料，靜置30分鐘後，通過不鏽鋼材質(孔徑45 $\mu$ m)濾片過濾，並以過濾水800mL清洗數次。再以螢光顯微鏡進行檢驗。每次重複上述步驟實驗3次。

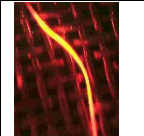


表 9 將食鹽中塑膠染色實驗步驟

					
5 $\mu$ m 濾紙過濾水	100g 食鹽溶於 400mL 過濾水中	尼羅紅:甲醇=1:1000 比例混合	將樣品添加 0.2mL 的尼羅紅	以負壓過濾器通過不鏽鋼濾片過濾	以螢光顯微鏡進行檢測

### 4.食鹽中的塑膠微粒形狀

分析食鹽中的塑膠形狀，依據 Hyemi Lee et al. (2019)研究分成 3 種細絲、顆粒、碎片

表 10 塑膠 3 種形狀類型

		
細絲纖維	顆粒	碎片(不規則形狀的顆粒)



## (一)依不同食鹽來源、區域、製鹽方式、上下層鹽、公司、包裝、食鹽粒徑

### 檢驗塑膠微粒含量：

我們在 7 家超市，購買了常見的 22 種食鹽。記錄每包食鹽上的品名、生產地、克數、公司。這 22 種食鹽是由 15 間公司所生產的。同公司基於不同包裝或採收方式，會有不同產品，如：鹽花、霜鹽、粗鹽。

### 1.不同區域食鹽的分布

食鹽的不同來源，分為海鹽、岩鹽、湖鹽。日曬海鹽產區，國內有嘉義、台南，國外有澳洲、比利時..等。海鹽製鹽方式，可分成日曬法和電析法(苗栗)。日曬海鹽採收上下層鹽結晶，而有不同產品。

岩鹽有粗細粒徑食鹽。包裝又可分為塑膠袋、紙罐、玻璃罐。並比較不同公司(同產區和來源)，食鹽中的塑膠微粒差異。分析食鹽的樣品件數如下：

表 11 食鹽不同變項產品數量分布

種類	產地		公司	包裝	
湖鹽	澳洲(2)、智利(1)		澳洲(G.H)	塑膠袋	
岩鹽	喜馬拉雅(1)、西藏(2)、泰國(1) *玻利維亞(2)-粗細顆粒		西藏(C.D)	紙罐 玻璃罐	
海鹽	製鹽方式		台灣- 嘉義(N.O) 澳洲(A.B)		
	日曬海鹽				電析法
	國內-嘉義(3)、台南(1) 國外-澳(2)、比利時(1)、法(3)、日(1) *上下層鹽-嘉義、法國	國內 -苗栗(2)			

註：括弧內數字為件數、英文字母為不同公司代號

### 2.不同食鹽來源的定義(海鹽、湖鹽、岩鹽)

由開採的來源，可以將食鹽分成海鹽、湖鹽、岩鹽。

(1)岩鹽：鹹水湖經由長時間蒸發後會堆積成鹽礦，再把鹽礦磨碎即是岩鹽。

(2)湖鹽：因氣候變化、地殼變動，使原有的開放水域被陸地封閉，而成為內陸鹽湖；

湖鹽便是以內陸鹽湖中的湖水為原料，在鹽田中曝曬而製成的鹽巴。

(3)海鹽：依據製鹽方式，分為電析法和日曬法。日曬法指將海水蒸發，電析法指經離子交換膜電透析取得食鹽。本實驗中的海鹽是指日曬海鹽，不包括苗栗電析法。電析

法經過濾，無法了解海洋污染情形。因此只比較日曬海鹽。

### 3.海鹽不同製鹽方法(日曬鹽田、電析)

海鹽的製鹽方式分為日曬法和電透析。比較何種製鹽方式的食鹽較為乾淨。

- (1) 日曬鹽田是將海水引進鹽田後，透過蒸發池和結晶池取得食鹽。日曬法依據結晶池的鋪面，又分為瓦盤鹽田和土盤鹽田。
- (2) 離子交換膜電透析法，其原理是利用帶電性質的物理現象和細孔的篩選分離來作動作，就是將海水通過電流，根據離子交換膜將海水中作為鹽的成分的鈉離子和氯離子，有效率的作篩選分離後，再集合的方法。

### 4. 日曬海鹽中上下層鹽的定義

日曬海鹽最後採收的時候，可依分布位置和採收順序分為3種鹽。

- (1) 上層 (鹽之花)：經過太陽曝曬，會使結晶池鹽鹵表面，會凝聚一層薄薄的結晶，所採收的這層鹽結晶就是鹽之花。
- (2)中層(二層鹽)：當結晶池形成鹽結晶後，以刮取的方式取得中間層鹽巴。由於不碰觸底層瓦盤的鹽巴，雜質會較底層粗鹽少。也有的廠商是將粗鹽研磨後再過濾，以去除雜質。
- (3)下層(粗鹽)：也就是底層的鹽巴結晶。

### 5. 食鹽中不同包裝的取樣方式

市售食鹽包裝有玻璃、塑膠、紙罐(內膜是塑膠)。探討在包裝製造過程，是否會使塑膠微粒混入？選同公司食鹽進行比較(1)台灣苗栗海鹽，有塑膠袋和紙罐包裝。(2)西藏岩鹽，以塑膠袋和紙罐包裝。(3)法國海鹽，有玻璃罐和紙罐包裝。

### 6.不同公司食鹽的取樣方式

研究想要了解不同公司在製作食鹽的過程中，包括生產過程、包裝、製作方式是否會影響塑膠微粒的差異。在相同產區和來源下，比較不同公司中的塑膠微粒情形。

### 7.岩鹽不同粒徑的取樣方式

岩鹽開採時顆粒較大，有些食鹽公司會研磨成較細的顆粒方便烹煮。研究想要了解，在研磨過程中，生產線是否會有塑膠微粒的混入？選取同產區同公司，不同粒徑岩鹽進行比較(大-0.2mm，小粒徑為粉末狀)。

## (二) 探討以密度分辨塑膠種類

### 1. 實驗目的

拉曼光譜儀可以分析食鹽中的塑膠種類，然而國小難以取得拉曼光譜儀。因此，我們以一種簡易的方式分析塑膠種類，利用六大塑膠密度的差異來推論塑膠種類。

### 2. 實驗步驟

將六大類塑膠放入酒精中，分別加入不同比例的水，調出不同液體密度。觀察食鹽中的塑膠在哪一種液體密度浮起來，就可以利用密度得知塑膠種類。

下表示六大類塑膠的密度，塑膠密度小到大依序為，6、5、4、2、1、3號塑膠。

六號塑膠聚苯乙烯，發泡保麗龍密度最低，約為 $0.8 \text{ g/cm}^3$ 。其次是五號聚丙烯密度 $0.895\text{-}0.92 \text{ g/cm}^3$ 。最重是一和三號塑膠，密度大於 $1 \text{ g/cm}^3$ ，在水中也會沉下去，其餘四種塑膠在水中皆會浮起來。

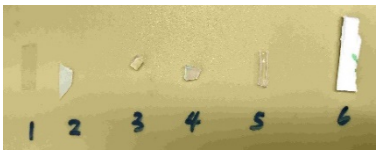

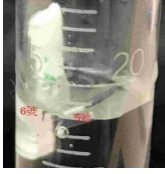

表12 六大類塑膠的密度

六大類	1 號	2 號	3 號	4 號	5 號	6 號
學名	聚乙烯對苯二甲酸酯	高密度聚乙烯	聚氯乙烯	低密度聚乙烯	聚丙烯	聚苯乙烯 (保麗龍)
密度 $\text{g/cm}^3$	1.38	0.945-0.976	1.38	0.9-0.93	0.895-0.92	0.81
酒精:水 mL	-	10 : 24	-	10 : 10	10 : 9	10 : 0

步驟如下:

- (1) 取得1-6號塑膠粒，重量為0.02克。
- (2) 將1-6號塑膠粒放入95%酒精。
- (3) 在10mL酒精中，依序加入不同比例的水（9、10、24mL），紀錄哪類塑膠會浮起。
- (4) 將法國鹽之花中的塑膠放入不同比例的酒精中，觀察在哪一種比例會浮起來。

表13 利用密度分析塑膠種類的實驗步驟

			
1-6 號塑膠	不同比例的酒精與水	紀錄浮起塑膠	鹽花塑膠放不同比例水中

### (三) 塑膠微粒清除機的設計及其清除效果的探討

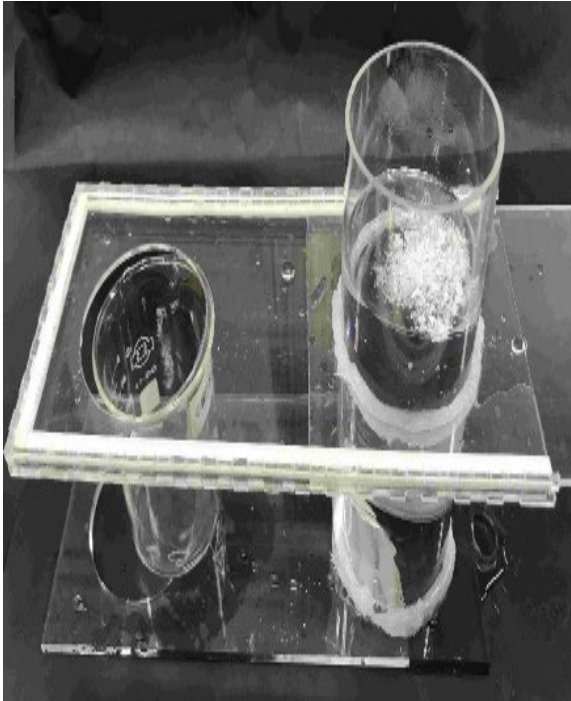
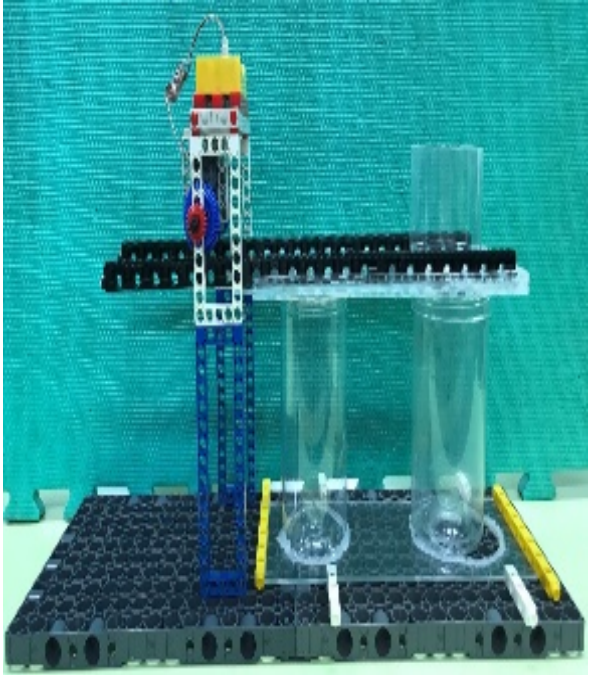
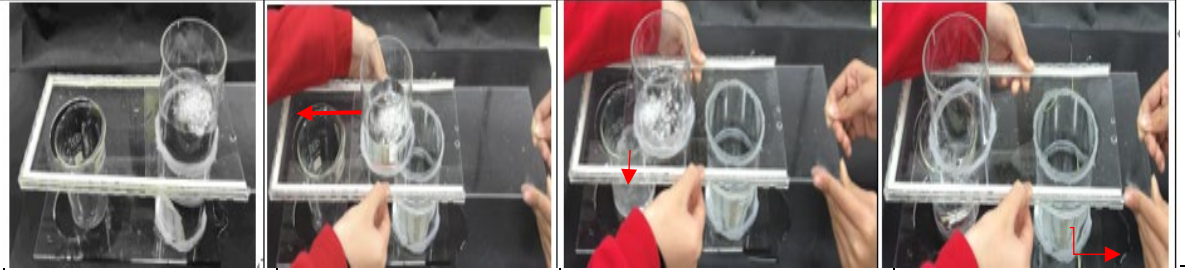
#### 1. 塑膠微粒清除機的設計

鹽花實驗中，我們發現塑膠浮在上層，因此想以密度分離的方式，來設計塑膠微粒清除機。塑膠水注入玻璃管中，靜置後塑膠浮起。移動上層玻璃管刮除塑膠微粒，至左側廢水槽。第一版會有漏水問題，設計滑軌增加密合度。第二版，以馬達帶動，達到自動化清除塑膠的效果。

表 14 清除機第一版和第二版比較表

	第一版 手動清除機	第二版 電動清除機
設計	上層有中空玻璃管連接板子，下層玻璃杯和板子連接。移動上層玻璃管到左側廢水槽，乾淨水由下層玻璃杯流走。	上層玻璃板連接齒輪，以馬達帶動，透過滑軌移動，達到自動化清除塑膠的效果。
手繪設計圖	<p>第一版 手動清除機設計圖</p>	<p>第二版 自動清除機設計圖</p>
設計圖	<p>圖 第一版儀器設計圖</p>	<p>圖 第二版儀器設計圖</p>



	第一版 手動清除機		第二版 電動清除機	
實體圖片				
	圖 第一版儀器實體圖		圖 第二版儀器實體圖	
塑膠移除步驟				
	步驟 1 靜置.塑膠浮上層	步驟 2 移動上層玻璃	步驟 3 上層水流廢水槽(左下)	步驟 4 乾淨水從右下流走
	問題	板子間不夠密合	塑膠杯殘留塑膠	需手動
	修正	設計滑軌讓板子固定在軌道內	玻璃杯不殘留塑膠	上板連接齒輪，以馬達帶動鍊條，移動上板，達到自動化清除效果

## 2.清除機的清除效果：

### (1)實驗目的

為測試清除機的清除效果，研究將法國鹽之花及海水(三芝、宜蘭)，經清除機過濾後計算清除率。模擬鹽場引進海水的製鹽步驟，測試清除海水中塑膠微粒效果。

### (2)實驗步驟

表 15 清除機過濾鹽花中的塑膠步驟

清除鹽花或海水					
清除鹽花	清除海水				
					
100g 鹽花溶 500mL 過濾 水中	取 600mL 海水過濾	用清除機刮 除上層塑膠	添加 1ppm 尼羅紅	以負壓過濾 器通過濾片 過濾(45μm)	螢光顯微鏡 檢測

## (四) 消費者購鹽因素問卷調查

### 1.實驗目的

為瞭解研究是否影響消費者對食鹽汙染的重視。以及透過消費者常用食鹽，計算一年中從食鹽中攝取的塑膠微粒數量。

### 2.實驗步驟

問卷內容設計為前後測，前測為原本購鹽考量因素，及目前使用食鹽品牌。呈現各品牌塑膠微粒數量後，再受試者進行後測，重新選擇未來會購買的食鹽品牌及考量。考量因素設計，是依據本研究變項，如：食鹽來源、產地、包裝..等。最後，依據常用食鹽品牌人數，計算使用食鹽的塑膠微粒數量。步驟如下：

(1)選取本校 4、5、6 年級各 7 個班，發放問卷請家長填寫，共回收 447 份有效問卷。

(2)問卷內容

#### A 前測

\*家中購買食鹽品牌？購買食鹽的考量因素，先後排序 (1-主要考量；5-不考慮)。

<input type="checkbox"/> 價錢	<input type="checkbox"/> 汙染問題	<input type="checkbox"/> 來源(海.岩鹽)	<input type="checkbox"/> 產地	<input type="checkbox"/> 廠牌	<input type="checkbox"/> 包裝
-----------------------------	-------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------

#### B 後測

\*呈現 16 種食鹽中的塑膠微粒數量。

\*重新選擇未來會購買的食鹽，以及購買食鹽的考量因素。

## 伍、研究結果與討論

### 一、依不同來源、區域、製鹽方式、上下層鹽、包裝、粒徑探討食鹽的塑膠微粒含量

國內研究僅有食鹽中塑膠數量資料。因此，本研究針對所採樣 22 種食鹽的生產區域和來源，以及製作收產過程探究。分析不同變項，食鹽中的塑膠數量、形狀、大小。

#### (一) 依不同食鹽來源探討食鹽的塑膠微粒含量

1.實驗結果: 食鹽來自於大海、湖泊、礦鹽，比較不同來源的塑膠污染情形。

表 16 不同食鹽來源的塑膠微粒情形

不同食鹽來源	海鹽(台.澳.法.日.比)							湖鹽(澳洲、智利)						岩鹽(西藏、喜、泰、玻)							
	總數	大小			形狀			總數	大小			形狀			總數	大小			形狀		
		1	2	3	顆	片	絲		1	2	3	顆	片	絲		1	2	3	顆	片	絲
塑膠(個)	135	72	60	3	17	111	8	44	16	23	5	9	24	12	25	11	12	2	4	19	3

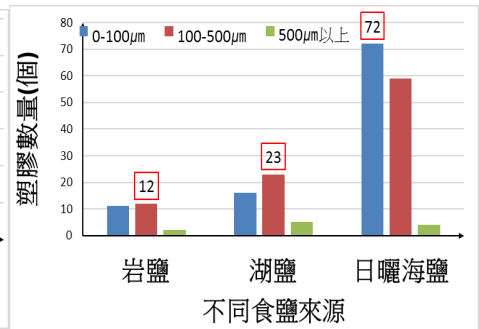
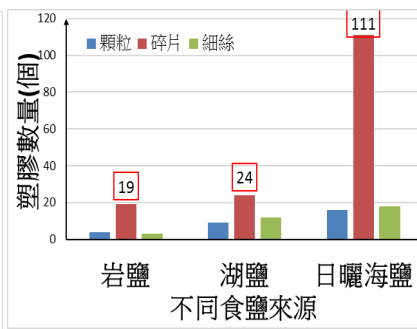
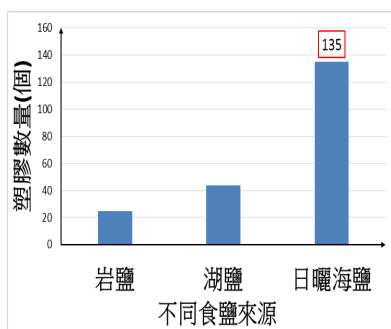


圖 1 不同來源塑膠微粒量

圖 2 不同來源塑膠形狀分布

圖 3 不同來源塑膠大小分布

#### 2.討論

(1)海鹽塑膠數量大於湖鹽，岩鹽最少。海鹽 135 個塑膠最多，其次是湖鹽 44 個，岩鹽最少只有 25 個。海洋的塑膠微粒污染較嚴重。湖鹽是陸地湖的鹽結晶，污染來源來自幾條河川，污染量較低。岩鹽是過去內陸鹹水湖結晶，經沉積變成鹽礦，因此最為乾淨。

(2)海鹽多不規則小塑膠粒，可能受到反覆侵蝕影響。海鹽中塑膠微粒多是小於 100µm 以下不規則碎片，湖鹽和岩鹽則多是 100µm-500µm 的塑膠。可能海洋侵蝕作用嚴重，經反覆侵蝕成較小且不規則的塑膠微粒。湖鹽侵蝕作用較小，形成不規則中粒徑塑膠。

## (二)依不同區域探討食鹽的塑膠微粒含量

1.實驗結果：國內受到天然條件限制僅產海鹽，日曬海鹽可分析國內和國外情形(不含苗栗電析法)。湖鹽和岩鹽，則分析國外不同區域情形。

表 17 不同地區食鹽的塑膠微粒情形

種類	海鹽									湖鹽		岩鹽				全部平均		
	國內(不含苗栗)	國外	台灣			澳洲	比利時	法國	日本	澳洲	智利	喜馬拉雅	西藏	玻利維亞	泰國			
嘉義			台南	苗栗														
數量	83	165	94	51	11	70	29	317	34	51	37	44	14	18	26	48	80	
大小 μm	100	41	89	47	23	3	28	13	180	13	16	2	31	2	8	10	30	40
	100-500	41	71	45	26	5	29	14	129	20	33	24	12	10	8	14	17	36
	500以上	1	5	2	2	3	3	2	8	2	3	12	1	2	2	2	1	3
形狀	顆	10	20	10	14	3	16	8	32	2	14	5	9	5	4	4	2	11
	片	70	122	82	33	4	34	19	273	31	23	15	33	5	11	20	45	62
	絲	3	9	6	4	4	13	3	11	2	15	19	2	3	3	2	2	7

【市售 22 件食鹽中的塑膠微粒含量】

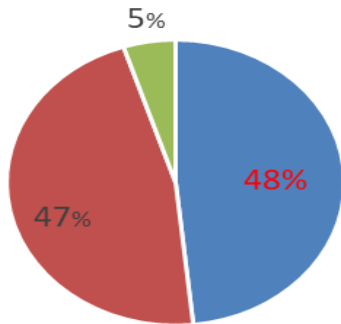


圖 4 市售食鹽塑膠大小分布

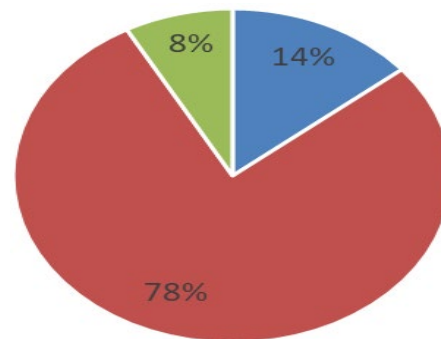


圖 5 市售食鹽塑膠形狀分布

【不同區域海鹽中塑膠微粒含量】

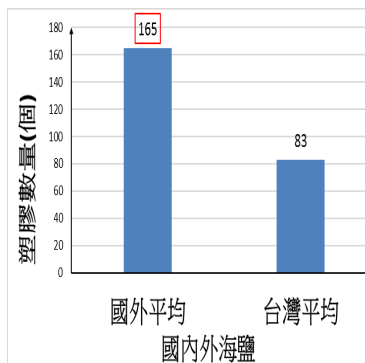


圖 6 國內外海鹽的塑膠量

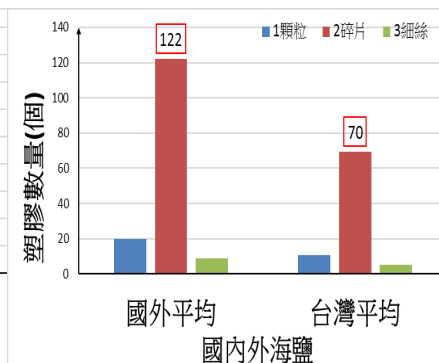


圖 7 國內外海鹽的塑膠形狀

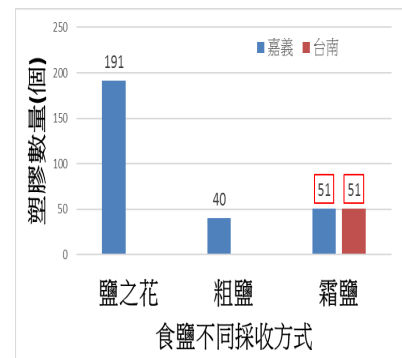


圖 8 國內日曬海鹽塑膠量



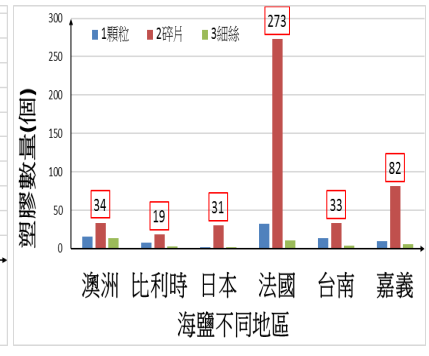
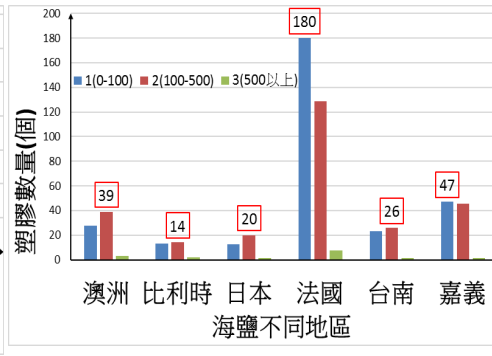
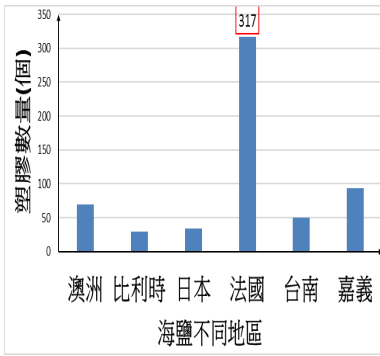


圖 9 海鹽不同地區塑膠量 圖 10 海鹽不同地區塑膠大小分布 圖 11 海鹽不同地區塑膠形狀

### 【不同區域岩鹽中塑膠微粒含量】

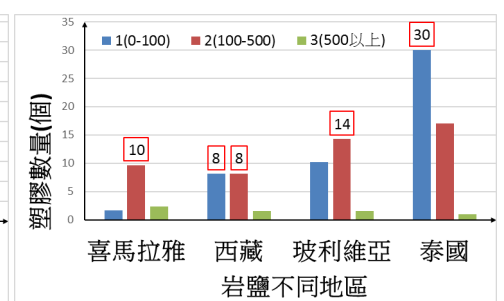
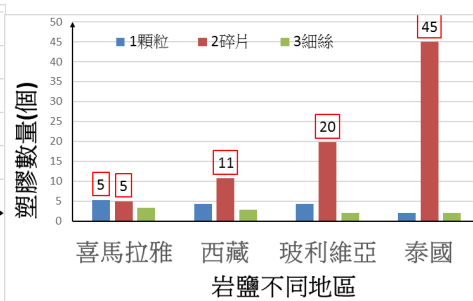
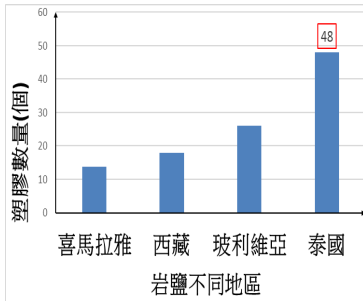


圖 12 岩鹽不同區域塑膠量 圖 13 岩鹽不同區域的塑膠形狀 圖 14 岩鹽不同區域塑膠大小

### 【不同區域湖鹽中塑膠微粒含量】

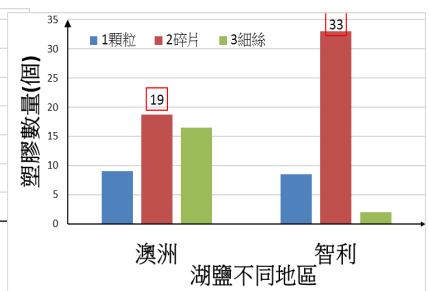
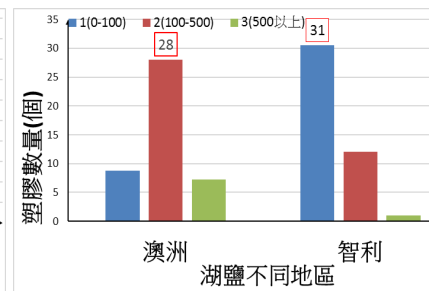
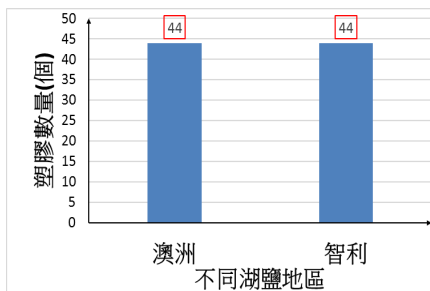


圖 15 湖鹽區域的塑膠數量 圖 16 湖鹽區域的塑膠大小分布 圖 17 湖鹽區域塑膠形狀分布

## 2.討論

### 【市售 22 件食鹽中的塑膠微粒含量】





(1)市售食鹽取樣 22 件產品中，每一件均檢驗出塑膠。塑膠數量每 100 克食鹽中 80 個。塑膠大小以 0-100 $\mu$ m 最多(48%)，形狀以碎片最多 78%、細絲最少(8%)

### 【不同區域海鹽中塑膠微粒含量】

- (2)國產平均低於國外，國內塑膠微粒數量相近。國內(83 個)低於國外(165 個)，形狀多是不規則、中粒徑。國內嘉義與台南數量均 51 個，台灣地區塑膠污染接近。
- (3)海鹽各地區差異大，可能與海洋污染或製鹽方法有關，結晶池鋪面瓦盤較土盤雜質少。法國的塑膠微粒最多，觀察到法國鹽的顏色略帶灰土色，且濾網上有許多沙子。其結晶池沼澤鋪面，含沙量和塑膠較多。而台南和嘉義是瓦盤結晶池鋪面，含沙量和塑膠低。
- (4)海鹽經再製和過濾，塑膠量低。就我們採集樣品中，日本和比利時海鹽的塑膠最少。兩者海鹽有經過再製程序，鍋爐重製、過濾，可以減低塑膠量。

以下是不同鋪面比較，由濾網和塑膠微粒量，觀察到土盤含沙量及塑膠數量多。

表 18 不同結晶池鋪面比較

國家	採鹵方式	結晶池鋪片	圖片	含沙量及塑膠量	
台灣	曬鹵式：在蒸發池曬成鹵水，結晶池蒸發成鹽結晶	瓦盤：破缸片為鋪片			中
法國	曬鹵式：鹽沼在漲潮時，水會入侵沼澤並灌進一些池子，經太陽蒸發成鹽結晶。	土盤：以砂土和黏土以 6:4 形成蓋面土			高

### 【不同區域岩鹽中塑膠微粒含量】

- (5)岩鹽各產區差異不大，可能僅有生產過程污染。西藏與喜馬拉雅塑膠數量接近，兩者地理位置相近所致。形狀多是不規則，多是中粒徑(100-500 $\mu$ m)。

### 【不同區域湖鹽中塑膠微粒含量】

- (6).智利與澳洲湖鹽塑膠數量一樣，推論湖水污染程度或製程接近，如結晶池鋪面、過篩方式。塑膠微粒多不規則，可能是受到湖泊侵蝕形成碎片。

### (三) 依不同製鹽方法探討食鹽的塑膠微粒含量

台灣產鹽主要是苗栗電析法製鹽，嘉義和台南是日曬鹽廠。市面上國外海鹽多是日曬法(法、澳、日、比)。

#### 1. 實驗結果：

表 19 不同製鹽方式鹽場資料

日曬鹽田							電析						
數量	大小			形狀			數量	大小			形狀		
	1	2	3	顆	片	絲		1	2	3	顆	片	絲
135	71	60	3	17	110	8	11	3	5	3	3	4	4

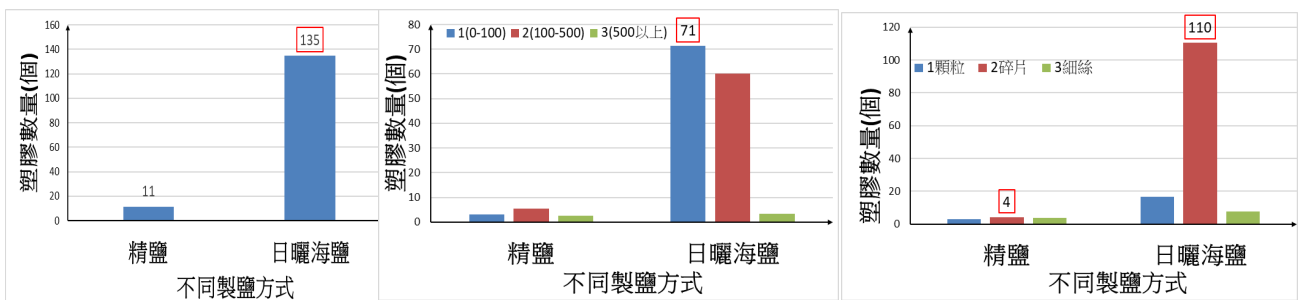


圖 18 不同製鹽法的塑膠量 圖 19 不同製鹽法的塑膠大小 圖 20 不同製鹽法塑膠形狀分布

#### 2. 討論

(1)電析法塑膠數量最少，日曬法塑膠量高。電析法的離子交換膜能有效過濾雜質，日曬法僅以色選機過濾。離子交換膜電透析法製鹽其原理是利用帶電性質的物理現象和細孔的篩選分離，經過奈米級的過濾網，能夠將塑膠微粒和其他雜質攔截。以離子交換膜濃縮海水，濃縮後的濃鹵水，再導入蒸發罐結晶。

(2)日曬法僅有簡易過濾，嘉義鹽廠以色選機，電腦會挑除顆粒較大的雜質。然而與電透析法相較，奈米膜能過濾很小的雜質，因此較乾淨。



圖 21 電析法離子交換膜過濾方式

表 20 日曬法、電析法製作方式的優缺點

方式	定義	優缺點		塑膠
日曬	海水引進鹽田，透過蒸發和結晶池取得食鹽。	優	鹽中能涵蓋海中礦物質	高
		缺	色選機僅能過濾大顆粒	
電透析	海水通過電流，經離子交換膜將鈉和氯離子，篩選分離後再集合方法	優	經過交換膜濃縮海水，也會過濾雜質較乾淨	低
		缺	缺乏礦物質	

#### (四) 依上下層鹽探討食鹽的塑膠微粒含量

研究觀察濾網並分析塑膠數量，發現下層鹽有許多沙子，看似有許多雜質。然而上層鹽經顯微鏡觀察，有驚人發現。看似較乾淨的濾網，塑膠量卻比下層高出 7 倍。

##### 1. 實驗結果

##### 【上下層鹽塑膠微粒含量】

表 21 上下層鹽結晶中的塑膠微粒情形

產地	上層鹽 (鹽之花)						中層鹽						下層鹽 (粗鹽)								
	數量	大小			形狀			數量	大小			形狀			數量	大小			形狀		
		1	2	3	顆	片	絲		1	2	3	顆	片	絲		1	2	3	顆	片	絲
嘉義	191	90	99	2	23	166	12	51	33	16	3	2	46	3	40	19	21	0	5	33	2
法國	740	428	297	15	52	327	362								105	56	45	4	23	35	7

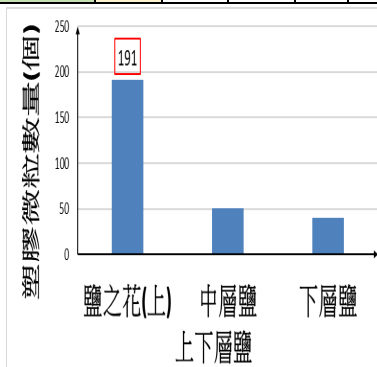


圖 22 嘉義上下層鹽塑膠數量

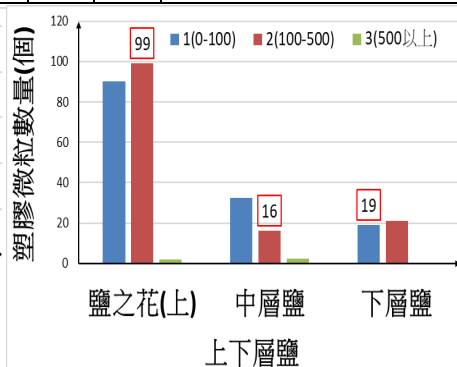


圖 23 嘉義上下層鹽的塑膠大小

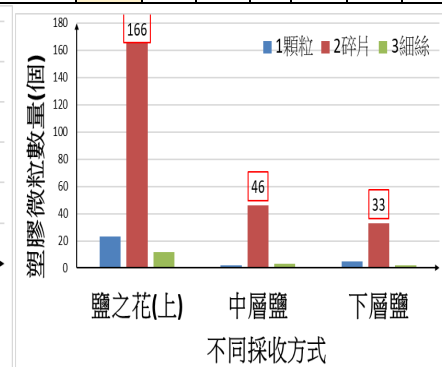


圖 24 嘉義上下層鹽的塑膠形狀

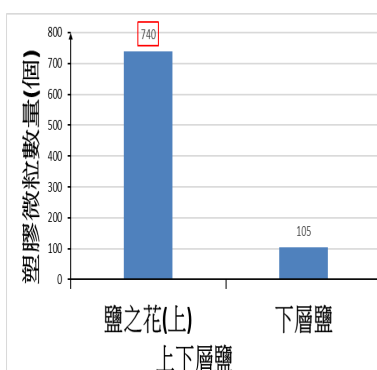


圖 25 法國上下層鹽塑膠數量

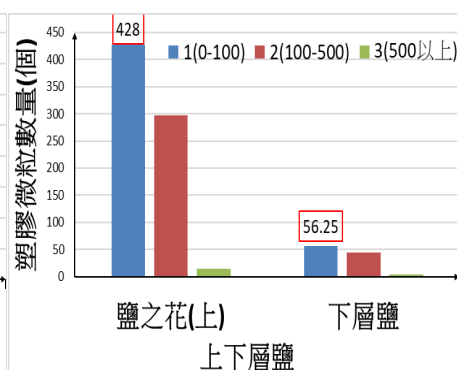


圖 26 法國上下層鹽塑膠大小

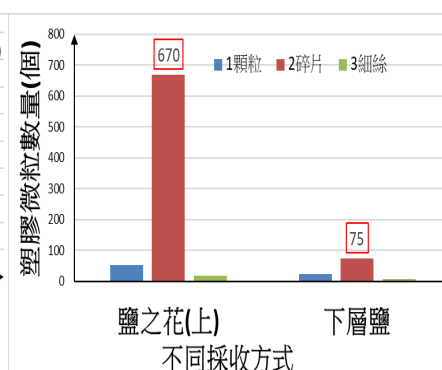





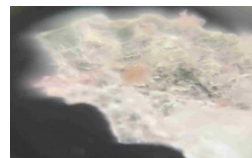
圖 27 法國上下層鹽的塑膠形狀



### 【進一步設計自製鹽花實驗驗證】

為了證明我們的推論，進行上下層鹽結晶實驗。在鹽水中加入塑膠微粒，讓鹽水蒸發結晶。再比較上、下層鹽中的塑膠含量。研究步驟如下：

表 22 鹽花結晶實驗步驟

					
磨砂機 磨塑膠 微粒	將 0.5 克 塑膠染尼 羅紅	濃度 25%鹽 水 200 克	蒸發先後取 上下層鹽	計算塑膠微粒數 量	顯微鏡下觀察鹽 之花

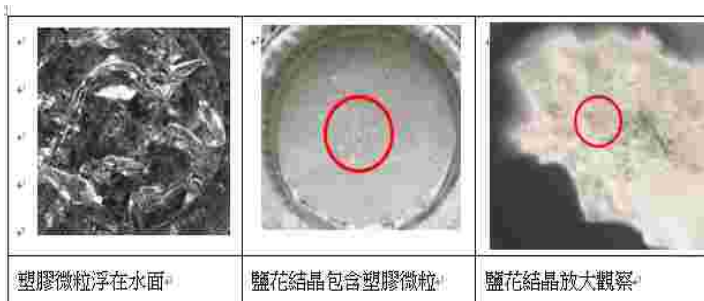
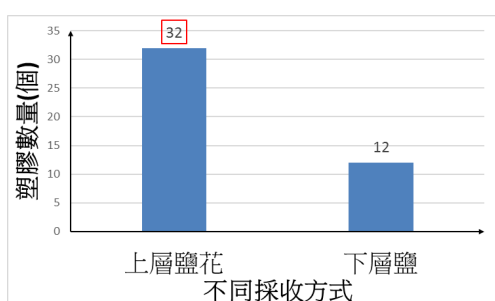


圖 28 上下層鹽結晶中的塑膠數量

圖 29 顯微鏡下鹽花中的塑膠微粒

### 【比較食鹽價錢與塑膠微粒量】

不同製鹽法的成本不同，人工採收鹽花需要較高成本，比較售價與塑膠微粒關係。

表 23 食鹽價格與塑膠微粒量比較

	台灣苗栗 (電析法)	法國鹽花 (日曬上層)	法國海鹽 (日曬法)	澳洲湖鹽	喜馬拉雅岩鹽
價錢(元/g)	0.02	2.08	0.3	0.3	0.25
塑膠微粒(個/g)	0.11	7.4	1.05	0.44	0.25

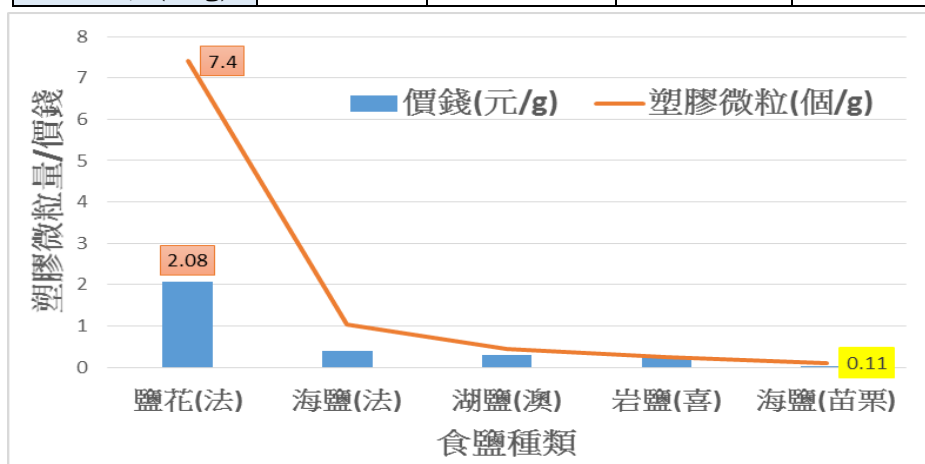
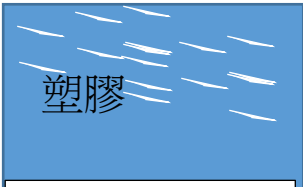


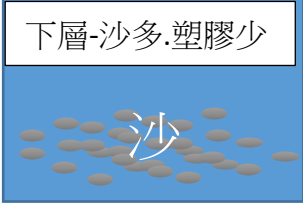



圖 30 食鹽價格與塑膠微粒量比較

## 2.討論

(1)上層(鹽花)塑膠多、沙子少；下層鹽，沙子多、塑膠少。觀察濾網，上層鹽沙子少，卻有一堆白色塑膠微粒。經過顯微鏡確認，上層鹽的塑膠微粒是下層鹽的 7 倍。不論是國內外的鹽花均有這樣的現象。我們推論塑膠密度小容易浮在表面。上層鹽將浮在海面的塑膠微粒結晶。這與林亞慧(2020) 的研究結果一致，研究提到海水上層中的塑膠微粒，是下層的 5 倍。

表 24 上下層鹽的塑膠和沙子含量情形

分層	採收方式	塑膠和沙子多寡	濾網
上層 (鹽花)	上層結晶池表面先形成一層鹽結晶，以勺子撈起，泥沙最少		
中層	結晶池形成鹽結晶後，以刮取的方式取得中間層鹽巴。由於不碰觸底層，雜質較底層少。	上層-塑膠多.沙少	
		中層-塑膠.沙較少	
下層 (粗鹽)	最底層的鹽巴，因為鹽巴接觸底層，會有較多泥沙。		

- (2)進一步的自製鹽花實驗發現，上層鹽塑膠含量為下層鹽 3 倍，觀察到大部分塑膠會浮在鹽水表面，經過 2 天蒸發後開始結晶。上層鹽花結晶數量是下層 3 倍。將上層鹽放在顯微鏡觀察，發現許多塑膠微粒，表示浮在表面的塑膠與鹽花一起結晶。
- (3) 分析製鹽法與價格發現，上層鹽花需人工採收成本最高，卻有最多塑膠微粒。電析法大量生產，售價較低，塑膠微粒卻最少。與一般消費者認為越貴的越乾淨，有很大的落差。

## (五) 依不同包裝探討食鹽的塑膠微粒含量

1.實驗結果：以台灣精鹽、法國海鹽、西藏岩鹽不同包裝做比較。

表 25 不同包裝食鹽中塑膠情形

包裝 鹽類	紙罐						塑膠袋						玻璃罐								
	數量	大小			形狀			數量	大小			形狀			數量	大小			形狀		
		1	2	3	顆	片	絲		1	2	3	顆	片	絲		1	2	3	顆	片	絲
岩鹽	19	10	8	1	4	13	3	17	6	9	2	5	9	3							
海鹽	123	62	56	5	25	90	8								87	51	33	3	20	60	7
精鹽	11	3	6	3	1	7	4	11	6	9	2	5	9	3							

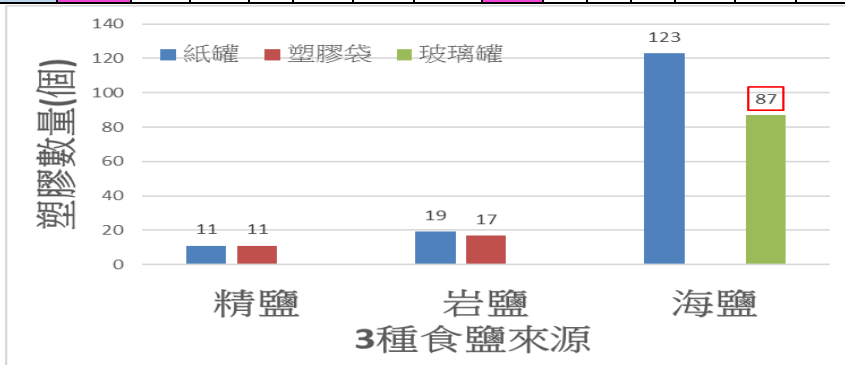


圖 31 3種食鹽不同包裝塑膠數量

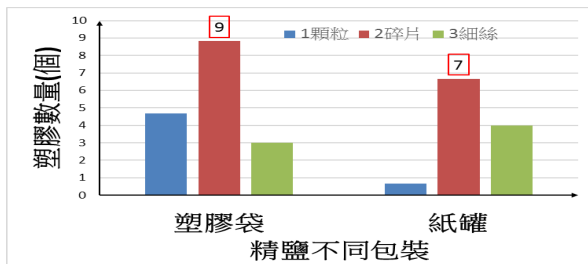


圖 32 精鹽不同包裝的塑膠形狀分布

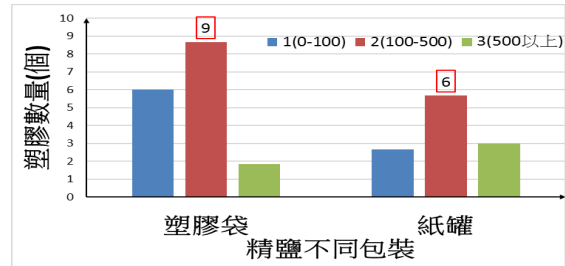


圖 33 精鹽不同包裝的塑膠大小分布

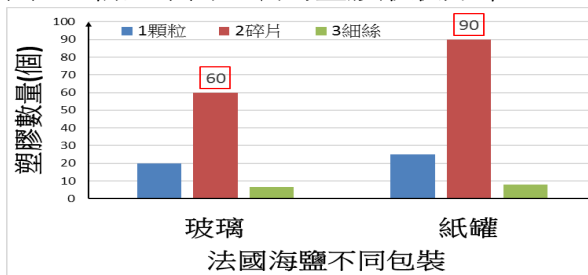


圖 34 海鹽不同包裝的塑膠形狀分布

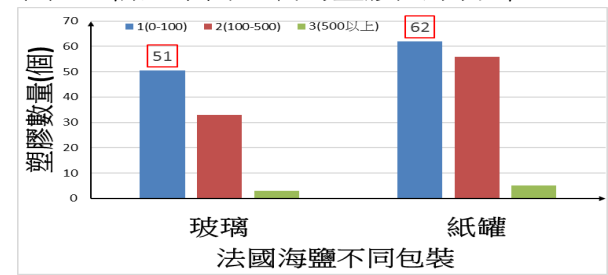


圖 35 海鹽不同包裝的塑膠大小分布

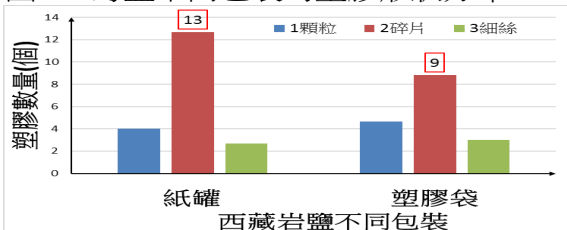


圖 36 岩鹽不同包裝的塑膠形狀分布

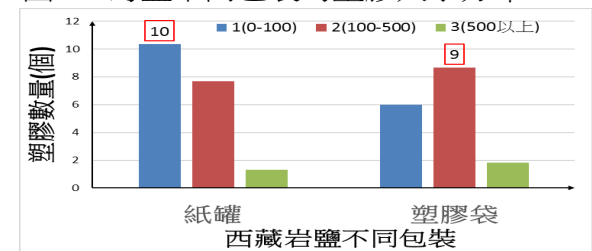


圖 37 岩鹽不同包裝的塑膠大小分布

## 2.討論

(1)玻璃罐塑膠最少，紙罐和塑膠袋數量接近，紙罐內層塑膠膜可能混入塑膠。玻璃罐 (87 個塑膠微粒)低於紙罐(123 個)，玻璃包裝減少塑膠混入。

## (六) 依不同公司探討食鹽的塑膠微粒含量

1. 實驗結果：台灣 N.O 和澳洲 A.B 海鹽公司，西藏岩鹽 C.D 公司，澳洲湖鹽 G.H 公司  
表 26 不同公司食鹽中的塑膠情形

公司	海鹽(台灣 NO 公司/澳 AB 公司)							公司	岩鹽西藏						公司	湖鹽澳洲							
	數量	大小			形狀				數量	大小			形狀			數量	大小			形狀			
		1	2	3	顆	片	絲			1	2	3	顆	片			絲	1	2	3	顆	片	絲
N	51	23	26	2	14	33	4	C	19	10	8	1	4	13	3	G	37	2	24	12	5	15	19
O	51	33	16	3	2	46	3	D	17	6	9	2	5	9	3	H	51	16	33	3	14	23	15
A	95	46	45	3	17	45	20																
B	44	9	33	3	14	22	7																

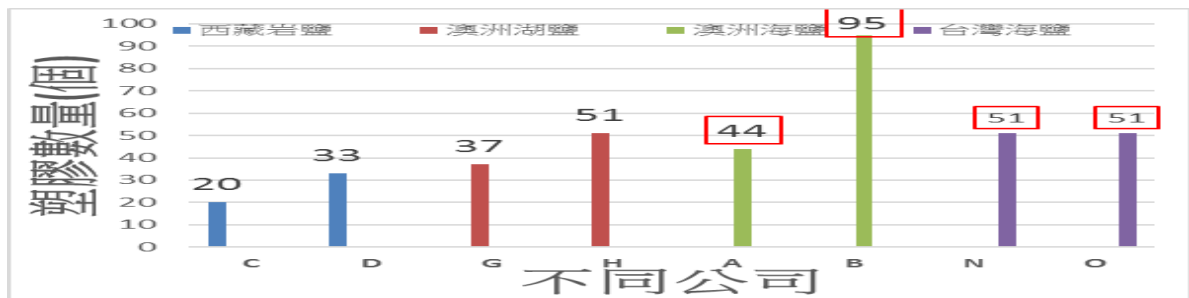


圖 38 不同食鹽公司的塑膠數量

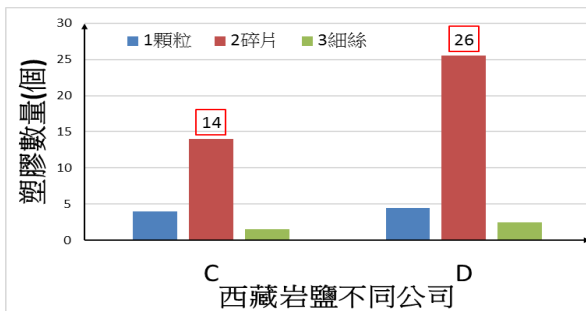


圖 39 不同西藏岩鹽公司的塑膠形狀分布

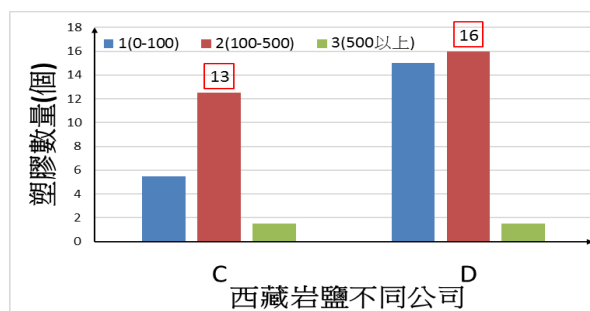


圖 40 不同西藏岩鹽公司的塑膠大小分布

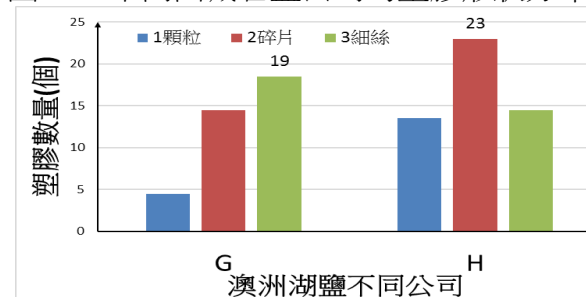


圖 41 不同澳洲湖鹽公司的塑膠形狀分布

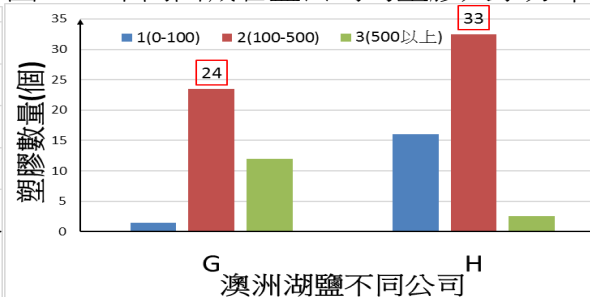


圖 42 不同台灣海鹽公司的塑膠大小分布

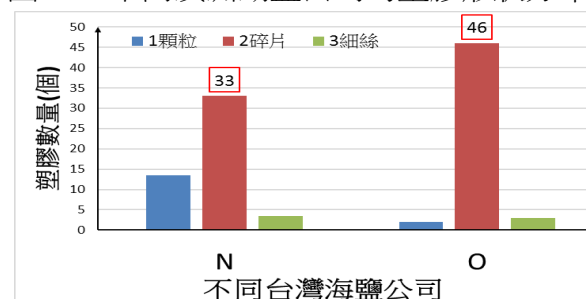


圖 43 不同台灣海鹽公司的塑膠形狀分布

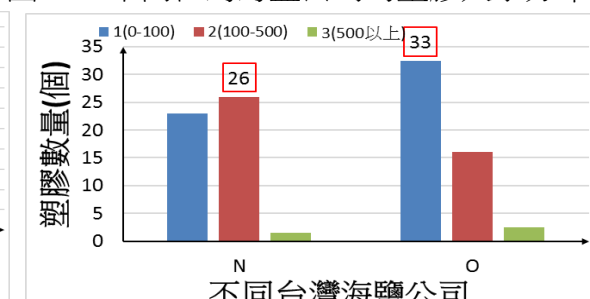


圖 44 不同台灣海鹽公司的塑膠大小分布



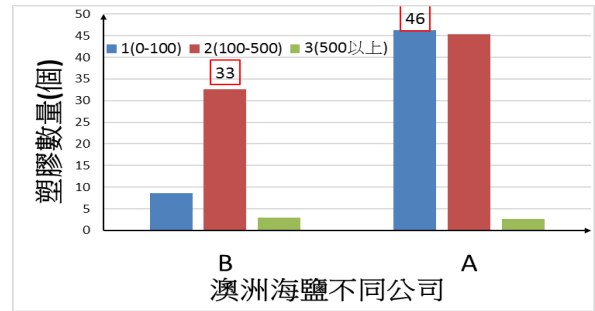
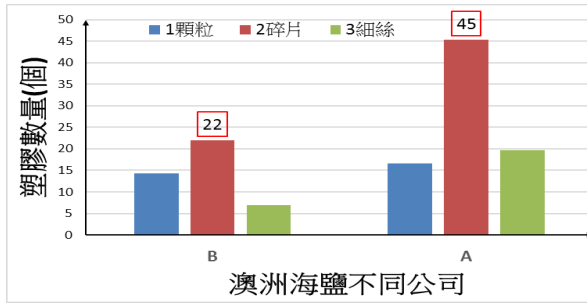


圖 45 不同澳洲海鹽公司的塑膠形狀分布

圖 46 不同澳洲海鹽公司的塑膠大小分布

## 2.討論

(1)不同海鹽公司塑膠微粒數量差異大，不同岩鹽公司差異小。因為產區相同，污染應相近，所以推論與不同公司的生產程序有關。

(2)岩鹽和湖鹽公司差異小，其生產程序相近。岩鹽經採礦、過濾(去除貝殼)、研磨過程。過濾孔徑是唯一有差異的程序。湖鹽經採掘法或日曬，有些鹽經長期蒸發已結晶，可直接開採。有些需經日曬和結晶。程序上僅過濾孔徑和結晶池鋪面不同。

(3)海鹽製程差異大，不同公司的製鹽方式以電析或日曬法、結晶池鋪面、過濾孔徑大小都會影響。

表 27 不同岩鹽、湖鹽、海鹽公司製作程序差異

	製作程序	程序中塑膠微粒混入	塑膠多寡
岩鹽	1 鹽礦開採 2 過濾 3 研磨	過濾技術差異	過濾的孔徑大小
湖鹽	1 採掘.日曬 2 風乾結晶 3 過濾	1. 日曬結晶池鋪面不同 2. 清洗時篩選雜質技術	1 結晶池的鋪面瓦盤雜質比土盤少 2 篩選雜質孔徑越細，塑膠越少
海鹽	1 日曬.電析 2 風乾結晶 3 過濾雜質	1. 製鹽方法日曬或電析 2. 結晶池的鋪面不同 3. 篩選雜質技術 4. 海鹽再製	1.電析法較日曬法雜質少 2.結晶池的鋪面瓦盤雜質比土盤少 3.篩選雜質孔徑越細，塑膠越少 4.海鹽經過再製過濾，雜質少

## (七) 依不同粒徑探討食鹽的塑膠微粒含量

1. 實驗結果：細顆粒塑膠數量較粗顆粒塑膠多。

表 28 不同粒徑食鹽中的塑膠情形

粗顆粒							細顆粒						
數量	大小			形狀			數量	大小			形狀		
	1	2	3	顆	片	絲		1	2	3	顆	片	絲
20	6	13	2	4	14	2	33	15	16	2	5	26	3

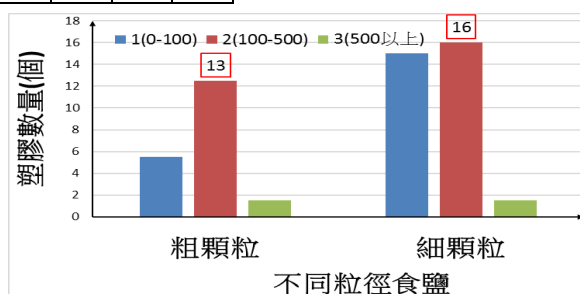
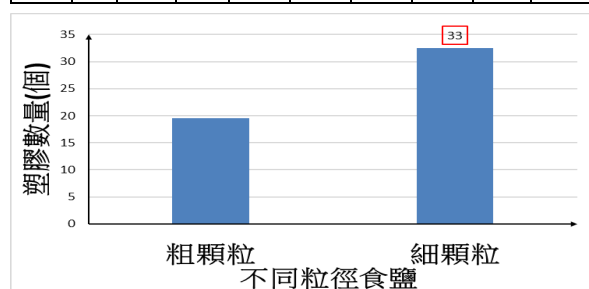


圖 47 玻利維亞岩鹽不同粒徑塑膠數量

圖 48 玻利維亞岩鹽不同粒徑塑膠大小分布

2. 討論:粗顆粒的塑膠數量高於細顆粒，可能在研磨成細顆粒時，有塑膠混入。

## 結論

食鹽不同製作與生產過程，塑膠微粒多寡，研究結果整理如下表：

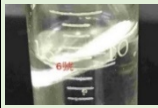
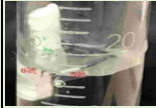
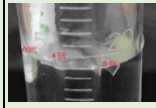
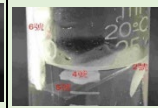
表 29 製作與生產過程影響塑膠數量多寡

	塑膠多 → 塑膠少			原因
來源	海鹽	湖鹽	岩鹽	海洋汙染高
區域	法國	台灣	日本.等	海洋汙染或是製作程序差異
舖面	土盤		瓦盤	雜質較多
製法	電析法		日曬	離子交換膜過濾效果佳
分層	上層鹽		中下層	塑膠輕，浮在上層海水
公司	海鹽差異大		岩鹽相近	海鹽公司製程差異大
包裝	塑膠袋.紙罐		玻璃	玻璃減少塑膠混入
粒徑	小顆粒		大顆粒	研磨過程混入塑膠

## 二、 探討以密度分辨塑膠種類

(一)實驗結果：觀察鹽花中的塑膠在哪一種液體密度浮起來分析種類。

表 30 不同的液體密度中浮起來的塑膠種類

密度	0.8 g/cm <sup>3</sup>	0.88 g/cm <sup>3</sup>	0.92 g/cm <sup>3</sup>	0.94 g/cm <sup>3</sup>
浮起	6 號	5、6 號	4-6 號	2、4-6 號
下沉	1-5 號和 鹽花塑膠	1-4 號和 鹽花塑膠	1-3 號和 鹽花塑膠	1.3 號和 鹽花塑膠
照片				

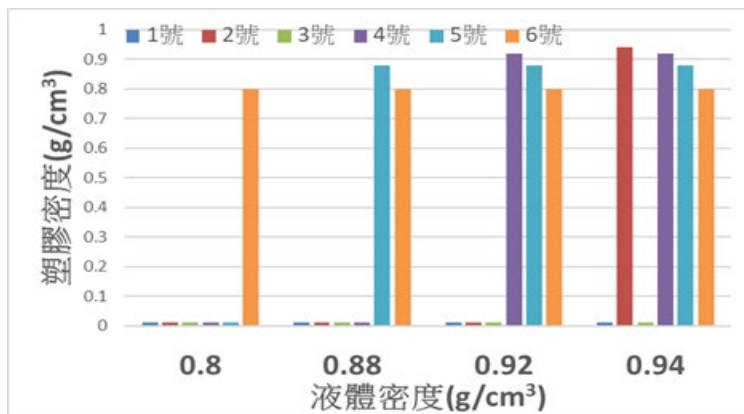


圖49 1-6號塑膠浮起的液體密度

## (二)討論

鹽花中的塑膠在液體濃度0.94g/mL中下沉，表示鹽花中塑膠為1或3號。液體濃度小於0.94g/mL時，2、4-6號塑膠皆會浮起，1、3號塑膠和鹽花中的塑膠下沉。1和3號塑膠經常製成寶特瓶、塑膠管..等用品。法國鹽花中的塑膠可能為這些塑膠產品的微粒。

### 三、塑膠微粒清除機的設計及其清除效果的探討

為了測試清除機的效果，研究過濾鹽花、實際以海水進行測試，兩者清除率77~81%。

#### (一)實驗結果

##### 1.清除機過濾鹽花中塑膠微粒效果

表31 鹽花過濾前後的塑膠微粒情形

過濾前							過濾後						
數量	大小			形狀			數量	大小			形狀		
	1	2	3	顆	片	絲		1	2	3	顆	片	絲
740	428	297	15	52	670	18	134	67	63	4	11	122	1
							濾掉%	48	31	1	4	74	2

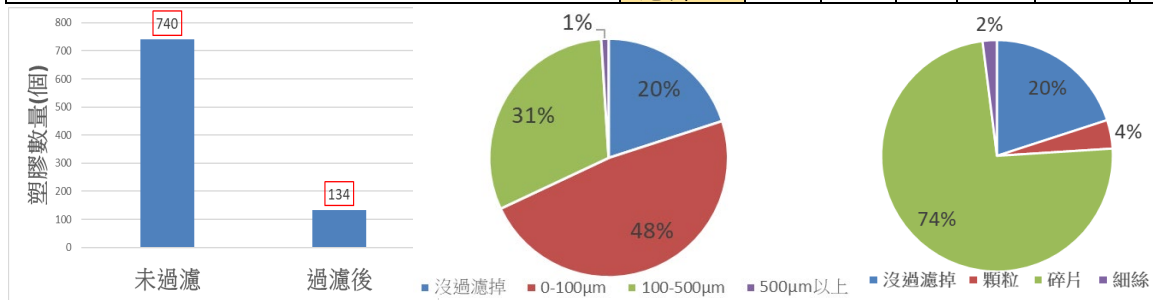


圖 50 過濾前後鹽花的塑膠量 圖 51 濾掉的塑膠大小分布 圖 52 濾掉的塑膠形狀分布

##### 2.清除機過濾海水的塑膠微粒效果

表 32 海水過濾前後的塑膠微粒情形

過濾前							過濾後						
數量	大小			形狀			數量	大小			形狀		
	1	2	3	顆	片	絲		1	2	3	顆	片	絲
30	15	10	5.5	4	21	5.5	7	2.5	3.5	1	1	6	0.5
							濾掉%	41	21	15	12	50	16

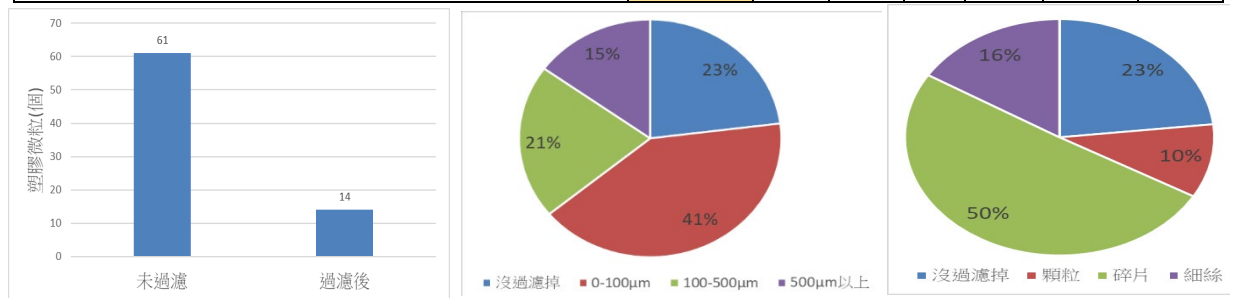


圖 53 過濾前後鹽花的塑膠量 圖 54 濾掉的塑膠大小分布 圖 55 濾掉的塑膠形狀分布

#### (二)討論

1.鹽花過濾前有740個塑膠，過濾後134個，達81%清除率。過濾掉48%粒徑0-100µm

大小的塑膠，74%碎片形狀塑膠。

2.海水過濾前有30個塑膠，過濾後7個，達77%清除率。過濾掉41%粒徑0-100µm

大小的塑膠，50%碎片形狀塑膠。



## 四、消費者購鹽因素問卷調查

問卷分為前後測，測量消費者購買的食鹽品牌以及考量因素的改變。

### (一)實驗結果

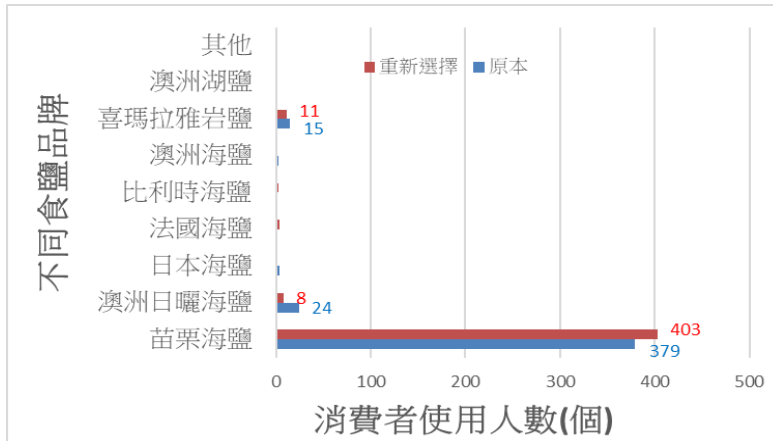


圖 56 消費者購鹽的品牌分布(前後測結果)

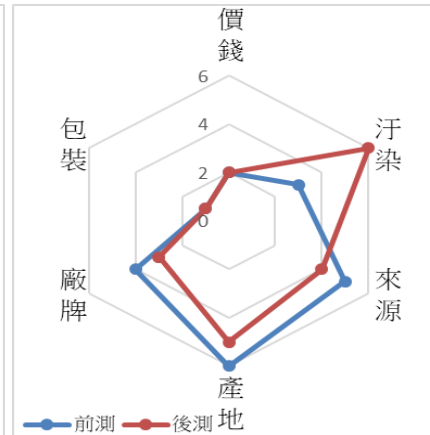


圖 57 影響消費者購鹽的因素

### (二)討論

- 1.台灣苗栗海鹽最多人(379 人)使用，其次是澳洲日曬海鹽、喜馬拉雅岩鹽..等。消費者選用的每克食鹽，平均 0.14 個塑膠微粒。以每人每天 5 克食鹽計算，一年會吃下 252 個塑膠微粒。
- 2.後測問卷中，表示消費者改選擇塑膠微粒數量最少的鹽，台灣苗栗海鹽(塑膠微粒 11 個)，消費者增加 27 人。塑膠微粒較多的日曬海鹽，人數減少 16 人。
- 3.消費者原本沒注意食鹽污染問題，得知研究結果變得重視。前測消費者購買食鹽的考量因素，依序為產地、來源、廠牌、污染..等。後測結果依序為，污染..等。污染問題變成第一個考量因素。表示消費者原本沒有注意到食鹽塑膠微粒污染問題，經過得知實驗結果後，變得非常重視塑膠微粒污染的問題。
- 4.影響購鹽選擇，包裝不是大家所關心的事情。但是在本研究中，發現玻璃瓶較塑膠袋和紙罐乾淨。建議消費者在選購食鹽時，也須考量以玻璃瓶裝的食鹽產品，其塑膠微粒最少。

## 陸、研究結論

由上述研究結果，得到以下 4 項結論：

### 一、食鹽中塑膠微粒含量其差異原因

1. 海鹽塑膠量>湖鹽>岩鹽，海洋污染高
2. 市售食鹽 0.8 個塑膠/克，多是 100 $\mu$ m 以下碎片。國產塑膠污染接近，低於國外。瓦盤法較土盤法乾淨
3. 日曬法塑膠量>電析法，交換膜過濾效果佳
4. 上層鹽塑膠量>下層鹽，因為塑膠輕浮表面
5. 海鹽各公司製程差異大，岩鹽湖鹽差異小
6. 玻璃包裝較乾淨，細顆粒研磨混入較多塑膠

### 二、探討以密度分辨塑膠種類

鹽花中的塑膠在液體濃度 0.94g/cm<sup>3</sup> 中下沉，表示為 1 或 3 號塑膠

### 三、塑膠微粒清除機及清除效果

以密度分離方式，刮除上層塑膠微粒，清除率達 77%。第二版達到自動化清除效果

### 四、消費者購鹽因素問卷調查 消費者變得重視食鹽污染問題

## 一、食鹽中塑膠微粒含量其差異原因

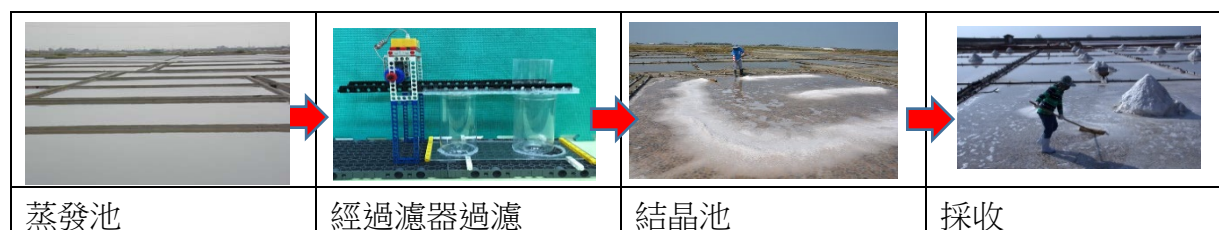
- (一)海鹽的塑膠微粒最多污染高，其次是湖鹽，岩鹽最少污染低。海鹽 100 $\mu$ m 以下塑膠最多，經海洋中反覆侵蝕，變成較小且不規則形狀。岩礦為過去鹽結晶，湖水為內陸河流匯集，污染源較少。
- (二)抽樣 22 種食鹽，每克檢驗出 0.8 個塑膠。國產食鹽塑膠微粒數量接近，且低於國外。就分析的樣品結果，依序為法國、台灣..等。塑膠多寡受到海洋污染和製鹽方式影響。法國沼澤較台灣瓦盤結晶池鋪面有較多沙子和塑膠微粒。
- (三)製鹽方式以電析法最乾淨。海水經離子交換膜濃縮成滷水過程，能去除塑膠微粒。
- (四)鹽廠標榜鹽花雜質較少，分析上下層鹽發現，上層鹽花含沙量低，塑膠微粒卻最多。因為塑膠微粒輕，會浮在海面。
- (五)不同公司製作程序，以海鹽公司差異最大，海鹽製作和生產過程，如結晶池鋪面、電析或日曬..等都會影響。岩鹽製程接近差異小。
- (六)生產和包裝過程，玻璃罐塑膠微粒較低，紙罐內層有塑膠膜，和塑膠袋包裝差異不大。細顆粒岩鹽較多塑膠微粒，研磨過程可能混入塑膠微粒。

二、以密度分辨塑膠種類，以塑膠微粒在不同密度液體中浮起情形，來分辨塑膠種類。

三、以密度分離設計**自動化塑膠微粒清除機**，刮除浮在上層塑膠微粒，實際清除海水達 77%

清除率。未來可以應用在鹽廠製程，在蒸發池之前先進行過濾，在形成鹽結晶。

圖 58 未來應用清除機在製鹽廠流程



四、**消費者溝鹽因素問卷**結果顯示，原本沒注意食鹽汙染問題，得知研究結果變得重視。

## 柒、參考文獻

Hyemi Lee, Alexander Kunz, Won Joon Shim, Bruno A. Walther. (2019). Microplastic contamination of table salts from Taiwan, including a global review. *Scientific Reports volume 9*.

Qun Zhang, Elvis Genbo Xu, Jiana Li, Qiqing Chen, Liping Ma, Eddy Y. Zeng. (2020). A Review of Microplastics in Table Salt, Drinking Water, and Air: Direct Human Exposure. *Environ. Sci. Technol.* 54(7).

Ryota Nakajima, Masashi Tsuchiya, Dhugal J. Lindsay, Tomo Kitahashi, Katsunori Fujikura and Tomohiko Fukushima. (2019). A new small device made of glass for separating microplastics from marine and freshwater sediments. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC).

康軒出版社（2018）。自然與生活科技教學指引（五上）水溶液溶解現象。台北：翰林出版社。

康軒出版社（2018）。自然與生活科技教學指引（六下）生物與環境。台北：康軒出版社。唐詳

唐祥恩、華子銘、趙偲婷、施禹安、馬順恩(2020)。清除水中塑膠微粒的方式。第60屆全國科展作品。

林亞慧、張立琪(2020)。以「亮」取勝—探討如何辨識環境中的塑膠微粒。第60屆全國科展作品。

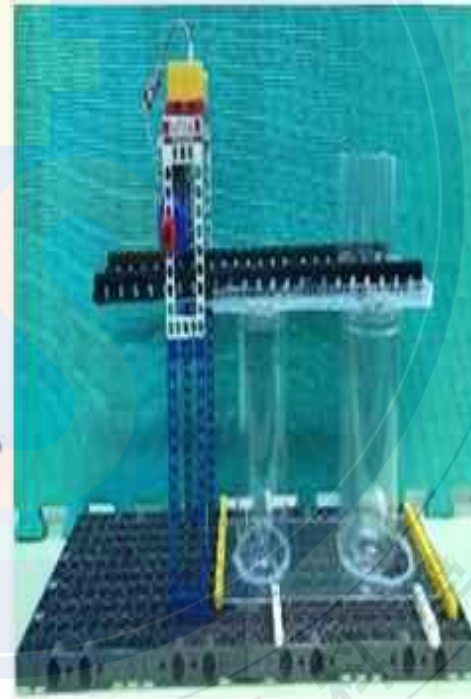
## 【評語】 082906

1. 本研究探討當前非常值得關注的食物中有塑膠微粒的問題，以食用烹調必備的食鹽為材料，針對不同來源、區域、製程、產品特性等進行探討。
2. 能利用改裝的顯微鏡探討各種市售食鹽的塑膠微粒含量及種類，並進一步測試去除方法及效率，值得肯定。
3. 建議研究問題可再精簡並聚焦，避免分析向度太過複雜，並增加樣本數及考慮樣本是否具可靠性。另外，如果要使用問卷來輔助研究，也應多加強問卷題目的設計及分析。
4. 實驗的控制及觀測方式應可再更精確，也可針對實驗中可能的誤差加以討論。



## 作品簡報

題目:精鹽變驚鹽-食鹽中的塑膠微粒檢驗及清除機制  
組別:國小組  
科別:生活應用科(二)



# 前言:研究動機與目的

塑膠微粒污染海洋，取之於大海的食鹽是否也受到污染？  
本研究探討不同食鹽的塑膠微粒污染情形及其清除機制。

改裝螢光顯微鏡

不同食鹽中的塑膠微粒數量比較

不同來源食鹽

不同區域食鹽

不同製食鹽法

上下層食鹽

不同公司食鹽

不同包裝食鹽

不同粒徑食鹽

海鹽  
湖鹽  
岩鹽

國內  
國外

日曬法  
電析法

上層鹽  
中層鹽  
下層鹽

海.湖.  
岩鹽AB.  
公司

玻璃罐  
塑膠袋  
紙罐

粗顆粒  
細顆粒

食鹽產品有塑膠微粒百分比

塑膠微粒數量

塑膠微粒大小

塑膠微粒形狀

<100 $\mu$ m、100-500 $\mu$ m、>500 $\mu$ m

細絲、顆粒、不規則

以塑膠密度分析塑膠種類

塑膠微粒清除器

問卷調查

# 研究方法

## 1. 檢驗食鹽中塑膠微粒的步驟

以1ppm尼羅紅染色食鹽水，在螢光顯微鏡下觀察塑膠微粒的大小、形狀及其個數。

					
5 $\mu\text{m}$ 濾紙 過濾水	100g 食鹽 溶於 400mL 過濾水中	尼羅紅:甲醇 =1:1000 比例 混合	將樣品添加 0.2mL 的尼 羅紅	以負壓過濾器通 過不鏽鋼濾片過 濾	以螢光顯微鏡進 行檢測

## 2. 探討以密度分辨塑膠種類

六大類塑膠放入不同濃度酒精中，觀察塑膠浮起密度，可得知食鹽中的塑膠種類。



# 研究方法

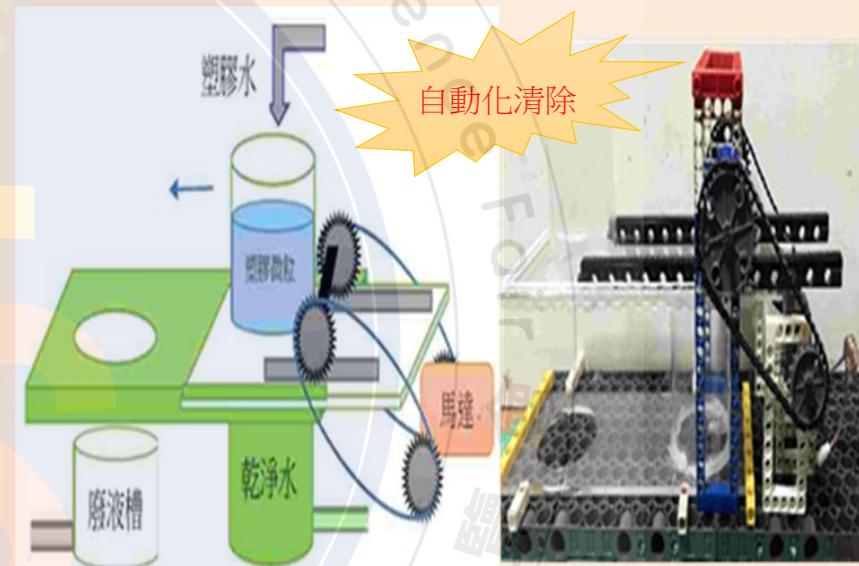
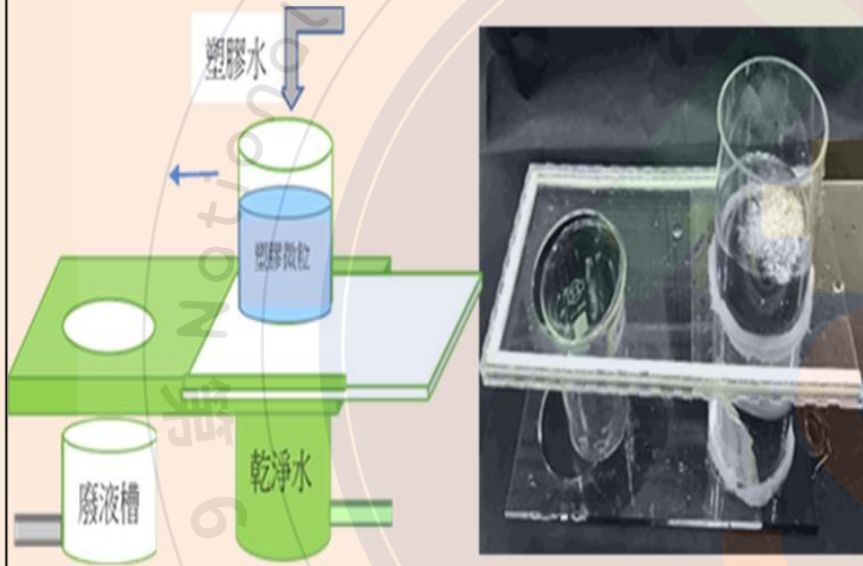
## 3. 塑膠微粒清除機的設計及其清除效果的探討

密度分離移動上層玻璃管刮除塑膠，海水測試清除效果

第一版 手動清除機

第二版 電動清除機

照片



修正 設計滑軌解決漏水問題

設計馬達自動化帶動上板移動

## 4. 消費者購鹽因素問卷調查

依據研究設計前後測問卷，後測呈現食鹽中塑膠微粒數量，了解消費者購鹽因素改變情形。

# 研究結果與討論

一、依不同來源、區域、製鹽方式、上下層鹽、不同公司、包裝、粒徑探討食鹽的塑膠微粒含量

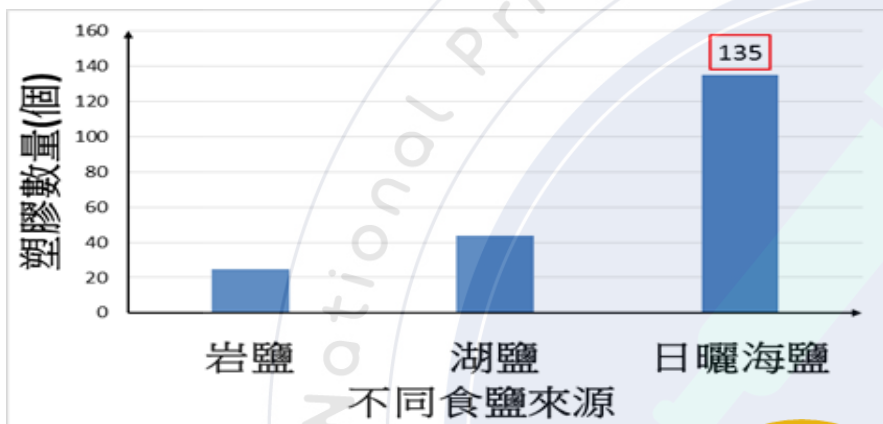


圖1 不同來源食鹽中塑膠微粒量

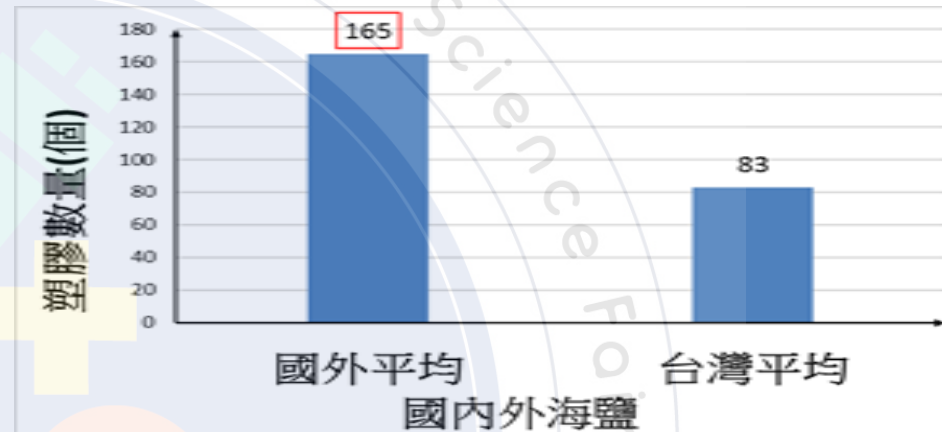


圖3 國內外海鹽塑膠微粒數量

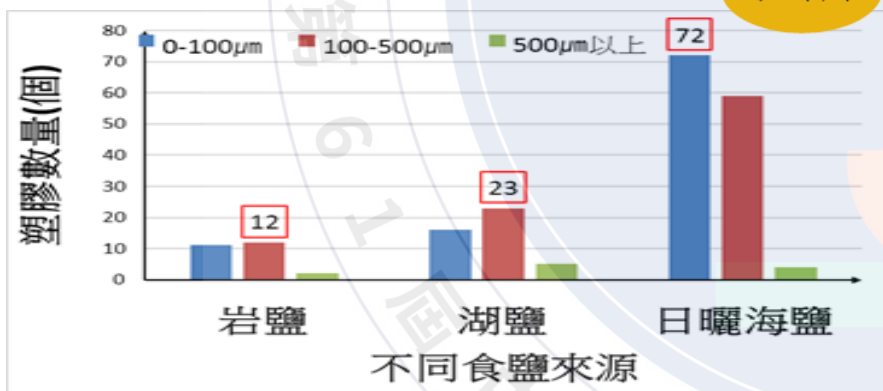


圖2 不同來源塑膠形狀分布

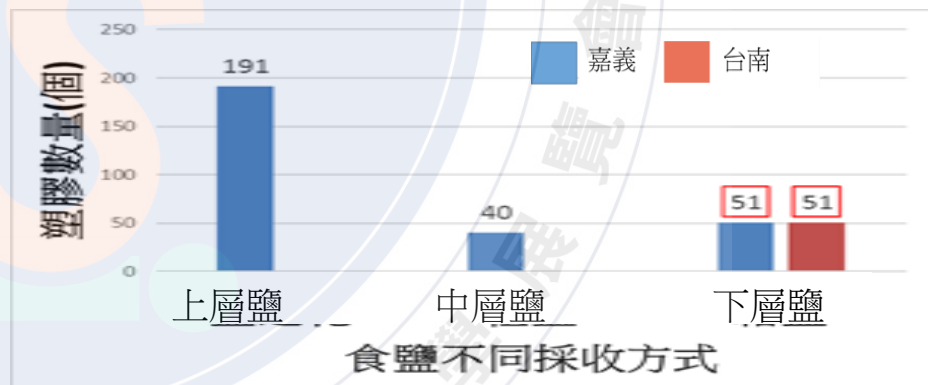


圖4 國內嘉義和台南塑膠數量

1. 來源-海鹽塑膠微粒含量最多，海洋汙染嚴重。

2. 區域-國產嘉義和台南鹽廠食鹽汙染接近，低於國外

# 研究結果與討論 (研究一)

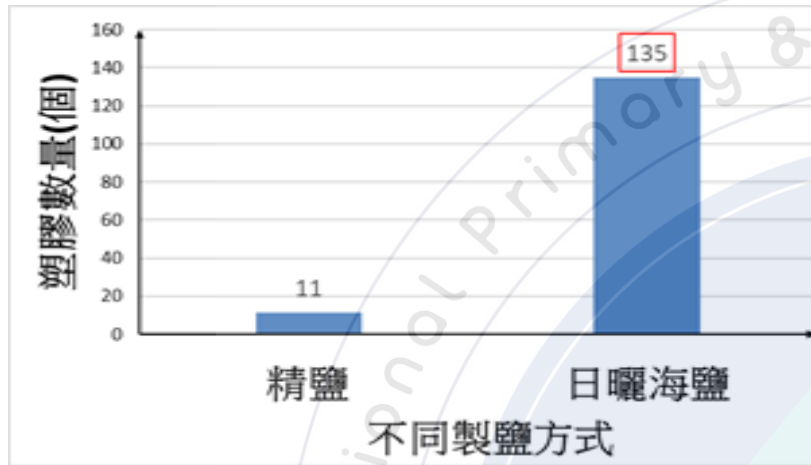


圖5 不同製鹽法食鹽中塑膠微粒數量

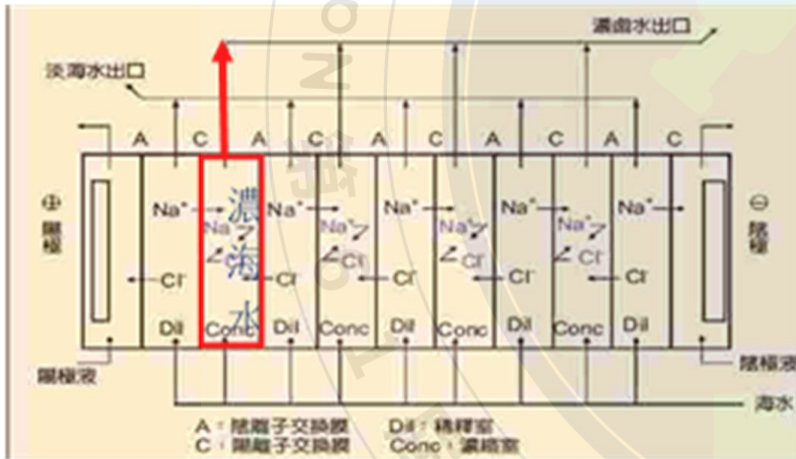


圖6電析法離子交換膜的過濾方式

3. 製鹽方式-電析法能過濾雜質，較日曬法乾淨

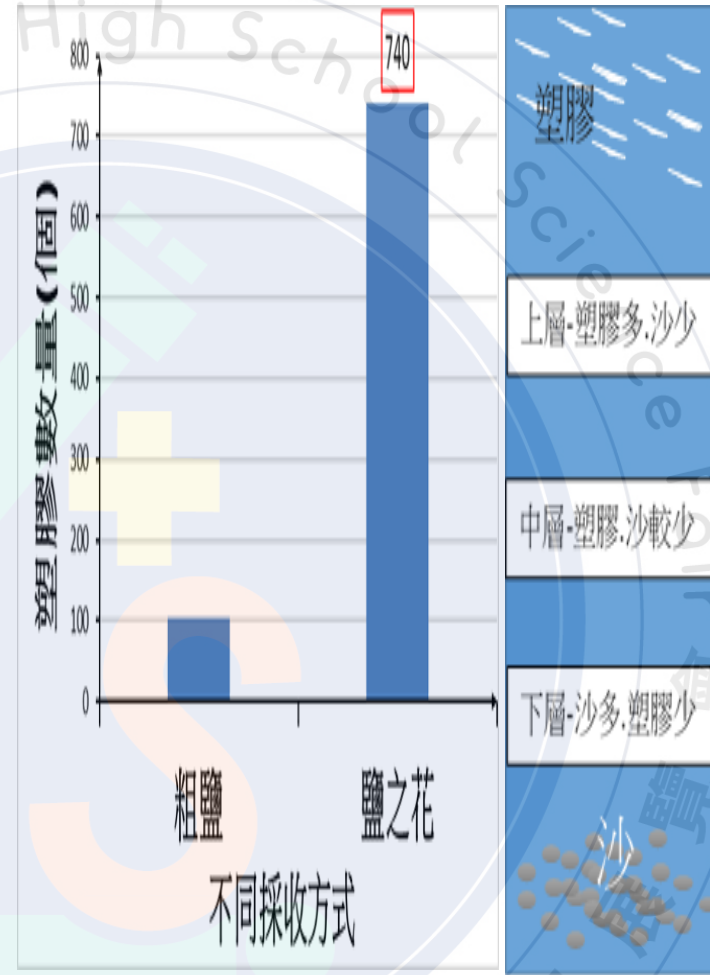


圖7 鹽之花(上)和粗鹽(下)塑膠量



圖8 上下層鹽中塑膠微粒和沙子

4. 上下層鹽-上層較下層鹽塑膠微粒高出7倍，因塑膠輕浮在水面



# 研究結果與討論 (研究一)

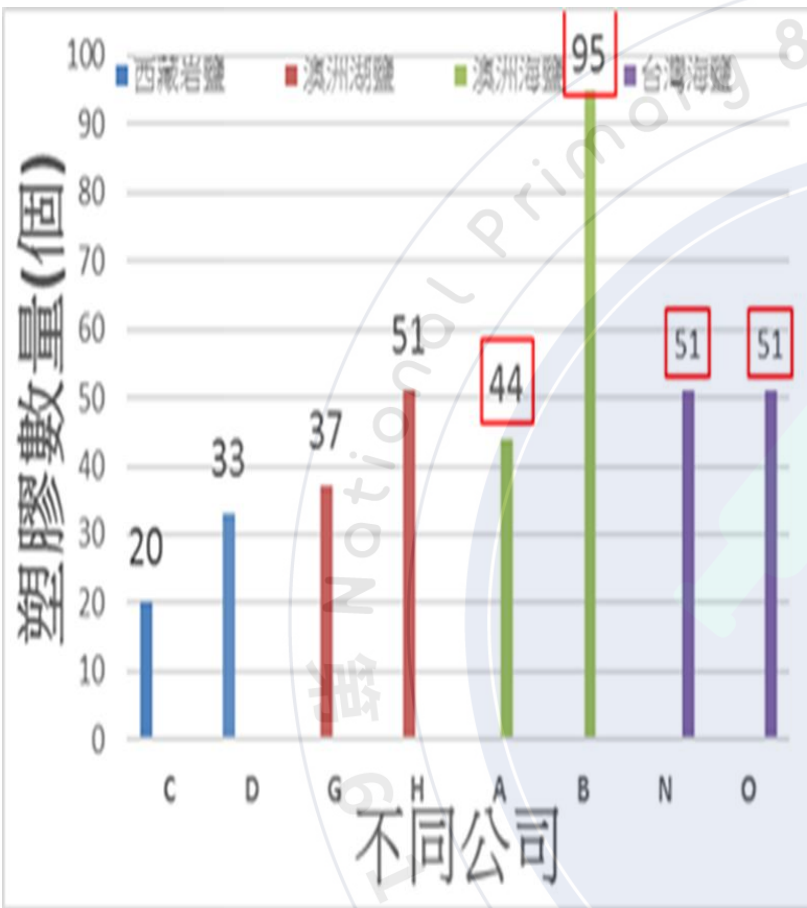


圖9 不同公司食鹽中塑膠微粒數量

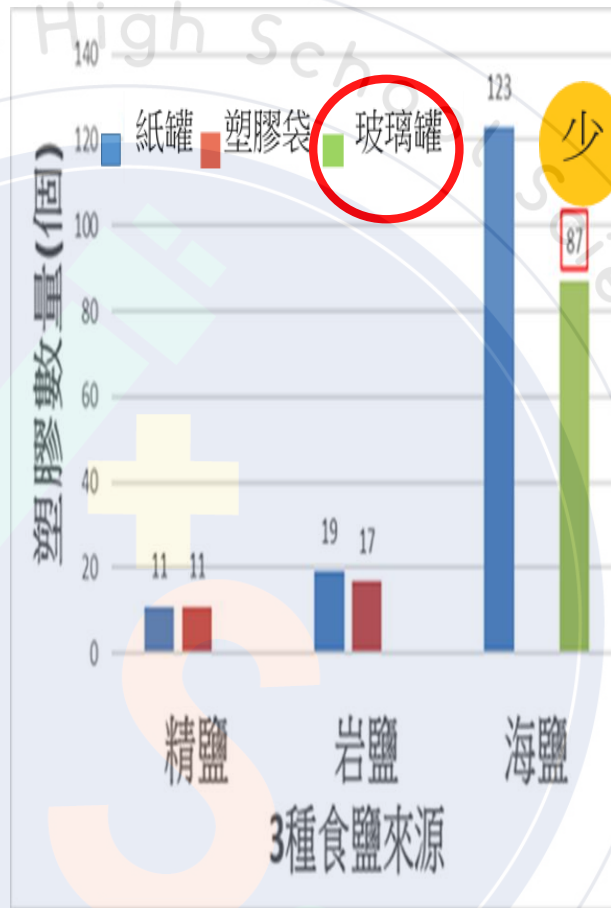


圖10 不同包裝食鹽中塑膠微粒數量

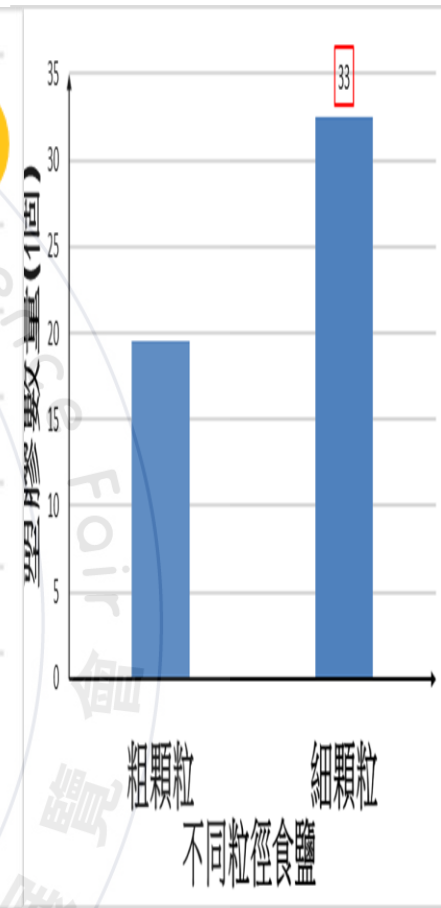


圖11 不同粒徑食鹽中的塑膠數量

5. 不同公司-海鹽塑膠微粒差異大，因製程差異大

6. 包裝與粒徑-玻璃罐塑膠最少，粗顆粒經研磨可能混入較多塑膠

# 研究結果與討論

## 二、以密度分辨塑膠種類

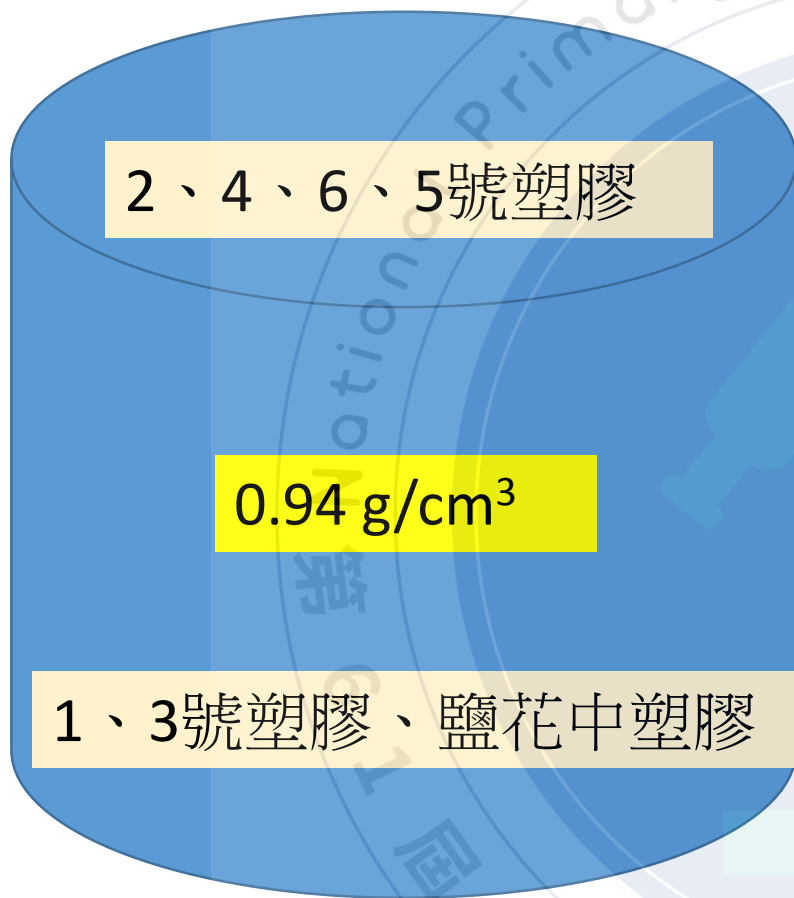


圖 12 食鹽中塑膠微粒在酒精中浮起情形

## 三. 塑膠微粒清除機設計及效果

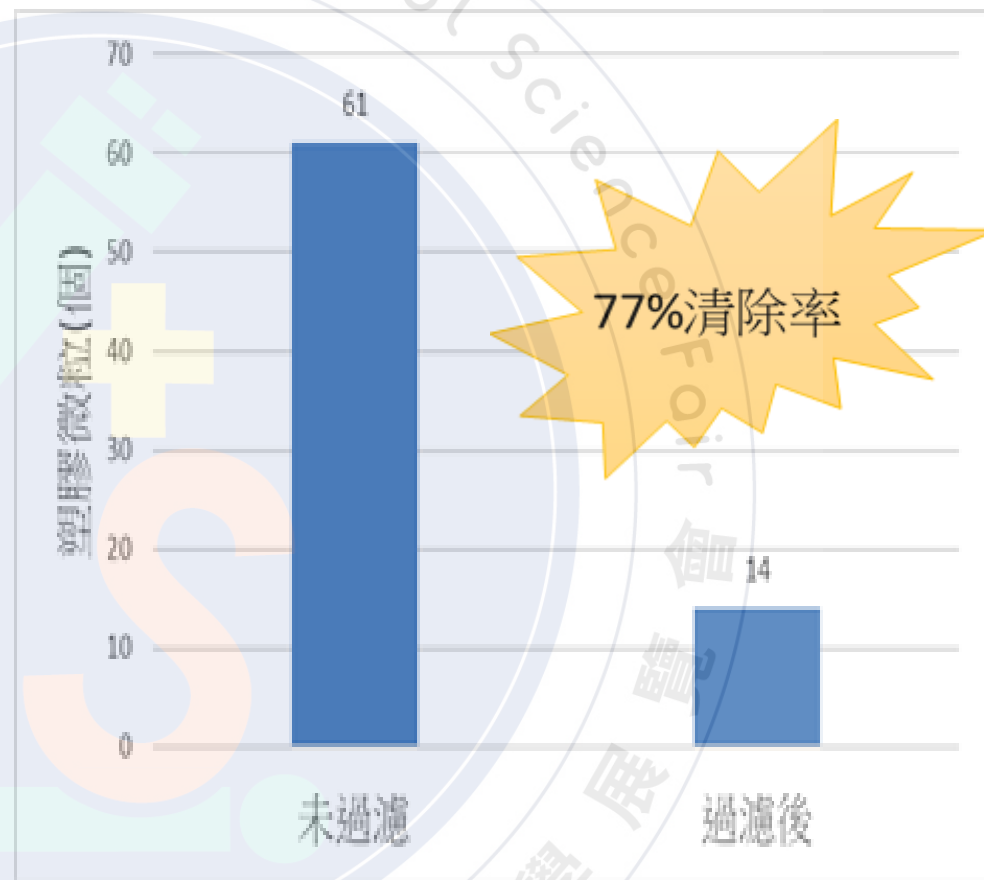


圖13海水過濾前後的塑膠微粒量

鹽花在密度  $0.94 \text{ g/cm}^3$  液體中  
出現1或3號塑膠微粒下沉

清除機刮除浮在上層塑膠微粒  
，實際清除海水達77%清除率。



## 四、消費者購鹽因素問卷調查

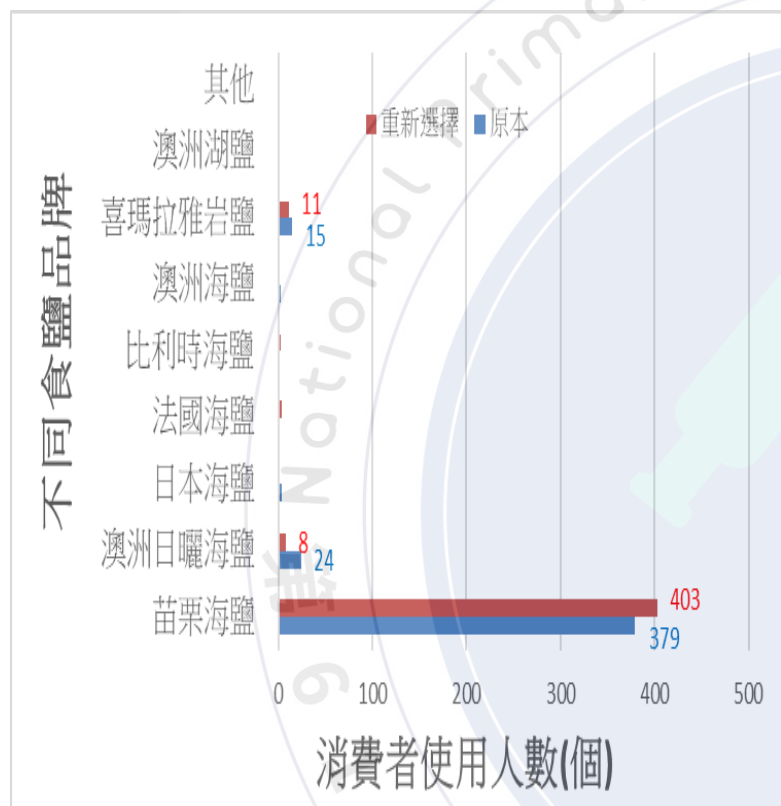


圖14 消費者購鹽的品牌分布(前後測結果)

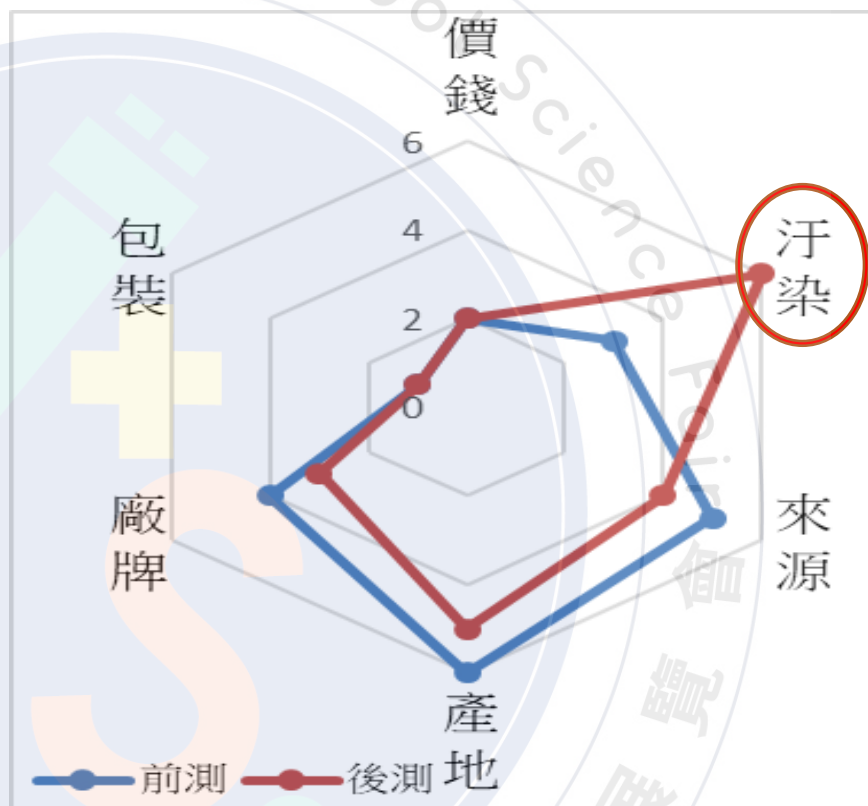


圖15 影響消費者購鹽的因素

消費者購鹽因素問卷結果顯示，原本沒注意食鹽污染問題，得知研究結果變得重視

# 小結

一、塑膠微粒的含量及其污染原因依食鹽的來源、區域、製鹽方式、上下層鹽、公司、包裝、粒徑彙整如下：

	塑膠多		塑膠少		原因
來源	海鹽	湖鹽	岩鹽		海洋汙染高
區域	法國	台灣	日本		海洋汙染或製程差異
鋪面	土盤		瓦盤		雜質較多
製法	電析法		日曬		離子交換膜過濾效果佳
分層	上層鹽		中下層		塑膠浮在上層海水
公司	不同海鹽公司差異大				海鹽製程差異大
包裝	塑膠袋		玻璃		玻璃減少塑膠混入
	紙罐				
粒徑	小顆粒		大顆粒		研磨過程混入塑膠

## 一、食鹽中塑膠微粒含量其差異原因

1. 每克食鹽平均含0.8個塑膠微粒，來源以海鹽塑膠微粒最多，海洋污染高。國產食鹽污染接近，低於國外
2. 製鹽方法以電析法較乾淨。日曬海鹽製程差異大，下層鹽比上層鹽乾淨，因為塑膠輕浮在海水上層。
3. 包裝方式以玻璃罐裝、粗顆粒較乾淨。

## 二、探討以密度分辨塑膠種類

鹽花中的塑膠在液體濃度 $0.94\text{g/cm}^3$ 中下沉，表示為1或3號塑膠

## 三、塑膠微粒清除機及清除效果

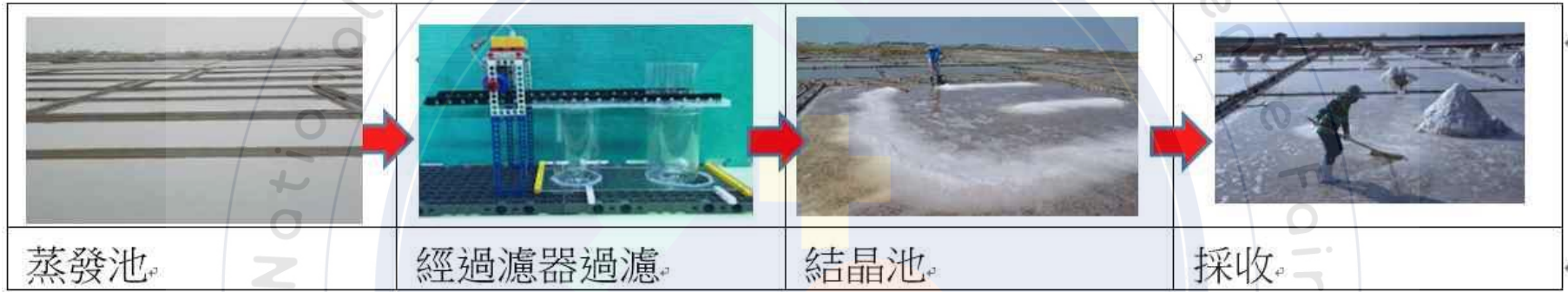
以密度分離方式，刮除上層塑膠微粒，清除率達77%。

## 四、消費者購鹽因素問卷調查

消費者變得重視食鹽污染問題

# 未來展望

清除機未來可以應用在鹽廠製程，在蒸發池之前先進行過濾，在形成鹽結晶。



## 參考文獻

1. Hyemi Lee, Alexander Kunz, Won Joon Shim, Bruno A. Walther. (2019). Microplastic contamination of table salts from Taiwan, including a global review. Scientific Reports volume
2. Ryota Nakajima, Masashi Tsuchiya, Dhugal J. Lindsay, Tomo Kitahashi, Katsunori Fujikura and Tomohiko Fukushima. (2019). A new small device made of glass for separating microplastics from marine and freshwater sediments. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC).
3. 唐祥恩、華子銘、趙偲婷、施禹安、馬順恩(2020)。清除水中塑膠微粒的方式。第60屆全國科展作品。