

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

佳作

030205

見『微』知『塑』

學校名稱：臺中市立四育國民中學

作者： 國二 連芮暄 國二 林佑宸 國二 葉茗維	指導老師： 施佩汝 紀正良
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：海洋微塑膠、自製螢光顯微鏡及 FTIR 定性

摘要

本研究首次大規模作中部地區海水、海砂(土)、牡蠣及文蛤微塑膠定量及定性研究，探討變因、自製可普及化的螢光顯微鏡實驗設備及找出日常可去除微塑膠的方法。

以自製設備搭配解剖顯微鏡取代螢光顯微鏡，作為微塑膠螢光染色檢測。以 FTIR 檢測中部地區微塑膠種類以 PE 及 Nylon 為主。海水微塑膠含量變因為海流及風；地區因地形阻隔及人類活動影響微塑膠含量。海砂(土)微塑膠含量跟海水沉積、人類活動及土壤吸附力有關。牡蠣中微塑膠變化和其生長趨勢及海水微塑膠含量成正相關。文蛤微塑膠含量和養殖池養殖方法有關。

文蛤以鹽水吐砂可減少微塑膠；用餐時將油層撈除可去除微塑膠。針對海水上層撈除及在溪流製造泡泡牆產生向上水流，皆可讓微塑膠引導去除。

壹、研究動機：

微塑膠污染近年被聯合國視為重大環境議題。根據環保署統計全台每人在一週內約食用一張信用卡的塑膠量。奧地利維也納醫學大學研究發現，超過50%人類糞便中含微塑膠[1]。人類製造塑膠汙染，經人類活動及水循環，懸浮或沉入海洋。海洋微塑膠藉由接觸或攝食而累積在水生生物體內，再透過生物累積，轉移至高級消費者[2]。而微塑膠要透過食物鏈進入人體，管道之一就是海洋。

Carpenter 1972 年最早記載微塑膠進入海洋污染環境，導致全球海洋生物及其棲地均發現微塑膠[3]。根據環保署[4]、海生館[5]及黑潮基金會[6] [7]在2018~2019年台灣地區微塑膠調查顯示，樣區內所有海水、砂灘、養殖牡蠣及貝類，已受到微塑膠全面污染。但目前對於中部地區海水、砂灘、海水、砂及軟體動物類(文蛤及牡蠣)等微塑膠量調查不夠全面，也少有生物體內微塑膠的定性分類研究。微塑膠存在原因之海岸環境的空間差異、季風、洋流、養殖方式及人類活動等變因，並未深入研究。甚至國內無任何研究探討微塑膠測試實驗方法的比較，及如何利用簡易的理化性質減少或去除微塑膠探討。

是以，本研究我們想要了解台灣中部地區海域海水、海砂(土)及軟體動物類(文蛤及牡蠣)所受到的微塑膠污染情形，以及試圖找出一個較簡易且花費較少的微塑膠測試實驗方法，及根據實驗結果，去思考可行減少或去除海洋微塑膠之道。

貳、研究目的：

- 一、設計出簡易且花費較少的微塑膠篩檢實驗方法及設備，以取代昂貴的檢驗儀器。
- 二、中部海域(臺中及彰化)進行海水與海砂(土)採集，軟體動物類(文蛤及牡蠣)購買，進行微塑膠的分析，以了解其微塑膠污染情形，討論空間環境上的差異。
- 三、檢驗採樣海水、海砂(土)及軟體動物類(文蛤及牡蠣)樣本微塑膠成份(定性)，並且檢測微塑膠含量(定量)，且找出其可能的變因。
- 四、依實驗結果及微塑膠的特性，設計出可行的去除微塑膠的方法。
- 五、討論海洋微塑膠分佈和軟體動物類(文蛤及牡蠣)體內微塑膠的相關性。

參、文獻探討：

【微塑膠的定義】

2009年美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)定義微塑膠為尺寸小於5mm之小塑膠碎片，除一開始即做成小於5mm塑膠產品，如塑膠原料粒、衛生清潔用品中柔珠；大部分塑膠微粒來自於塑膠產品在海水中，因光照及日夜溫度變化導致塑膠變得易碎，加上海浪拍打、生物咬食等物理外力，破碎成為小於5mm之塑膠微粒。常見的塑膠微粒材質有六種，分別為：聚丙烯(Polypropylene, PP)、聚乙烯(Polyethylene, PE)、聚對苯二甲酸乙二醇酯(Polyethylene Terephthalate, PET)、聚苯乙烯(Polystyrene, PS)、聚氯乙烯(PVC)，以及俗稱尼龍的聚醯胺纖維(Nylon / Polyamide fibers, PA)。

【尼羅紅染色法】

根據 Thomas Maes 等人的研究論文[15]尼羅紅有親油性，可以溶於乙醇，利用尼羅紅染劑的親油性，將塑膠微粒染色，並以特殊波長的光激發，使之發出螢光，以螢光顯微鏡挑取。藉此，可以實驗出待測樣品含塑膠微粒的多寡[8]。

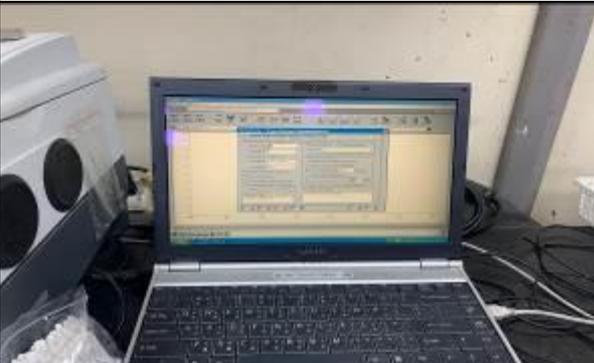
【三種塑膠纖維檢測技術作法比較】 [9]

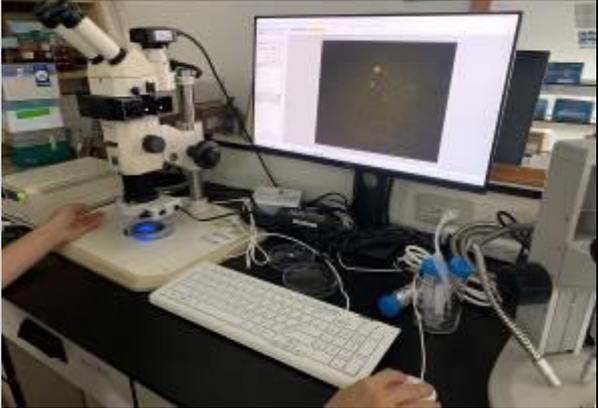
方法 項目	熱觸法	螢光染色法	拉曼光譜法
作法	在顯微鏡下以高溫之針尖碰觸樣本，若為塑膠則可產生融化或是捲曲現象	樣本以尼羅紅染色後，於螢光顯微鏡下觀察	顯微拉曼光譜分析儀進行塑膠成份分析
優點	簡易	快速，適合大規模篩測	成份鑑定，可定性及定量
缺點	耗時且需要小心操作，塑膠必須較大可清楚看見。塑膠微粒被檢測完後已破壞，無法進行後續實驗。	可能有部分塑膠材質無法染色。螢光顯微鏡較昂貴，一般高中以下學校不易有。	過細纖維可能因為雷射光斑打在濾紙產生光譜干擾。

肆、研究設備及器材：(表1)

表 1 研究設備及器材表

類別	取用海水設備			
名稱	10L 採樣桶	取水器	漏斗	手套
圖片				
類別	取海砂(土)設備			取牡蠣工具
名稱	採海砂(土)器	採樣海砂(土)罐	鎚子	挖牡蠣器
圖片				
類別	實驗用藥品及水性材料			
名稱	沙拉油	乙醇	Sigma 尼羅紅粉末	雙氧水
圖片				
	實驗用吸取設備			
名稱	試管	玻璃刻度滴管	微量滴管(pipette)	玻璃刻度滴管
圖片				

類別	微塑膠實驗設備			
名稱	濾紙	濾光片	自組螢光手機架 解剖顯微鏡	抽濾用設備
圖片				
類別	秤重設備		砂灘(土)實驗設備	
名稱	微量電子秤	電子秤	篩網 < 5mm	離心機
圖片				
類別	其他實驗器材			
名稱	陶瓷研鉢	燒杯、定量瓶 分液漏斗等	培養皿	烘箱
圖片				
類別	大型且貴重的實驗設備			
名稱	霍式紅外線光譜儀		omnic9.2光譜資料分析系統	
圖片				

類別	自製儀器與設備	大型且貴重的實驗設備
名稱	自製流動水域模擬箱	汞燈正立式螢光顯微鏡
圖片		

伍、研究過程與方法：

一、研究架構圖(圖1)

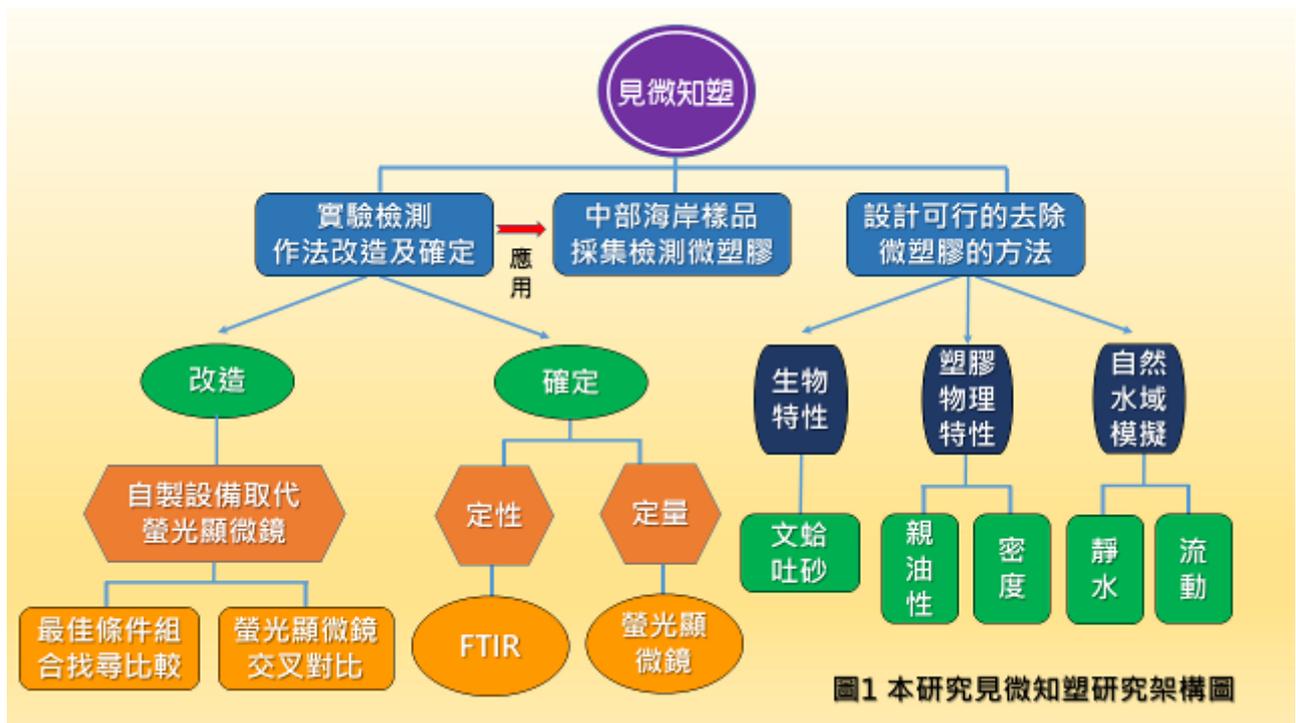


圖1 研究架構圖

二、以自製設備配合螢光染色法以取代昂貴螢光顯微鏡

(一) 自製設備實驗流程圖(圖2)

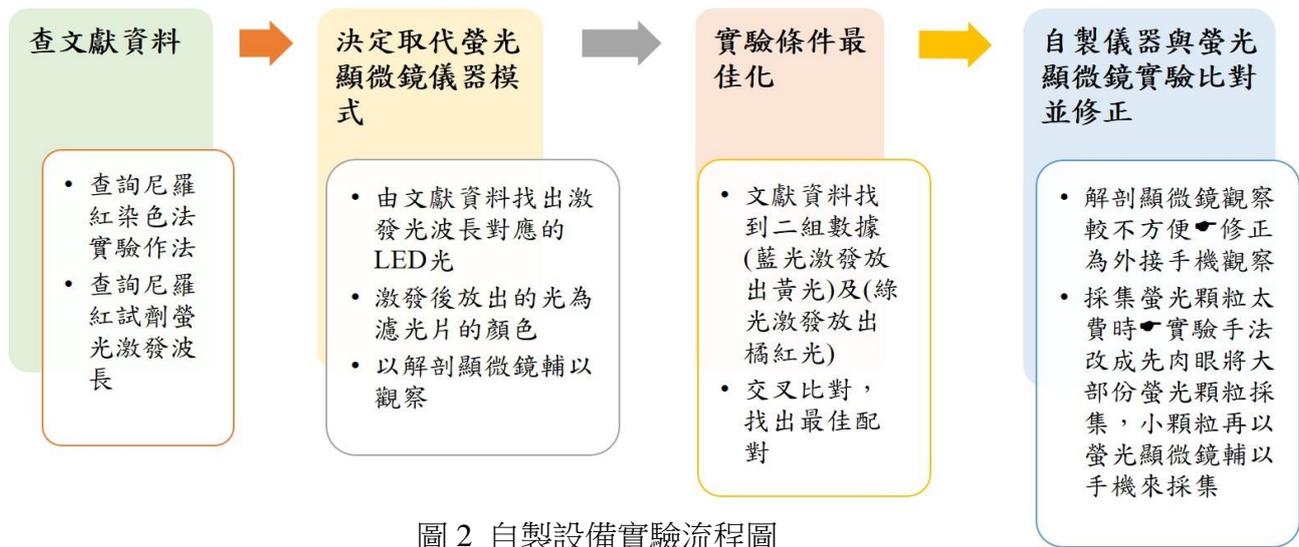


圖 2 自製設備實驗流程圖

(二) 說明：

1. 利用野外採集及購買的樣本當實驗標的，本研究將解剖顯微鏡+LED 燈條+手機架+手機，組合成自製設備(圖3)。在進行螢光染色法實驗操作時，比較不同的實驗設備組合條件：一為藍色 LED 光條激發+黃色濾光片；二為綠色 LED 光條激發+橘紅色濾光片，實驗比較結果及螢光顯色效果，找出最佳組合實驗條件。並和螢光顯微鏡(圖4) 在相同樣本下做實驗結果比對(圖5)，比對二者的差異，找出最適合的實驗方法，以作為後續微塑膠實驗的參考。
2. 簡化操作過程的不便及提高採檢效果，並加上手機架輔助採檢。
3. 再者，利用汞燈正立式螢光顯微鏡影像及篩樣結果，和本實驗之自製設備結果做比對。

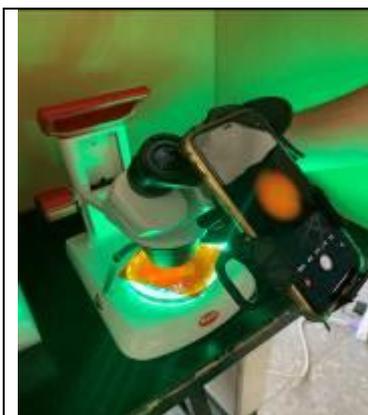


圖3 自製設備

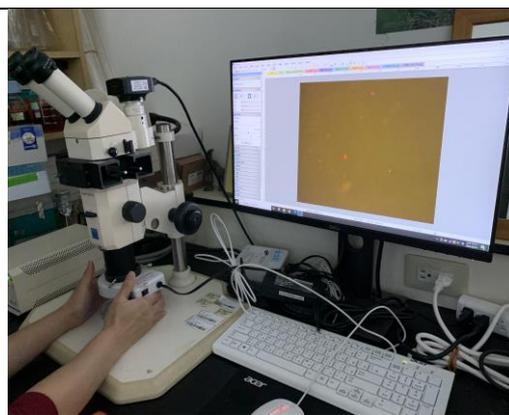


圖4 汞燈正立式螢光顯微鏡



圖5 在螢光顯微鏡吸取微塑膠

三、採樣及檢測微塑膠

(一) 採樣地點基本說明

1. 在採集前於內政部資訊中心縣市界及鄉鎮界 97TM2 圖資[12]，及 Googleearth 臺灣中部衛星影像圖資[13]，確認海岸概況及採樣區大致範圍。
2. 先從臺中市選取4個樣點，分別是高美(濕地)、梧棲(內外港)、烏溪(出海口)，為了探

討港口屏障對微塑膠影響，分別在梧棲港，內港及外港分別取樣兩點。

- 彰化縣選取3點，分別是伸港(彰濱工業區北邊及烏溪出海口南邊)、王功(濱海養牡蠣及文蛤基地)及漢寶(濕地)，於彰化縣濱海北中南各取一點，能夠更容易看出空間差異，並且三個樣點都是台灣中部常見的牡蠣及文蛤養殖基地，牡蠣皆採取平掛式養殖。
- 本研究從109年9月份採集至110年1月份，逐月採集一次，7個樣點採集項目皆有海水，海砂(土)從10月開始採集，採集時為漲潮時採集海水；退潮時採集海砂(土)；牡蠣及文蛤僅在彰化3個樣點當地採買。
- 為了比較環境的不同，我們在中部地區共採集7個樣點(圖6)。



圖6 中部地區採集點地圖

(二)牡蠣研究流程與方式

1. 採集流程與方式：為了避免人為的其他污染，我們從伸港、漢寶及王功三個採樣點產地，購買1台斤養殖之帶殼牡蠣，到實驗室剝牡蠣殼取出牡蠣肉(圖7)。
2. 處理以及觀察樣本期間，為了避免樣本被來自空氣中的其他微塑膠污染，所有樣本盡量使用玻璃器材作為載具。實驗所使用的器材，也都經過蒸餾純水洗滌過，並經過烘箱100°C烘烤2小時，並以鋁箔紙作為阻隔空氣包裝。所有的實驗人員都戴上乳膠手套操作，以減少實驗誤差。
3. 將剝殼後的牡蠣以蒸餾純水清除覆蓋的泥砂，稍微瀝乾後秤其溼重 A。
4. 將牡蠣倒入燒杯中，並以每公克牡蠣加入6.4ml 的30%雙氧水的比例加入雙氧水。
5. 燒杯蓋上鋁箔紙並封膜，讓牡蠣於雙氧水中完全溶解完畢，過程約需48~72小時。
6. 將處理完的樣本，加入食鹽到飽和。
7. 尼羅紅染劑染色[9]：將尼羅紅染劑混95%的酒精染劑達到1ug/ml 的濃度，以每1ml 的樣本液加入1ul 的調和染劑比例加入，攪拌均勻後，避光靜置24小時。
8. 以自製螢光設備觀察並挑出微塑膠(圖8)。
9. 將吸取出來的微塑膠抽濾烘乾後秤重(圖9)。
10. 樣本中微塑膠比例=(微塑膠克重 / 樣本重 A 克重)×1000，此意義為每1公斤的牡蠣中所含的微塑膠克數。
11. 取出的微塑膠連同濾紙以 FTIR 傅立葉轉換紅外線光譜儀 (圖10)，作微塑膠定性分類。



圖 7 剝牡蠣殼取出蚵

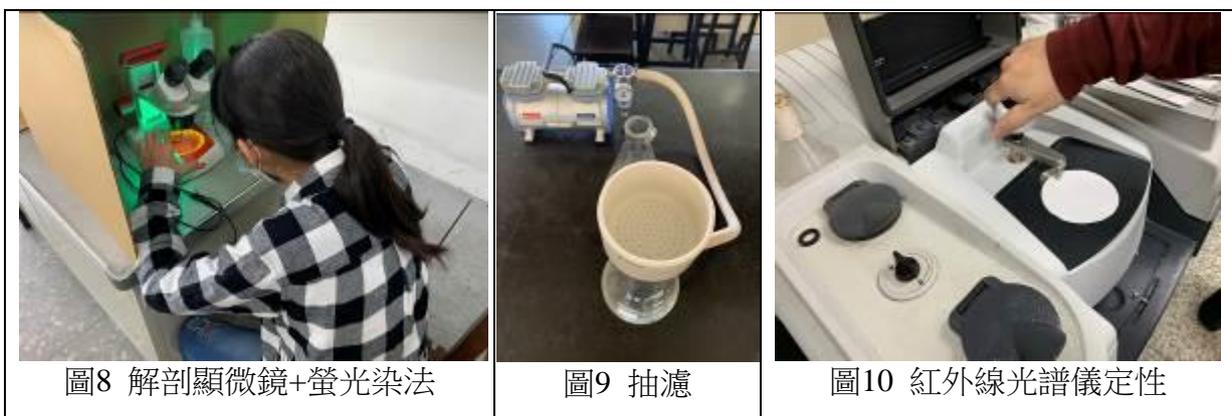


圖8 解剖顯微鏡+螢光染法

圖9 抽濾

圖10 紅外線光譜儀定性

(二)文蛤研究流程與方式

1. 採集流程與方式：我們從伸港、漢寶及王功三個採樣點產地，購買1台斤(600公克)養殖之文蛤。

2. 無塑處理流程：與牡蠣實驗相同(牡蠣實驗步驟2)。
3. 將文蛤以蒸餾純水清除外殼覆蓋的泥砂並秤重 **A**。
4. 將文蛤倒入燒杯中，並以每公克文蛤加入6.4ml 的30%雙氧水的比例加入雙氧水。
5. 燒杯蓋上鋁箔紙並封膜，讓文蛤於雙氧水中完全溶解完畢，過程約需48~72小時。
6. 將文蛤殼從水溶液中取出並秤重 **B**。
7. 將處理完的樣本加入食鹽直到飽和，並以玻璃棒攪拌。
8. 尼羅紅染劑染色[9]：將尼羅紅染劑混合95%的酒精染劑達到1ug/ml 的濃度，以每1ml 的樣本液加入1ul 的調和染劑比例加入，攪拌均勻後，避光靜置24小時。
9. 以自製螢光設備觀察並挑出微塑膠(圖8)。
10. 將吸取出來的微塑膠抽濾烘乾後秤重(圖9)。
11. 樣本中微塑膠比例=[微塑膠克重 / (樣本重 **A-B**)克重]×1000，此意義為每1公斤的文蛤中所含的微塑膠克數。
12. 取出的微塑膠連同濾紙以 FTIR 傅立葉轉換紅外線光譜儀 (圖10)，作微塑膠定性分類。

(三) 海水中微塑膠研究流程與方式

1. 採集流程與方式：採樣前利用大量蒸餾純水沖洗10L 採樣桶及採水器，採樣過程穿著純棉質之衣服以免污染。採樣時以不鏽鋼水桶為採水器(圖11)，進行採樣時記錄採樣時間、地點、座標等。採樣後樣本秤重 **A**，空桶重 **B**，得出海水重量($C=A-B$)，海水加入食鹽配成飽和。
2. 無塑處理流程：與牡蠣實驗相同(牡蠣實驗步驟2)。
3. 尼羅紅染劑染色[9]：將尼羅紅染劑混95%的酒精染劑達到1ug/ml 的濃度，以每1ml 的樣本液加入1ul 的調和染劑比例加入，攪拌均勻後，避光靜置24小時。
4. 以自製螢光設備觀察並挑出微塑膠(圖8)。
5. 將吸取出來的微塑膠抽濾烘乾後秤重(圖9)。
6. 樣本中微塑膠比例=[微塑膠克重 / (樣本重 **C** 克重)]×1000，此意義為每1公斤的海水中所含的微塑膠克數。
7. 將取出微塑膠連同濾紙以 FTIR 傅立葉轉換紅外線光譜儀 (圖10)，作微塑膠定性分類。
8. 空白實驗，取蒸餾水倒入採水桶中，進行步驟2~6的實驗。



圖 11 不鏽鋼水桶為採水器，將海水倒入採水桶中

(四) 海砂(土)中微塑膠研究流程與方式

1. 採集流程與方式：每樣點隨機各取3點混合裝入採樣海砂(土)罐中，裝滿為止。以內徑5公分、高30公分不鏽鋼管，將其插入取砂點10公分，將周圍砂挖除以鏟子插入底部完成取海砂(土)(圖12)。再將其裝入透明玻璃罐內，後以蒸餾純水沖不鏽鋼管壁，把餘海砂(土)也沖進玻璃罐中，清洗完所有的器材進行下一個樣本的分裝。
2. 無塑處理流程：與牡蠣實驗相同(牡蠣實驗步驟2)。
3. 海砂(土)過篩：先將海砂(土)從密封之玻璃罐中取出，倒入金屬盆中。風乾48小時後秤重 A，金屬盆重量 B，海砂(土)重量 $C=A-B$ 。將海砂(土)加入蒸餾純水後，反覆經過篩網 $<5\text{mm}$ 篩出海砂(土)壤水溶液(圖13)。將處理完的樣本，加入液體體積4倍飽和食鹽水，並予以用玻璃棒攪拌(圖14)。
4. 尼羅紅染劑染色[9]：將尼羅紅染劑混95%的酒精染劑達到 $1\mu\text{g/ml}$ 的濃度，以每1ml 的樣本液加入1ul 的調和染劑比例加入，攪拌均勻後，避光靜置24小時。
5. 以自製螢光設備觀察並挑出微塑膠(圖8)。
6. 將吸取出來的微塑膠抽濾烘乾後秤重(圖9)。
7. 樣本中微塑膠比例= $[\text{微塑膠克重} / (\text{樣本重 } C \text{ 克重})] \times 1000$ ，此意義為每1公斤的海砂(土)中所含的微塑膠克數。
8. 將取出的微塑膠連同濾紙以傅立葉轉換紅外線光譜儀 FTIR(圖10)，作微塑膠定性分類。



四、設計出可行的減少微塑膠的流程與方法

(一)吐砂實驗—依據文蛤的濾食性生物特性所設計

1. 將文蛤分成兩組，一組是不吐砂，另一組以 $\text{NaCl}_{(s)} : \text{H}_2\text{O}_{(l)}$ 以15g : 500c.c.的比例，將文蛤浸泡吐砂2小時。
2. 將吐砂的水進行尼羅紅染色後吸取微塑膠秤重。
3. 吐砂完後的文蛤及不吐砂的文蛤稱重後分別依實驗三~(二)的文蛤實驗流程步驟，完成微塑膠篩檢流程。

(二)密度及親油性特性設計實驗—依據塑膠特性所設計

1. 不同塑膠模擬材質分別為 PVC 粉、PS、PC、PET、PP、PE 剪膜及 PE 粉等7種，將上述模擬材質秤重後置入純水、9%鹽水及加入50ml 沙拉油於60ml 水中，總共3種水溶液。
2. 吸取上層(約1/3)的模擬材質，並計算去除率%。
3. 去除率 = 溶液上層微塑膠重/全部微塑膠重×100%。

(三)自製流動水域模擬實驗箱—模擬水域實驗

1. 選取三種已秤重之類型相異的塑膠模擬材質，分別為 PS、PC 及 PP。
2. 分別置入於體積為50cm*50cm*50cm 的水域模擬箱中，模擬水域環境為水流器製造純水流(圖15)，及向上打泡(電動氣泡機)+純水流帶動(圖16)這兩種。
3. 箱中間有凹型的隔板，並設置一個引流管，下接取水盆，將水過濾後秤重，並計算去除率 = (過隔板上層微塑膠重/全部微塑膠重)×100%。



圖15 水流器製造純水流



圖16 向上打泡(電動氣泡機)+水流帶動

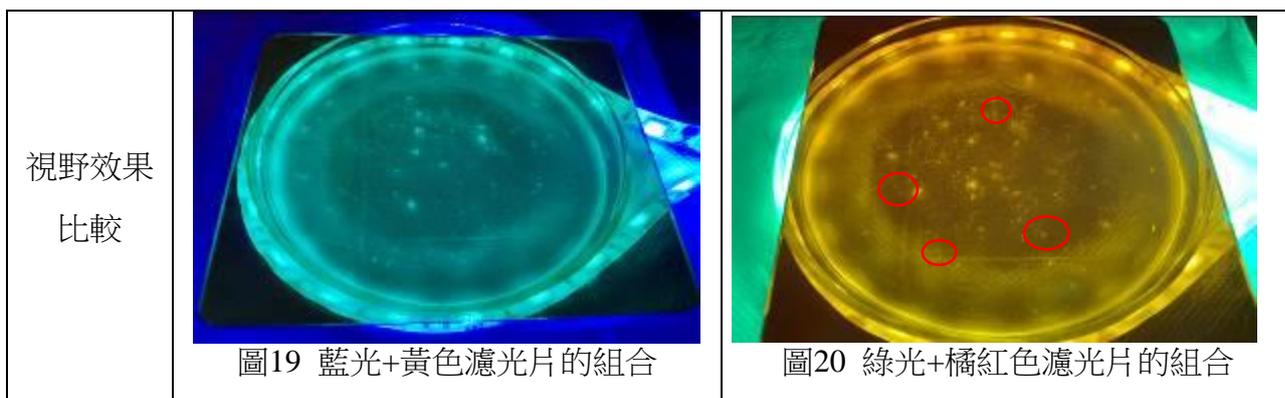
陸、研究結果與討論：

一、以自製設備配合螢光染色法以取代昂貴螢光顯微鏡

(一) 找出自製設備的最佳組合

表2 比對自製設備不同配對組合的實驗結果[10]

	藍色 LED 光條激發+黃色濾光片	綠色 LED 光條激發+橘紅色濾光片
裝置	<p>圖17 藍色 LED 燈條+黃色濾光片</p>	<p>圖18 綠色 LED 燈條+橘紅色濾光片</p>



結果討論

1. 根據查詢的文獻資料，發現尼羅紅染劑吸收的光波長，有不同的數據顯示，分別為激發光426nm(藍光)，釋放的光為黃光[11][1]；以及激發光495~570nm(綠光)，釋放光為橘紅光[2][14]。經實際操作結果(表2)，發現以藍光激發輔以黃色濾光鏡(圖17)，其辨視度不高，易有誤判狀況，如圖19所示，不易區分。
2. 我們發現在綠光激發下，輔以橘紅色濾光片，可使經尼羅紅染色的塑膠微粒較能清楚辨視出來。圖20為實驗相片，圖中紅圈圈起部份為顯而易見的塑膠螢光微粒。
3. 是以，我們應用於本研究的實驗配製為圖18的綠色 LED 燈條圈住欲觀察的水樣，上蓋橘紅色濾光片，肉眼可見的螢光塑膠微粒，可先以滴管吸取，之後再輔以解剖顯微鏡進行再確認，以防遺漏肉眼不易辨識的塑膠微粒精細較不易觀察的部份，若遇有較複雜的採樣實驗品，將重複篩選，以求精確。

(二) 相同樣本不同實驗設備，實驗的微塑膠結果表

表3 螢光顯微鏡與自製實驗設備的實驗數據比較表

不同設備 樣本	螢光顯微鏡			自製實驗設備 LED 燈條+濾光片+解剖顯微鏡		
	樣本克 gw	採得克 gw	誤差%	樣本克 gw	採得克 gw	誤差%
樣本一	0.0598	0.0588	1.67%	0.0608	0.0593	2.27%
樣本二	0.1211	0.1192	1.57%	0.1241	0.1212	2.34%
樣本三	0.0314	0.0309	1.59%	0.0304	0.0296	2.63%

註：誤差%=(採得克-樣本克)/樣本克×100%

註：樣品為 PE 粉+PVC 粉混合後秤取重量到蒸餾水中進行實驗

註：空白實驗為純蒸餾水300ml，檢測不出微塑膠

結果討論

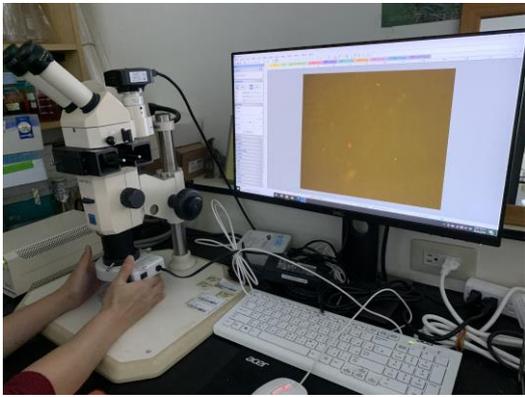
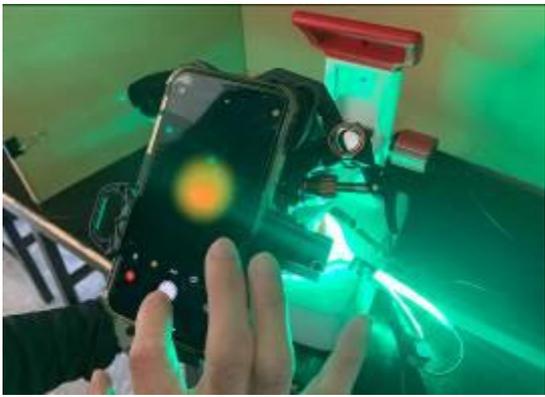
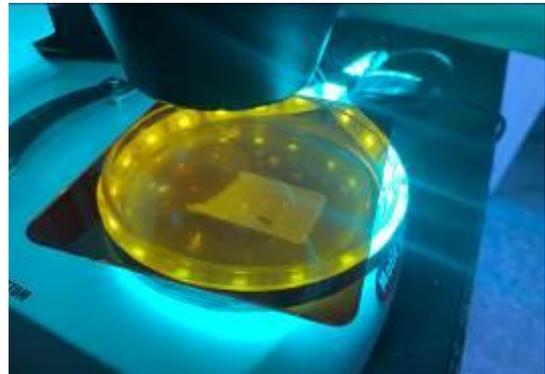
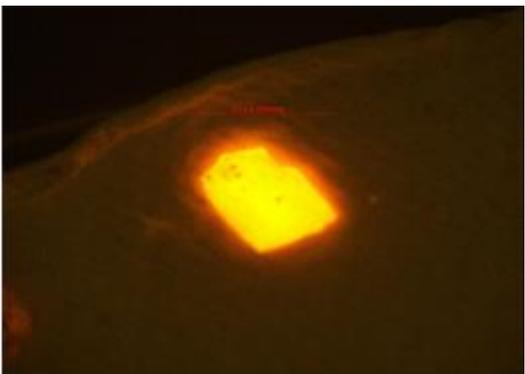
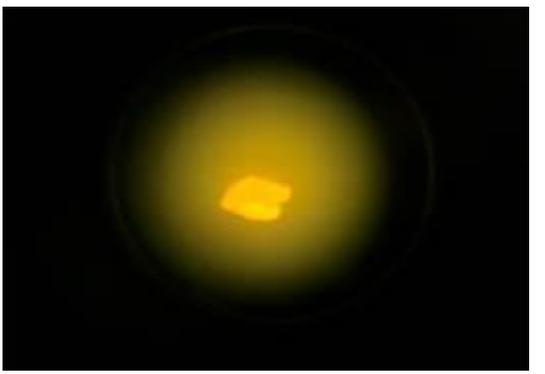
1. 本實驗樣品為把 PE 粉+PVC 粉混合後以電子秤量秤樣品放入燒杯中，加入300ml 蒸餾水後，以螢光顯微鏡及自製設備分別作實驗，來比對二者實驗吸取效果差異。為避免使用

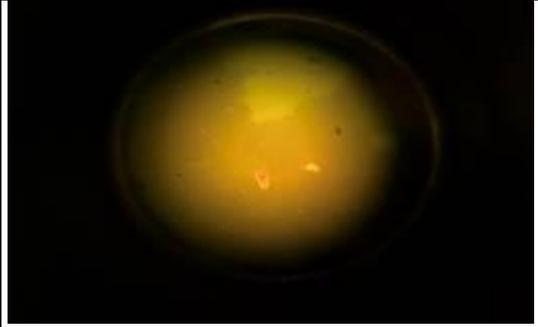
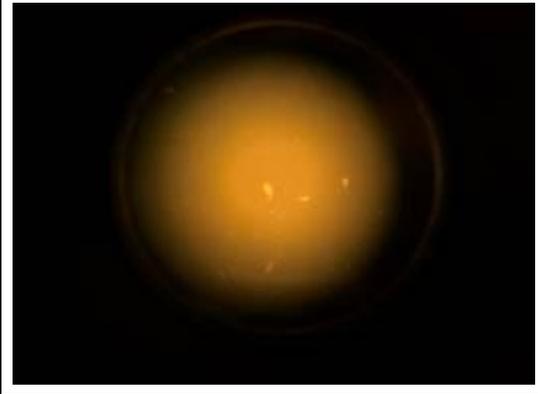
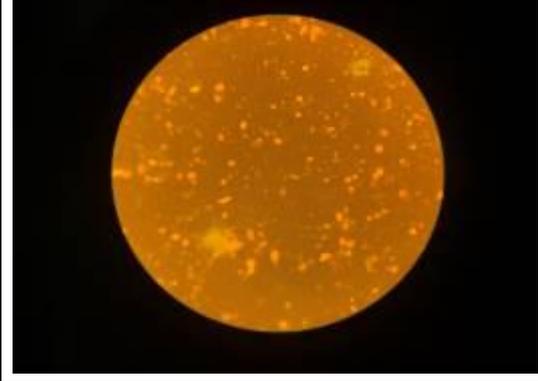
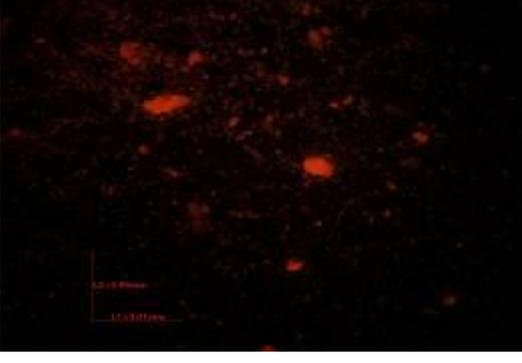
蒸餾水中就有微塑膠，我們加作空白實驗來比對。

2. 從表3中結果發現，自製實驗設備的實驗結果誤差都在2%左右，雖螢光顯微鏡誤差率較小，但二者僅差1%，是以若拿來當作基礎科學判斷及基礎研究，為一可信的工具。是以之後的研究，我們會以尼羅紅染劑來螢光染色實驗採檢品，以自製設備來搭配尼羅紅染劑進行螢光檢出實驗，將微塑膠以吸管吸取出來秤重，進行定量討論判斷。
3. 此自製實驗設備可用來替代螢光顯微鏡，以彌補螢光顯微鏡過於昂貴而無法普及的缺憾。

(三) 相同樣本在不同實驗設備下，視野所見情形

表4 螢光顯微鏡與自製實驗設備的實驗結果畫面比較表

	螢光顯微鏡	LED 光條+濾光片 + 解剖顯微鏡
實際操作 —機器操作 裝置		
實際操作 —為肉眼 所見情況		
	電腦螢幕截取	解剖顯微鏡接手機相片
梧棲外港 海砂(土) 的單一微 塑膠採樣		

伸港海砂 (土)的微 塑膠採樣		
烏溪海水 的微塑膠 採樣		
伸港牡蠣 的微塑膠 採樣		
漢寶文蛤 的微塑膠 採樣		

結果討論

1. 從表4結果中發現，本實驗所採集的海水、海砂(土)及軟體動物，經過實驗步驟前處理後，使用尼羅紅染劑來標定微塑膠，搭配本實驗採用的 LED 綠光激發，並輔以橘紅色濾光片來觀察，可以輕易的將微塑膠標定出來，進而吸取定量，為一可行的平民化實驗設備。未來如進行初步微塑膠定量實驗時，在經費不足的情況下，自製設備可取代昂貴的螢光顯微鏡。
2. 螢光顯微鏡汞燈激發下，微塑膠經尼羅紅染劑發螢光狀態，和自製實驗設備經 LED 燈激發

並輔以濾光片的發光狀態相比，螢光顯微鏡發光量較明顯。然則，以自製設備的方式，經濾光片的輔助，也能輕易辨視，誤差僅2%，且自製設備的裝置，以肉眼已能辨視約80%的微塑膠，剩下的20%，可再輔以解剖顯微鏡加強，可大幅降低實驗的誤差在1%以內。

3. 在經由多次測試下，我們發現，以綠色的 LED 燈，輔以橘紅色的濾光片，其辨試度最佳。

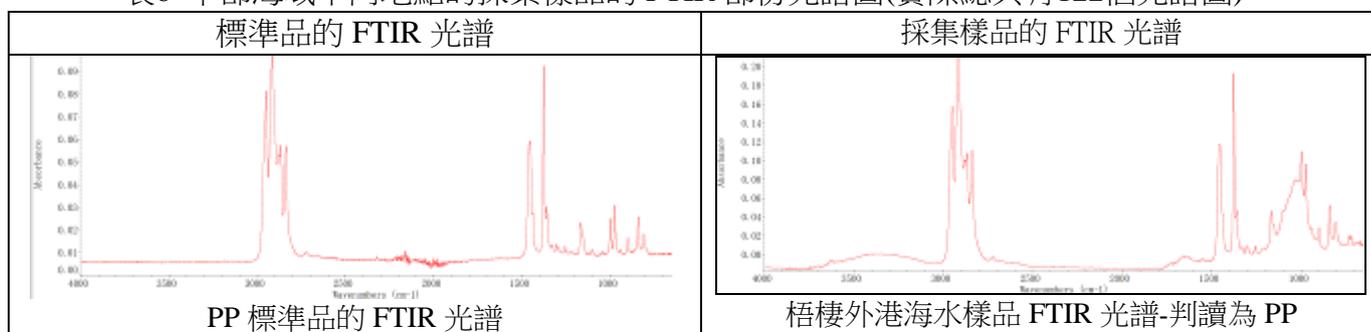
二、 中部海域不同地點的採集樣品定性及定量結果

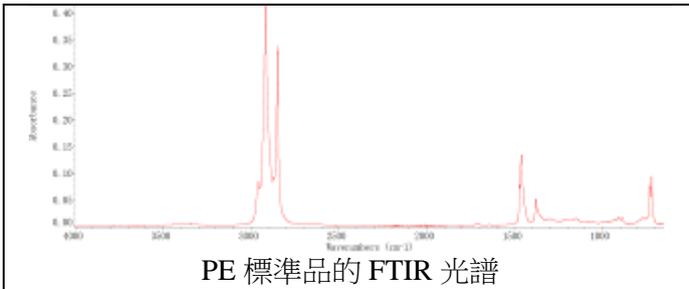
(一) 傅立葉轉換紅外線光譜儀 FTIR 定性結果

表5 中部海域不同地點的採集樣品 FTIR 紅外線光譜儀定性結果

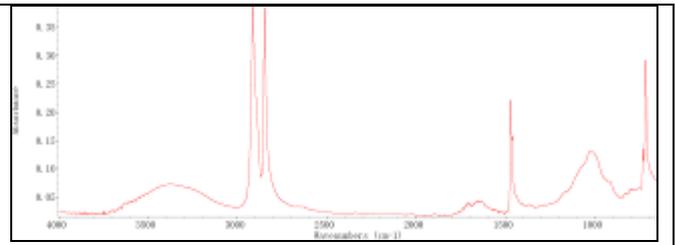
縣市	地點	採樣品	FTIR 定性結果
台中	高美	海水	PE 及 Nylon
		海砂(土)	PE.PC 及 Nylon
	梧棲外港	海水	PP.PC.PE 及 Nylon
		海砂(土)	PP.PC.PE.PET 及 Nylon
	梧棲內港	海水	PC 及 Nylon
	烏溪	海水	PP.PC.PE 及 Nylon
		海砂(土)	PE 及 Nylon
	彰化	漢寶	海水
海砂(土)			PE 及 Nylon
牡蠣			PE 及 Nylon
文蛤			PE 及 Nylon
伸港		海水	PE 及 Nylon
		海砂(土)	PE 及 Nylon
		牡蠣	PE 及 Nylon
		文蛤	PE 及 Nylon
王功		海水	PE 及 Nylon
		海砂(土)	PE.PC 及 Nylon
		牡蠣	PE 及 Nylon
		文蛤	PC.PE.PET 及 Nylon

表6 中部海域不同地點的採集樣品的 FTIR 部份光譜圖(實際總共有122個光譜圖)

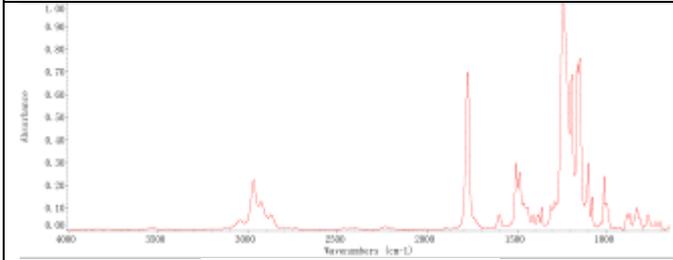




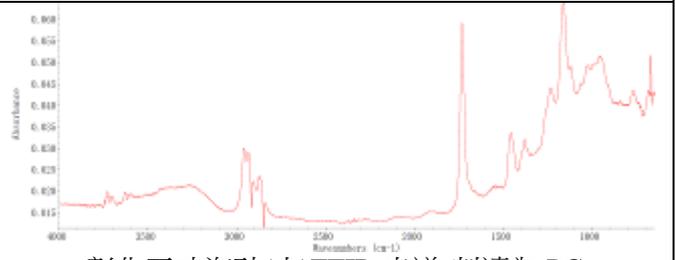
PE 標準品的 FTIR 光譜



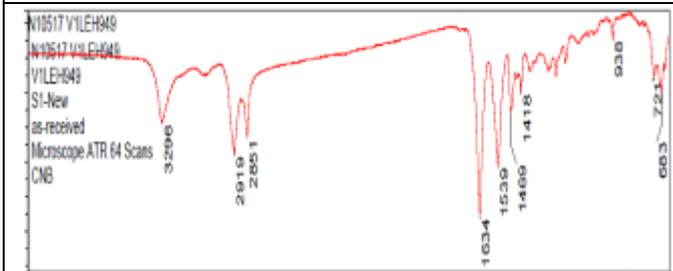
梧棲外港海水樣品 FTIR 光譜-判讀為 PE



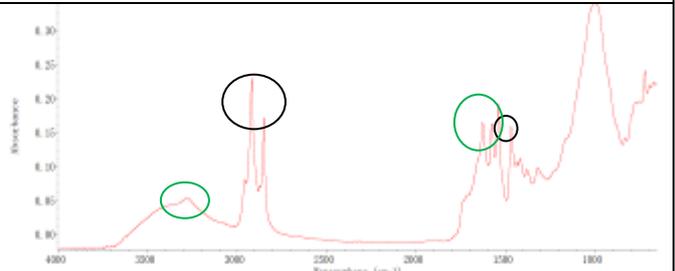
PC 標準品的 FTIR 光譜



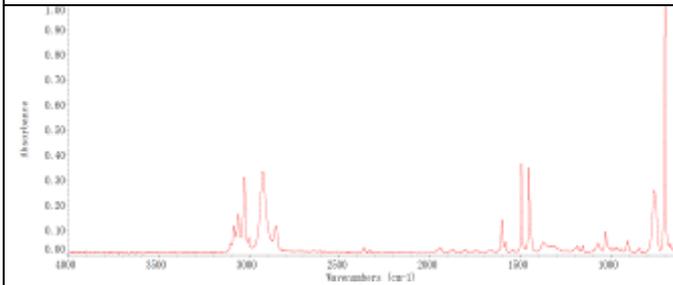
彰化王功海砂(土)FTIR 光譜-判讀為 PC



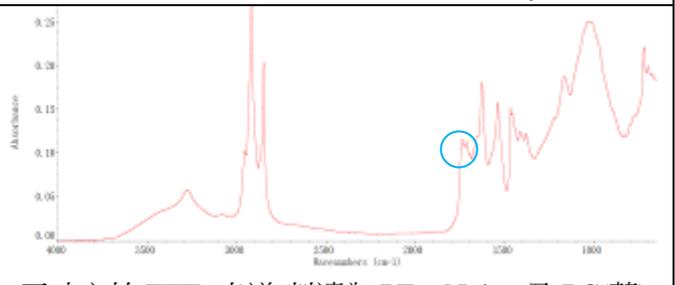
Nylon 的 FTIR 光譜*(此為網路圖資)



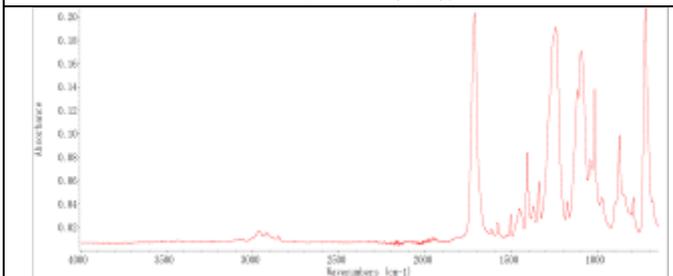
伸港文蛤 FTIR 光譜-判讀為 PE(黑圈)及 Nylon(綠圈)



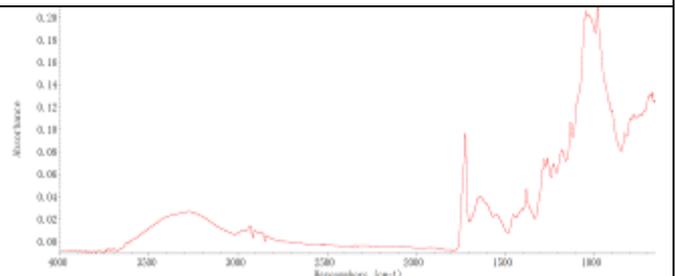
PS 的 FTIR 光譜



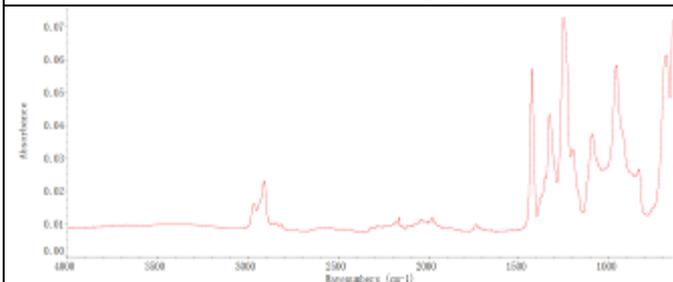
王功文蛤 FTIR 光譜-判讀為 PE、Nylon 及 PC(藍)



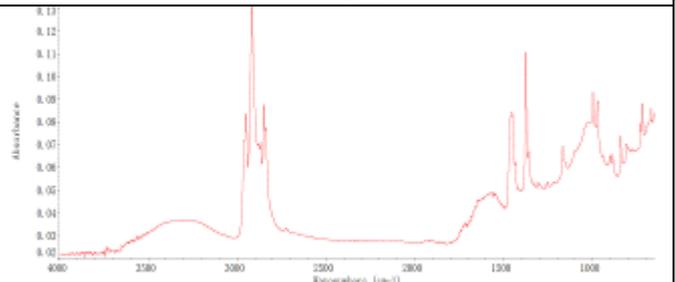
PET 的 FTIR 光譜



王功文蛤 FTIR 光譜-判讀為 PET



PVC 的 FTIR 光譜



烏溪海水樣品 FTIR 光譜-判讀為 PP

結果討論

1. 因實驗採集的樣品所含的塑膠微粒為混雜，若能單獨採取，我們可以輕易由光譜比對判讀塑膠微粒種類；若遇無法單獨採取的採集品，我們採濾紙多點截取測量，以求多次判讀，使實驗更準確。小組討論中，曾考慮想採用微示差掃描熱卡分析儀(DSC)來雙重輔助判別，不過因微塑膠採集量太少而作罷，未來將往增加採集量來雙重儀器輔助定性方向進行。而 FTIR 技術的應用，未來也考慮採同步定量操作應用。
2. FTIR 光譜判讀原則為找特色鋒，如 PE(聚乙烯)的特色鋒為在 $3000\text{ cm}^{-1}\sim 2800\text{ cm}^{-1}$ ($2870\text{ cm}^{-1}; 2930\text{ cm}^{-1}$)有二根明顯的 C-H 振動吸收鋒(-CH₂)，及二個明顯吸收鋒旁有一個小小的 -CH₃(2960 cm^{-1})吸收鋒，二者的高度差十分大，此為長碳鏈聚合物的證據。PE 另有一個在 $1400\text{ cm}^{-1}\sim 1500\text{ cm}^{-1}$ 的吸收鋒(強度約只有 2930 cm^{-1} 吸收鋒的1/2到1/3)。而尼龍(Nylon)除了長碳鏈特色吸收鋒(即 $3000\text{ cm}^{-1}\sim 2800\text{ cm}^{-1}$)外，尚有 3300 cm^{-1} (NH-伸縮振動)， 1635 cm^{-1} (醯胺吸收帶 I)， 1540 cm^{-1} (醯胺吸收帶 II)， $1282\sim 1260\text{ cm}^{-1}$ (醯胺吸收帶 III)的特色鋒作判別輔助(表6)，不過尼龍的種類繁多，在此只針對固定特色鋒判讀。
3. 我們在比對9月至隔年1月的 FTIR 光譜結果，發現並沒有因月份不同，而使採樣結果的塑膠種類有太大差異，故表5採總表呈現不同地點的採集樣品 FTIR 紅外線光譜儀定性結果。
4. 綜合比較方面，我們發現中部地點採集的海水、海砂(土)、牡蠣及文蛤，其內所含的微塑膠種類幾乎都有 PE(聚乙烯)及 Nylon(尼龍)；推估其原因，應和人類活動有關，說明如下：
 - (1) PE(聚乙烯)微塑膠部份：PE 是日常生活中最常用的塑膠之一，大量用於製造塑膠袋、塑膠膜等，隨易丟棄後，暴露於風、浪和紫外光下而分解或變形成塑膠碎片。因其密度小於 1g/cm^3 ，易浮於海面，隨波漂流，分佈既廣且遠。牡蠣及文蛤皆為濾食性，以海水養殖，是以，PE 微塑膠也會隨著海水經由濾食進入牡蠣及文蛤的體內，而可推估的是，微塑膠也會隨著食物鏈進入更高級的消費者，而被人類攝食而入。
 - (2) Nylon(尼龍)微塑膠部份：推估應和牡蠣養殖方式有關，因牡蠣農會將回收的牡蠣殼在上面打洞，並串在尼龍繩（俗稱牡蠣筋）上，並將一串串的牡蠣串綁在牡蠣棚。尼龍繩因久經風吹日曬，產生脆化裂解，形成微塑膠汙染。所以我們研究發現在彰化沿海養殖牡蠣的區域（王功、漢寶及伸港），其海水、海砂(土)皆檢出 Nylon(尼龍)微塑膠。相同地，牡蠣及文蛤也將尼龍微塑膠濾食入體內。此研究結果可給政府及養殖業作為參考，未來是否考慮使用較安全天然的材質來綁牡蠣，避免微塑膠汙染的產生。
5. 王功的海砂(土)多檢出 PC(聚碳酸酯)微塑膠，牡蠣體內沒被檢出，但文蛤體內卻檢出 PC 微塑膠，我們討論後發現，文蛤養殖在海砂(土)中，PC 會直接進入體內。另外 PC 微塑膠

的密度為 1.2g/cm^3 ，較不易漂浮在海水中，是以牡蠣較不易由海水濾食過程中攝入。

6. 台中地區的採樣點—梧棲及烏溪，檢出了 PC(聚碳酸酯)、PP(聚丙烯)及 PET(聚乙烯對苯二甲酸酯)。我們討論其原因，同樣跟人類活動有關。PC 材質近年來因無色透明、耐熱及抗衝擊等特性，廣泛應用在各式塑膠製品。其分解的小碎粒出現在海水及海砂(土)中，但因 PC 的密度為 1.2g/cm^3 ，不易海漂，故其來源應和當地人為有關。而又因 PC 的密度大於 1g/cm^3 ，故較易沉積於海砂(土)中(如高美砂及梧棲外港砂中)；而 PP 為各式瓶蓋常用的材質，查核歷年來國內淨灘 ICC 調查資料中，發現瓶蓋的數量不容忽視，數量龐大。此與本研究檢出結果可相互呼應；PET 常製作成保特瓶，也是人類慣常隨手拋棄的物品。

(二) 採集樣品經螢光染色法吸取微塑膠的定量結果

1. 海水定量結果

表7 中部不同區域每公斤海水在不同月份所得微塑膠克數

縣市	地點	9月	10月	11月	12月	1月	平均
彰化	王功	0.0007	0.0007	0.0065	0.0130	0.0062	0.0054
彰化	漢寶	0.0006	0.0007	0.0056	0.0120	0.0061	0.0050
彰化	伸港	0.0006	0.0007	0.0021	0.0033	0.0023	0.0018
台中	烏溪	0.0004	0.0008	0.0021	0.0067	0.0017	0.0023
台中	梧棲內港	0.0001	0.0002	0.0013	0.0006	0.0011	0.0006
台中	梧棲外港	0.0010	0.0023	0.0096	0.0073	0.0085	0.0058
台中	高美	0.0002	0.0002	0.0059	0.0064	0.0033	0.0032

註：1. 採集海水量為10公升

2. 空白實驗結果為 0.0000099% (即1公斤的蒸餾水裝入採水瓶，檢出為 9.9×10^{-6} 克)

3. 微塑膠比的計算公式=吸取測得的微塑膠克重÷採集海水克重 $\times 1000$ ；即一公斤樣品中所含微塑膠克數

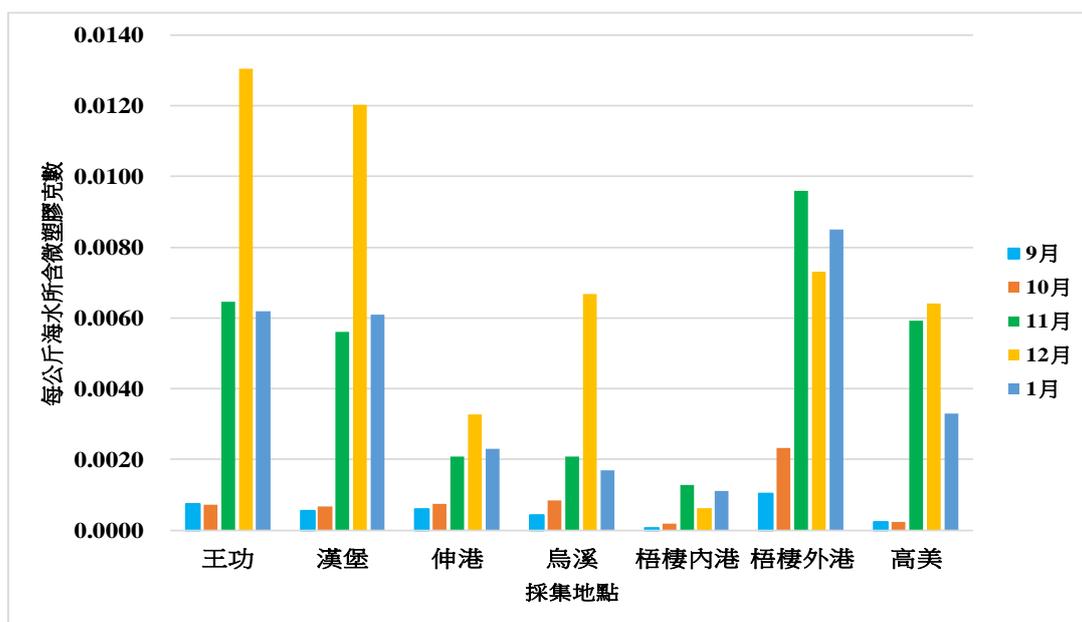


圖21 中部各地點(由南→北)海水採樣結果表

結果討論

- (1) 本研究不採用現今國內常用的定量方式-以塑膠顆粒數呈現微塑膠的量。雖然微塑膠定義為5mm 以下的塑膠都算，但大小彼此是存在差異，故顆粒數表示較無法量化。因此以樣品內實際所含微塑膠克數(g)來定量，但因微塑膠含量實在稀少，為使數值較準確，討論後以增加取樣量(公斤數)，並採用可測量到 10^{-4} g 精密天平，來減少誤差。
- (2) 本研究定量的計算公式=(吸取微塑膠克數÷採樣品的全部克數)×1000，公式乘以1000的目的在於，可表示成每公斤採樣品中所含微塑膠的克數。
- (3) 從表7及圖21中，海水在各月份採樣結果之比較如下：
 - A. 微塑膠含量比為12月>11月≈1月>10月>9月，經查文獻[16]發現，微塑膠隨著洋流移動，而風也會增強移動力。再比對歷年資料及採集當月氣候狀況及海流變化後，發現11月、12月及1月時，中部海水所含微塑膠量較大，應是中國沿岸流（即由北向南的海流）變強，造成黑潮支流和中國沿岸流在中部地區形成交會(圖22(B)中紅圈圈起處)，而使微塑膠匯集在中部地區，讓微塑膠含量增加，此現象由11月至1月微塑膠含量遠大於9月及10月的結果中得知。
 - B. 而12月比1月多的原因還有當天採集的氣候狀況—包括海流、風速等(表9)。我們在12月採集的日子恰逢寒流來襲，當天海風的風速十分強大，將外海的微塑膠都吹往沿岸所致。再查歷年中部區域風速(表8)資料中發現，12月的平均風速都是最大。因此也容易將外海的微塑膠集中在沿岸，故採集到的微塑膠量高於1月，然則因研究只進行5個月，若要成定論，留待我們拉長時間研究，才能得出較準確的結論。
 - C. 中部地區海水微塑膠含量在11月至隔年1月最高，和中國沿岸流及海風強弱有關。

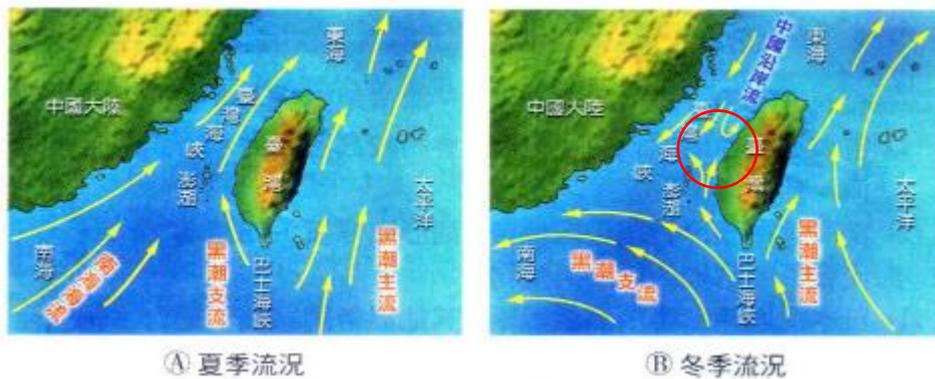


圖22 臺灣附近海流流向圖

表8 1991年至2020年中部區域各月份平均風速表(單位:m/s)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
台中	6	5.7	4.9	4.1	3.6	3.8	3.7	3.4	4.2	5.8	5.6	6.5
彰化	3.8	4.0	3.2	3.4	2.2	2.7	2.5	2.4	3.2	5.5	4.6	6

表9 採集日的風速.溫度及風向表

測站	採集日	氣溫(°C)	風速(m/s)	測站	採集日	氣溫(°C)	風速(m/s)
台中	109/9/25	25.7	4.6	彰化	109/9/25	26.1	2.8
台中	109/9/26	25.9	4.5	彰化	109/9/26	26.4	3.1
台中	109/10/15	26.3	4.3	彰化	109/10/15	26.7	3.1
台中	109/10/16	26	4.3	彰化	109/10/16	26.5	4.1
台中	109/11/18	23.4	5.9	彰化	109/11/18	26	4.5
台中	109/11/19	25.1	4.9	彰化	109/11/19	25.1	5.4
台中	109/12/30	13.3	11.8	彰化	109/12/30	14.7	10.5
台中	109/12/31	9.7	9	彰化	109/12/31	10	7.8
台中	110/1/20	16.7	2.9	彰化	110/1/20	17.1	2.2
台中	110/1/21	17.8	3.5	彰化	110/1/21	18.3	2.6

註：1、風向皆偏北風。2、表8及9資料來源為中央氣象局網站: <https://www.cwb.gov.tw/>。

(4) 海水採樣結果在地點比較方面：

A. 台中地區：梧棲外港>高美溼地~烏溪出海口>梧棲內港

B. 彰化地區：王功~漢寶>伸港

C. 梧棲外港比高美溼地及烏溪出海口微塑膠含量多的原因，應和人類活動頻繁程度有關，高美溼地及烏溪出海口為保護區，人類活動較為受限。是以若在海水微塑膠含量相去不大的情況下，人類所造成的汙染，應會導致微塑膠大幅度的增加。

D. 梧棲外港的海水微塑膠含量比梧棲內港微塑膠含量多了近10倍。我們討論其原因，應和外港及內港地形屏障有關。內港位於港口深處，海水經由曲折的水道才會到達，有點像內海地形，對微塑膠的阻隔產生明顯效果；而外港位於港口外處直接承受海水汙染沉積，所以測得的微塑膠含量較高(圖23)。

E. 彰化地區的採集測得結果，發現伸港的微塑膠含量較小，經仔細觀察我們在伸港的採集地點對照王功和漢寶採集地點，我們發現，伸港的採集地點為內縮的地區(圖24)，其原理狀況和梧棲的內港有部份相似，故微塑膠所採得的含量較少。

F. 此研究結果可供沿海養殖漁業參考，在選擇養殖環境上，如果能選擇或製造類似內海地形，造成對微塑膠等汙染物的阻隔，將可減少養殖生物體內微塑膠的累積。



圖23 梧棲內外港採集高空影像圖



圖24 伸港採集高空影像圖

2. 海砂(土)定量結果

表 10 本研究土壤樣點土壤分級及土壤特徵

樣點名稱	土壤分級	土壤特徵				
		顆粒粗細	粒間孔隙	透水性透氣性	保水力吸附力	養份物質流失率
台中高美	黏土	細	小	差	佳	慢
彰化漢寶	坩質壤土	中	中	中	中	中
彰化王功						
台中外港	砂土	粗	大	佳	差	快
台中烏溪						
彰化伸港						

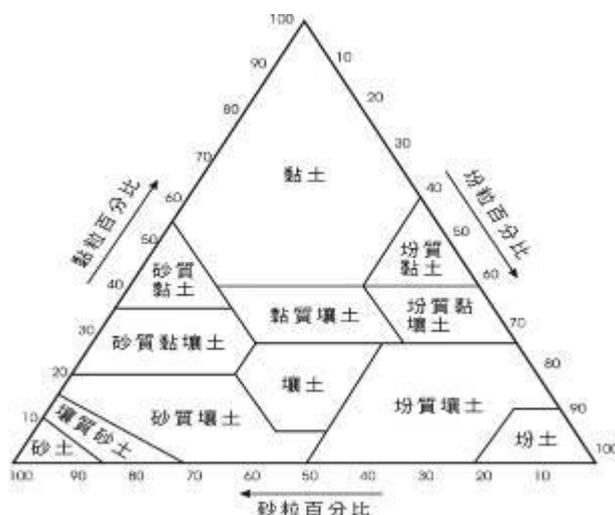


圖 25 土壤比例判斷圖

表11 中部不同區域每公斤海砂(土)在不同月份所得微塑膠克數

縣市	地點	10月	11月	12月	1月	平均
彰化	王功	0.1433	0.0235	0.0114	0.0411	0.0548
彰化	漢寶	0.0591	0.0182	0.0387	0.0469	0.0407
彰化	伸港	0.0373	0.0203	0.0464	0.0533	0.0393
台中	烏溪	0.1453	0.2628	0.0275	0.0977	0.1333
台中	梧棲外港	0.0595	0.6237	0.0842	0.1082	0.2189
台中	高美	0.0118	0.0713	0.0269	0.0358	0.0365

註：1. 採集海砂(土)量烘乾後秤重，重量為1公斤左右

2. 微塑膠比的計算公式=(吸取測得的微塑膠克重:採集海砂(土)克重)×1000

結果討論

(1) 本研究依據美國農業部於1975年修訂世界土壤分為十二土綱的土壤分類法，將6個採取的土壤樣點(台中高美、台中外港、台中烏溪出海口、彰化伸港、彰化漢寶及彰化王功)，歸納為新成土：由母質化育生成的最年輕的土壤。經由美國 USDA 土壤質地分析(手觸感覺分析法)，利用土壤三角圖(圖25)判斷本研究6個土壤樣點，分別歸納為表10。

- (2) 經實際手觸後，我們把採集的海砂（土）分成三類，高美溼地的土質屬黏土，對養份及微塑膠的吸附力最佳，故測得的微塑膠含量較海水含量多了約10倍，但仍是中部六個採集點中含量最少的，可見高美濕地為保護區，對環境保護有其成效。
- (3) 王功及漢寶的土質為粉質壤土，對養份及微塑膠的吸附力沒有黏土佳。然則，實驗出來的微塑膠含量仍較高美溼地高約1.2~1.5倍(表11)，可見其原始污染值應更高於高美溼地。
- (4) 伸港、烏溪及梧棲外港的土質為砂土，對養份及微塑膠的吸附力最差，然則烏溪及梧棲外港土壤測出來的微塑膠含量，卻是中部六個採集地點中最多的，推其原因，是因為採集地點周遭人為垃圾遍佈，污染土壤所致(圖26)。



圖26 左圖為梧棲外港塑膠垃圾現況；右圖為烏溪出海口塑膠垃圾現況

- (5) 綜上所述，海砂(土)的微塑膠含量影響變因有二種：第一種為當地海水帶來沉積或人為造成的微塑膠量多少；第二種為海砂(土)對養份及微塑膠的吸附力強弱。二者相互影響，例如：若帶來的沉積量多，但吸附力差，會使實驗檢測出的數值比預估值少；是以海砂（土）檢測出來的數值為二種變因互相影響下的結果。
- (6) 由研究發現海砂(土)的污染具累積性，而黏土含量愈多，易將微塑膠累積。不禁讓我們想到，現今農業耕作多是黏土或黏質壤土含量較多，如此原理概念應用到農地上，也許現今農地已經出現微塑膠污染?此假設留待日後，我們追加實驗方可得知結論。
- (7) 海砂(土)的每公斤所含微塑膠克數變化，在月份中找不到一致性，我們討論後覺得應和每次採集的取樣點差異性大有關，就是砂土的微塑膠分布不均所致。此部份結果也會作為日後改良實驗的依據。日後再進行採集海砂（土）實驗，會將採集點及採集量再增多。

3. 養殖牡蠣定量結果

表12 彰化不同區域每公斤養殖牡蠣在不同月份所檢得微塑膠克數

縣市	地點	9月	10月	11月	12月	1月	平均
彰化	王功	1.388	0.744	0.042	1.222	1.322	0.944
彰化	漢寶	1.250	0.863	0.066	1.257	1.311	0.949
彰化	伸港	0.795	0.490	0.012	0.758	0.799	0.571

- 註：1. 實驗用牡蠣為產地現買完整帶殼的牡蠣1公斤左右，買回後實驗室剝殼秤溼重。
2. 微塑膠比的計算公式 = (吸取測得的微塑膠重 ÷ 剝殼後的牡蠣溼重) × 1000

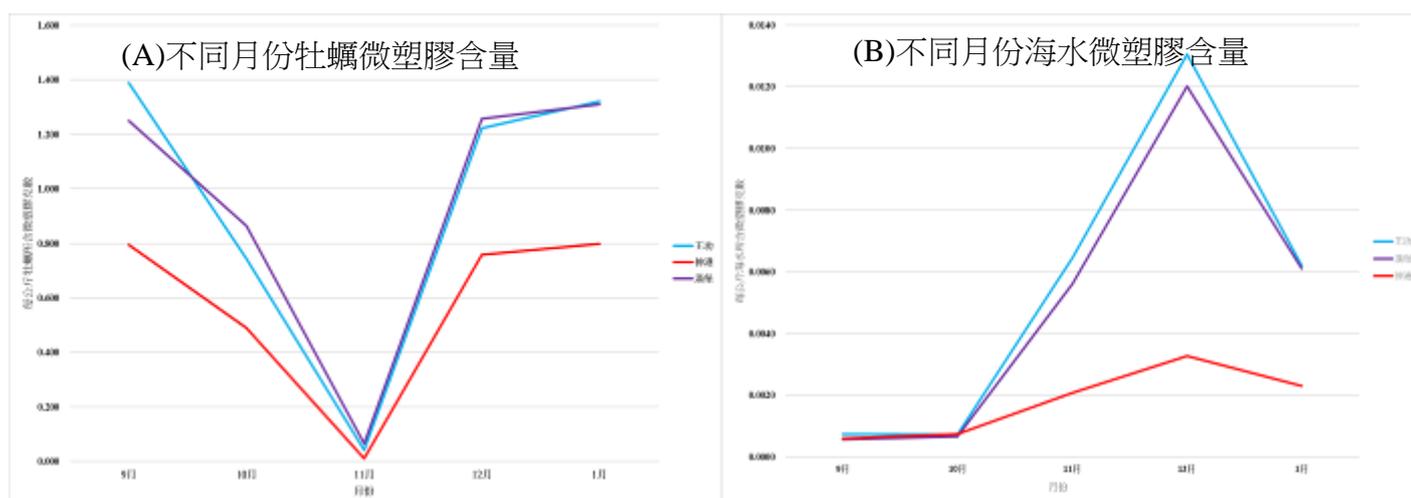


圖27 王功(藍線)、漢寶(紫線)及伸港(紅線)在109年9月~110年1月牡蠣(A)及海水(B)微塑膠含量

結果討論

(1) 月份方面：

A. 彰化三地牡蠣體內微塑膠含量變化皆為9月>1月≈12月>10月>9月(表12)，有其一致性。

B. 我們回查實驗日誌後發現，其體內微塑膠含量的變化趨勢，和當月的牡蠣大小有關。9月去產地買牡蠣時間點在中秋節前，那時買到的牡蠣剝殼時粒徑多數都很大。實驗結果得出的微塑膠含量比也是最多；10月去產地買牡蠣時，牡蠣的粒徑大小開始不一，且有變小趨勢，而實驗測得的微塑膠含量也變少；到了11月去產地買牡蠣時，甚至遇到牡蠣農表示不願賣帶殼牡蠣給我們，原因是大多數牡蠣的粒徑十分小，經剝殼後發現，很多牡蠣殼內的牡蠣都只有一點點，有的甚至是空的，所以當月實驗出來的微塑膠含量數值也小。因為牡蠣在海水中生長時間愈久，透過濾食海水來攝取有機質愈多，其粒徑就會愈大。當然在濾食的同時，也會攝食入微塑膠。是以粒徑愈大的牡蠣，體內所含微塑膠量會較多。

C. 不同月份檢測每公斤牡蠣，所含微塑膠克數的數值大小變化趨勢，和牡蠣生長趨勢有正相關(表12及圖27-A)。

(2) 單看每個月牡蠣的體內微塑膠含量比的大小順序都是王功≈漢寶>伸港。我們發現和海水的微塑膠含量比成正相關。即牡蠣在海水生長環境所含的微塑膠含量愈多，其經由濾食攝入的微塑膠含量也會愈多(表13及圖27-B)。

(3) 綜合上述(1)及(2)的因素，我們推論，影響牡蠣體內微塑膠含量的多少有二大變因：一為海水的微塑膠含量；二為牡蠣的粒徑大小（即成長期長短）。海水微塑膠含量多及牡蠣粒徑大，對測得每公斤牡蠣所含微塑膠克數都有正相關。

表13 採集牡蠣的每月尺寸對照表

月份	9月	10月	11月	12月	1月
牡蠣的大小					

4. 養殖文蛤定量結果

表14 彰化不同區域每公斤養殖文蛤在不同月份所含微塑膠克數

	9月	10月	11月	12月	1月	平均
王功	0.2372	0.5517	0.7626	0.6608	0.3352	0.5095
漢堡	0.1399	0.3351	0.4553	0.6455	0.5544	0.4260
伸港	0.3231	0.5923	0.4289	0.5428	0.4353	0.4645

註：1. 實驗用文蛤為產地現買完整帶殼的文蛤約1公斤 W_1 ，買回後實驗室以雙氧水浸泡到肉完全溶解後，將文蛤殼拿出後秤重 W_2 ，實驗用文蛤實重為 $W_3 = W_2 - W_1$ 。

2. 微塑膠比的計算公式 = (吸取測得的微塑膠重 ÷ W_3) × 1000

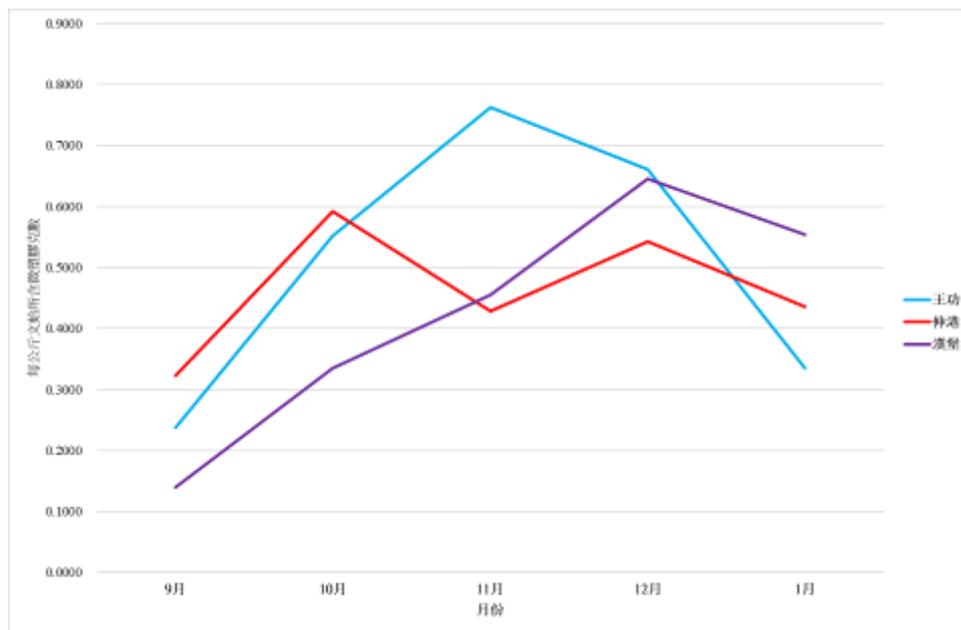


圖28 王功(藍線).漢堡(紫線)及伸港(紅線)在109年9月~110年1月的每公斤文蛤所含微塑膠克數

結果討論

(1) 從表14及圖28中發現，文蛤實驗測得的微塑膠含量比較看不出一致的趨勢，可能和文蛤在養殖池養殖有關。其微塑膠含量的變化，和養殖業者的養殖方式有關。因此，造成微塑膠含量較無一致性趨勢。此實驗結果也給了我們一個想法，未來會微調文蛤的取得方式，如我們可以直接到沙灘地上挖取文蛤，或是找固定養殖業者買，且同步會採樣養殖池的水，檢測微塑膠的含量，與文蛤體內微塑膠含量來做多重比對，以期使本實驗能更加完善。

5. 綜合比較

表15 中部不同區域不同採集樣品每公斤所含微塑膠克重

縣市	地點	海水	海砂(土)	文蛤	牡蠣
彰化	王功	0.005	0.055	0.509	0.944
彰化	漢堡	0.005	0.041	0.426	0.949
彰化	伸港	0.002	0.160	0.464	0.571
台中	烏溪	0.002	0.133	/	
台中	梧棲外港	0.006	0.219		
台中	高美	0.003	0.036		
台中	梧棲內港	0.001			

註：數值為109年9月~110年1月的平均值

結果討論

- (1) 不同採集品，其微塑膠含量比多少順序皆為牡蠣>文蛤>海砂(土)>海水(表15)。
- (2) 我們發現，採集到的微塑膠含量比率大的地區，其採集的其他品項—海砂(土)、文蛤及牡蠣，其內所含的微塑膠含量比也會較其他地區的量，有其一致的正相關性。

三、依實驗結果及微塑膠的特性，設計出可行的減少微塑膠的方法

(一) 吐砂實驗

表16 文蛤吐砂及不吐砂體內微塑膠含量表

	一	二	三
不吐砂文蛤	0.6408	0.5328	0.6455
吐砂文蛤	0.5805	0.4772	0.5754
吐砂文蛤水	0.0571	0.0593	0.0560
減少%	8.96	11.05	8.87

註：1. 數據為每公斤文蛤所含微塑膠克數

2. 減少%=[吐砂水中微塑膠含量比÷(吐砂水中微塑膠含量比+吐砂文蛤微塑膠含量比)]×100%

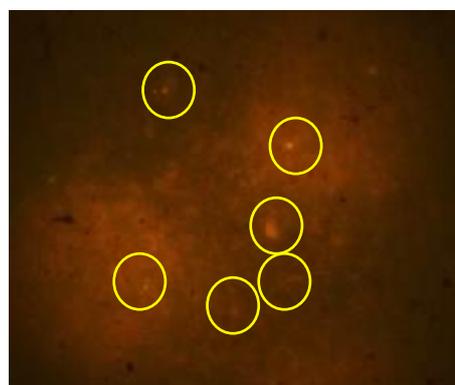


圖 29 文蛤吐砂的水溶液經螢光染色後的螢光顯微鏡圖(黃圈處為微塑膠)

結果討論

1. 為了減少海邊養殖生物的微塑膠汙染及人類因食物鏈而攝食，我們討論後想以文蛤濾食性的特性，採用主婦常採用的方式：在文蛤食用前先以鹽水吐砂，所以我們進行了文蛤吐砂實驗。我們同一組的文蛤均分成二份，一份文蛤不吐砂直接進行實驗，一份文蛤以鹽巴跟水15公克比500c.c 的比例，將其浸泡吐砂二小時後，將吐砂的水及吐砂完後的文蛤分別前置處理完後，進行尼羅紅染色，以螢光染色法吸取微塑膠秤重。

2. 由表16的結果看出，吐砂的文蛤，大約可以吐出體內9%~11%的微塑膠。且可由圖29的螢光顯微鏡圖看出，吐砂水中的微塑膠大多為微小細粒，也有纖維長絲的塑膠纖維。

(二) 密度及親油性設計實驗

表17 不同模擬塑膠材質在不同溶液的去除率

不同模擬材質	不同溶液去除率			模擬材質的密度 g/cm^3 [11]	模擬材質圖示
	模擬材質置入不同溶液中吸取上層的去除率%				
	純水	9%鹽水	加入 50ml 的沙拉油於 60ml 的水中		
PVC 粉	10.67	68.35	100.00	1.35~1.45	
PS	64.45	99.41	100.00	0.98~1.06	
PC	6.08	26.64	100.00	1.2	
PET	6.40	34.89	100.00	1.38	
PP	95.10	100.00	100.00	0.855~0.946	
PE 剪膜	91.61	100.00	100.00	0.88~0.96	
PE 粉	98.00	100.00	100.00	0.88~0.96	

註：去除率=溶液上層微塑膠重/全部微塑膠重 $\times 100\%$

結果討論

1. 本實驗設計的目的，主要在利用塑膠物質的密度普遍都在 1 g/cm^3 左右，所以我們想先以燒杯模擬自然界的靜水域，了解看看如果只針對上層（約 $1/3$ ）的水吸取，微塑膠可吸除多少?!
2. 在純水中吸取上層的溶液，實測微塑膠去除率的實驗，其結果我們發現，針對密度小於 1 g/cm^3 的塑膠（如 PE、PP 等），對微塑膠去除率都可達到 90% 以上。而密度在 1 g/cm^3 左右的塑膠（如 PS），也有約 60% 左右的去除率。然則對於密度 1.2 g/cm^3 以上的塑膠（如 PVC、PC 及 PET 等），去除率只有 10% 甚至更少。因此，如何提高去除率，成為首要課題。
3. 另外比對 PE 粉及 PE 剪膜在蒸餾水中的去除率，可以發現 PE 為粉狀時，去除率較佳，此原因應為 PE 為粉狀時，其表面張力較不易破壞，故漂浮在水面上的粒子較多；由此可推知，粒徑較小的微塑膠，較易漂浮在水面上，如在大海中，將更易隨波逐流到很遠的地方。

4. 我們設計鹽水實驗的目地在於將溶液的密度提高，達到提高微塑膠去除率的效果。由實驗結果可以發現，將溶液密度提高可有效提高去除率（表17及圖30）。而依此原理概念，也應用在吸取微塑膠的實驗步驟上，我們在以尼羅紅指示劑染色前，會將欲染色吸取微塑膠的溶液先加入食鹽，使之溶液密度增加，讓微塑膠集中在溶液上層，方便之後的吸取及搜尋。
5. 我們設計加食用油之實驗目的在於利用塑膠的親油性，利用油去包覆及拉引塑膠，提高去除率，而由實驗結果發現，塑膠幾乎都被食用油包覆住，去除率可達100%(表17及圖31)。



圖30 左杯為鹽水，右杯為純水，可清楚看出左杯上層的塑膠微粒較多



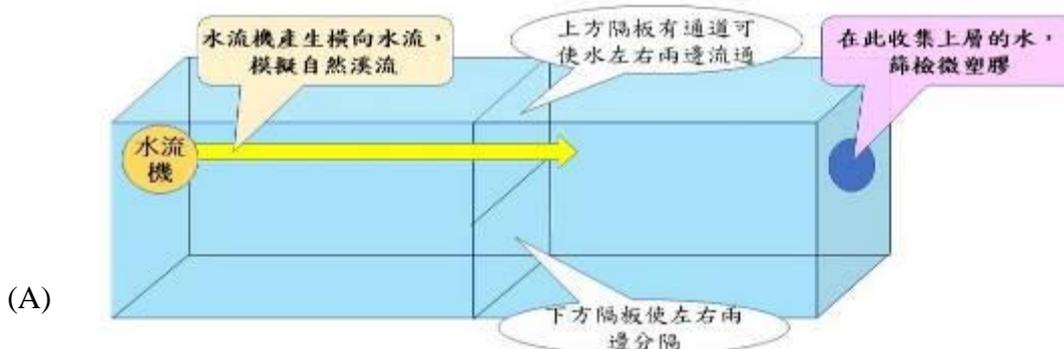
圖 31 加入食用油後，可以明顯看出微塑膠被包覆在油層

(三) 流動水域模擬實驗

表18 不同塑膠材質在不同流動水域模擬實驗結果

模擬材質	PS		PC		PP	
	純水流	向上打泡+水流帶動	純水流	向上打泡+水流帶動	純水流	向上打泡+水流帶動
流動水域模擬情況	純水流	向上打泡+水流帶動	純水流	向上打泡+水流帶動	純水流	向上打泡+水流帶動
去除率%	40.91	52.01	3.02	18.18	75.1	85.7
備註	部分顆粒卡住在邊緣無法流動		卡住顆粒數較少		部分顆粒卡住在邊緣無法流動	

註:去除率=(過隔板上層微塑膠重/全部微塑膠重)×100%



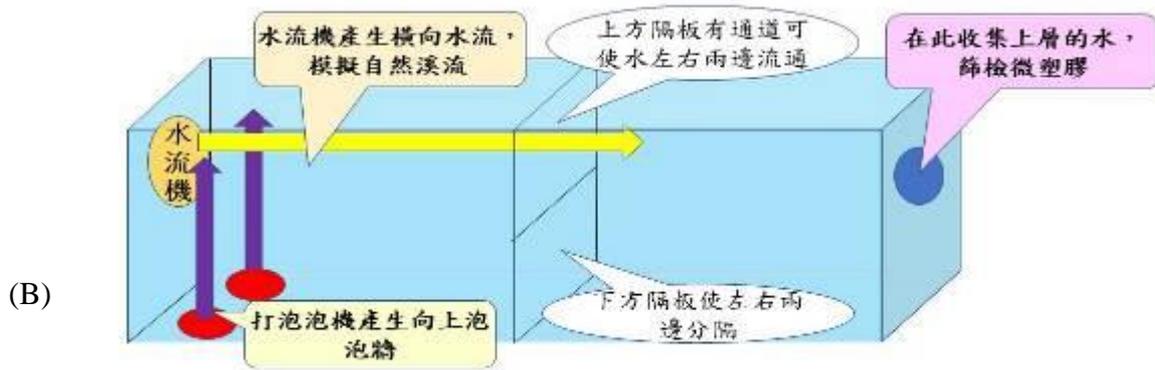


圖32 模擬流動水域圖示(A)純水流;(B)純水流+向上氣泡牆

結果討論

1. 本實驗的設計目的在模擬流動水域，例如溪流，我們想要設計出一個可以應用在自然界溪流的裝置，設想如果可以在河流入海之前，就先行除去一些微塑膠，那麼或許進入海洋的微塑膠可以減少一些。因此，我們想在不使用化學物質的情況下(例如加鹽類改變溶液密度會破壞生態；加入油及磁鐵礦粉也會有後續新增污染物及破壞生態的問題)，單純以水流牽引的物理方式來去除微塑膠。我們以水流機來模擬水流，再以氣泡石打氣產生強力氣泡，形成向上水流，希望能以水流的牽引，將水中的微塑膠隨著向上升的水流，被帶到水面並引導收集到撈除（吸取）區，並將微塑膠去除。(表18及圖32)。
2. 經實驗後發現，加以向上打氣泡的水流，可有效增加微塑膠的去除率。

柒、結論：

- 一、成功自製螢光顯微鏡的設備，來取代昂貴的螢光顯微鏡，以使微塑膠的螢光檢測得以平民及普及化。
- 二、中部地區微塑膠採樣結論：
 - (一) 定性方面結論：
 1. 由 FTIR 光譜結果發現採集測得的微塑膠種類不因月份不同而有太大差異。
 2. 中部地點採集的海水、海砂(土)、牡蠣及文蛤，其內所含的微塑膠類幾乎都有 PE(聚乙烯)及 Nylon(尼龍)。此研究結果可以給政府及養殖業者參考，如考慮使用天然的材質來當綁牡蠣的殼。

3. 部份區域因人類活動頻繁及汙染較嚴重，測出 PC、PP 及 PET。

(二) 定量方面結論：

1. 海水微塑膠定量：

(1) 季節及月份方面：11月~1月海水的微塑膠含量值最高。影響變因為海流流向及海風方向。

(2) 地點方面：台中地區—梧棲外港>高美溼地~烏溪出海口>梧棲內港；彰化地區—王功~漢寶>伸港。影響變因為地形及人類活動的頻繁程度。地形變因可以給養殖業者參考，選擇似內海或內縮環境養殖來阻擋微塑膠汙染。

2. 海砂（土）微塑膠定量：

(1) 月份方面：較無一致性，因海砂(土)土中的微塑膠分佈不均所致。

(2) 地點方面：每公斤海砂(土)所含的微塑膠克數的影響變因有二：一為當地海水帶來沉積或人為造成的微塑膠量的多少；二為海砂(土) 對養份及微塑膠的吸附力強弱。

3. 牡蠣微塑膠定量：

(1) 月份方面：彰化三地牡蠣體內的微塑膠含量變化皆為9月>1月~12月>10月>9月。變因應和牡蠣生長趨勢有關。

(2) 地點方面：單看每個月牡蠣的體內微塑膠含量比的大小順序都是王功~漢寶>伸港。和海水的微塑膠含量比成正相關。

4. 文蛤微塑膠定量：文蛤實驗測得的微塑膠含量比較看不出一致趨勢，可能和其為養殖池養殖方式不同有關。

5. 總結：不同採集品，其微塑膠含量比多少順序為牡蠣>文蛤>海砂(土)>海水；每公斤海水所含微塑膠克數大的地區，其採集的其他品項—海砂(土)、文蛤及牡蠣，其內所含的微塑膠含量比也會較其他地區的量，有其一致性。

三、文蛤在食用前，先以鹽水吐砂後，大約可以減少9%~11%的微塑膠。

四、利用塑膠的親油性，以油去包覆及拉引塑膠原理，可以在用餐前，將油層先行撈除，可有效去除食物中的微塑膠。

五、在海水中，只要針對上層的海水進行撈除，即可有效去除。

六、在溪流中，可以製造一個泡泡牆，產生一個向上打氣泡的水流，水中的微塑膠隨著向上升的水流，被帶到水面並引導收集到撈除（吸取）的地方除去。

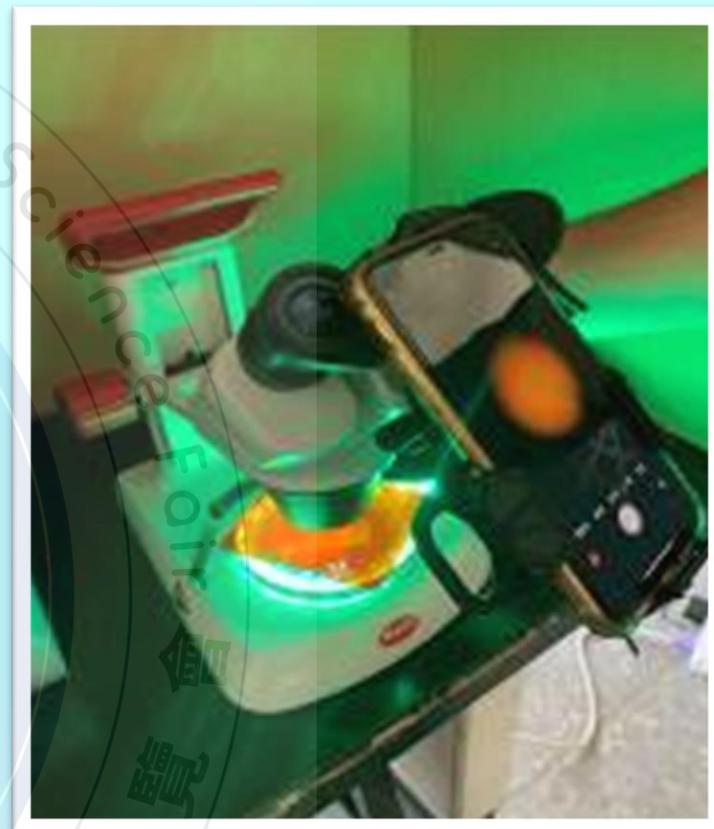
捌、參考文獻及其他：

- 一、鄒敏惠（民 107）。首次！奧地利研究從人糞便檢出微塑膠。網址：<https://e-info.org.tw/node/214633>。
- 二、趙大衛等(民 109)。國中自然與生活科技課本第二冊。台南市。翰林。
- 三、Dehaut, A., et al., 2016, Microplastics in seafood: benchmark protocol for their extraction and characterization. *Environmental Pollution*. 215: p. 223-233.
- 四、楊喜男、黃王瑰、陳怡如、李世偉、許令宜、羅仕麟、林榆翔(民 107)。環境保護署環境檢驗所-國內自來水、海水、沙灘砂礫與貝類中微型塑膠之現況調查。台北市。
- 五、國立海洋生物博物館(民 109)。108 年度海龜救傷收容暨微塑膠調查計畫案--臺灣地區沿海牡蠣及潮間帶指標生物之微塑膠生物累積調查研究。屏東縣。
- 六、財團法人黑潮海洋文教基金會(民 107)。臺灣沿海海水表層塑膠微粒初步調查報告。
- 七、財團法人黑潮海洋文教基金會(民 108)。臺灣沿海塑膠微粒四季調查—2019 島航普拉斯計畫成果報告。花蓮縣。
- 八、Thomas Maes, Rebecca Jessop, Nikolaus Wellner, Karsten Haupt & Andrew G. Mayes, 2017. A rapid- screening approach to detect and quantify microplastics based on fluorescent tagging with Nile Red. *Scientific Reports* 2017; 7: 44501.
- 九、第 60 屆全國中小學科展作品:水吃不吃「塑」?。
- 十、2019 全國科學探究競賽報告:塑不及防。網址：<https://kknews.cc/tech/g298x6e.html>。
- 十一、塑膠材質密度比重。網址:<https://www.ji-horng.com.tw/show/plastic-material-density-specific-gravity.htm>。
- 十二、政府資料開放平臺。網址: <https://data.gov.tw/dataset/>。
- 十三、Googleearth 程式平臺。網址: <https://www.google.com/intl/zh-TW/earth/>。
- 十四、尼羅紅染劑資料 <http://www.maokangbio.com/productView.action?id=7989>
- 十五、A rapid-screening approach to detect and quantify microplastics based on fluorescent tagging with Nile Red, Thomas Maes, Rebecca Jessop, Nikolaus Wellner, Karsten Haupt & Andrew G. Mayes, 16 March 2017.
- 十六、國家地理雜誌。什麼是微塑膠？海洋垃圾帶？你不能不懂的塑膠污染知識。JUN.01 2018。

【評語】 030205

在本實驗中，同學們研究一個現今最熱門的環境議題，並且融合在地的需求。用牡蠣及文蛤微塑膠定量及定性研究，以自製可普及化的螢光顯微鏡實驗設備探找可去除微塑膠的方法，雖然尼羅紅染色後及顯微鏡方法均都屬於已知方向，實驗以綠色 LED 燈輔以橘紅色的濾光片可提昇其辨試度，同學研究的精細度可以再提升，但熱情值得鼓勵。

作品簡報



見微知塑

一、動機及目的

見微知塑

實驗檢測
作法改造及確定

中部海岸樣品
採集檢測微塑膠

設計可行的去除
微塑膠的方法

應用

改造

確定

生物
特性

塑膠
物理
特性

自然
水域
模擬

自製設備取代
螢光顯微鏡

定性

定量

文蛤
吐砂

親
油性

密
度

靜
水

流
動

最佳條件組
合找尋比較

螢光顯微鏡
交叉對比

FTIR

螢光顯
微鏡

圖1 本研究見微知塑研究架構圖

二、研究方法:

(一) 自製設備配合螢光染色法以取代昂貴螢光顯微鏡

查文獻資料

- 查詢尼羅紅染色法實驗作法
- 查詢尼羅紅試劑螢光激發波長

決定取代螢光顯微鏡儀器模式

- 由文獻資料找出激發光波長對應的LED光
- 激發後放出的光為濾光片的顏色
- 以解剖顯微鏡輔以觀察

實驗條件最佳化

- 文獻資料找到二組數據(藍光激發放黃光)及(綠光激發放橘紅光)
- 交叉比對, 找出最佳配對

自製儀器與螢光顯微鏡實驗比對並修正

- 解剖顯微鏡觀察較不方便 ◀ 修正為外接手機觀察
- 採集螢光顆粒太費時 ◀ 實驗手法改成先肉眼將大部份螢光顆粒採集, 小顆粒再以螢光顯微鏡輔以手機來採集

(二) 採樣及採檢微塑膠

中部七個地點採集樣本-海水、海砂、文蛤及牡蠣

進行實驗處理雜質並採檢微塑膠

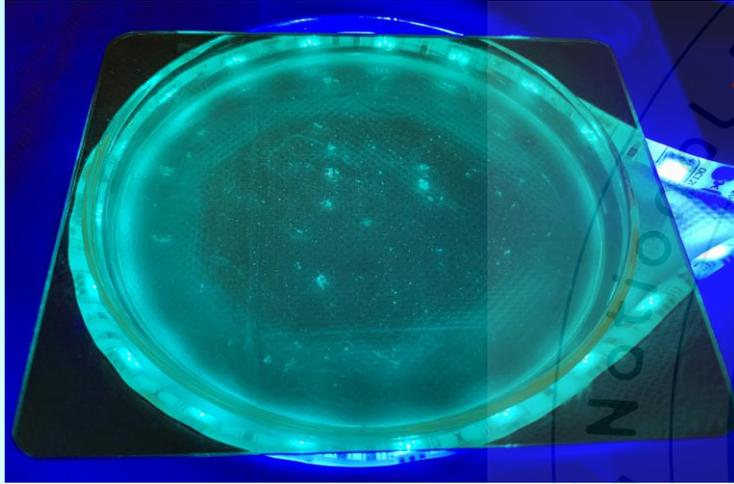
定性定量分析

(三) 設計出可行的減少微塑膠的流程與方法(前一頁)

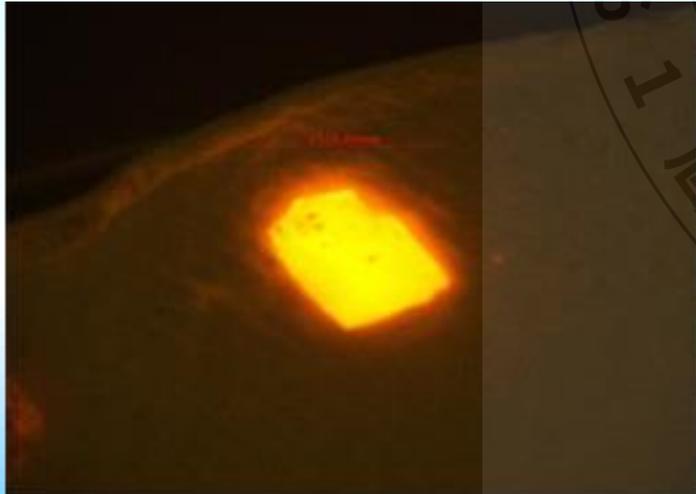
三、研究結果與討論

結果一：以自製設備配合螢光染色法以取代昂貴螢光顯微鏡

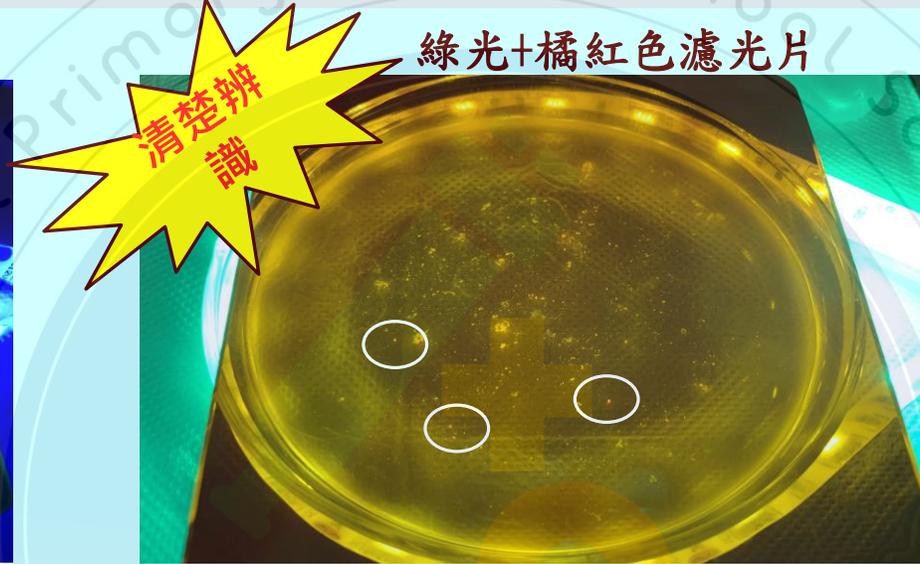
藍光+黃色濾光片



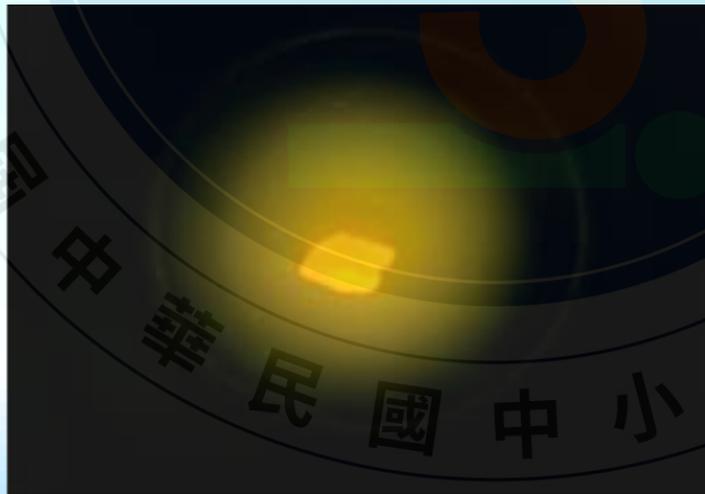
螢光顯微鏡畫面



綠光+橘紅色濾光片



自製設備畫面

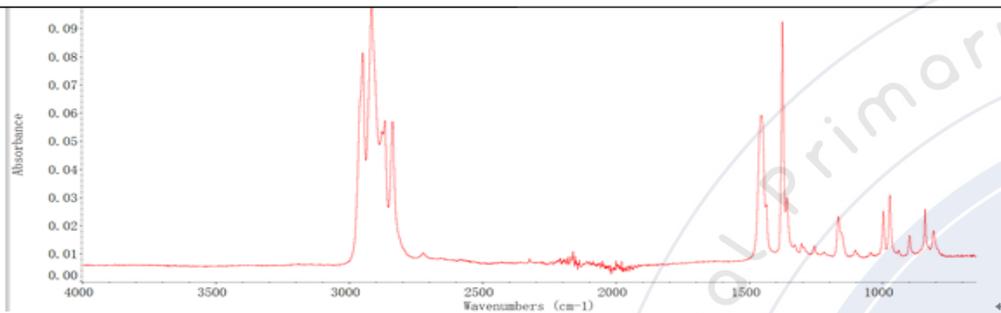


1. 交叉比對找出自製設備的最佳組合-**綠光+橘紅色濾光片**
2. 以自製設備比對螢光顯微鏡的畫面，在肉眼及顯微鏡下**皆清晰可標定**
3. 實際實驗結果，兩者誤差值皆2%左右，自製設備比對螢光顯微鏡誤差值小

	螢光顯微鏡	自製實驗設備
誤差率	1.61%	2.41%

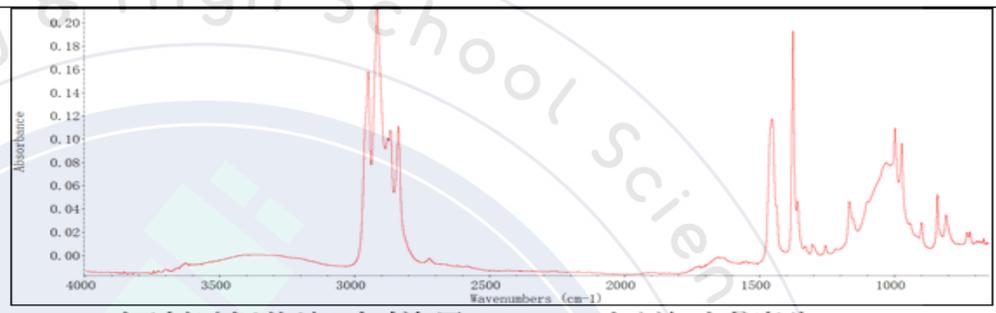
結果二：採集地點樣品微塑膠種類分析（定性）

標準品的 FTIR 光譜

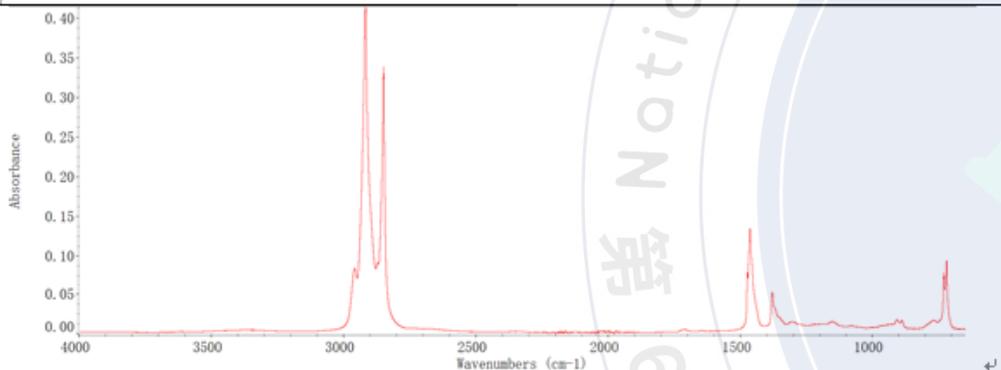


PP 標準品的 FTIR 光譜

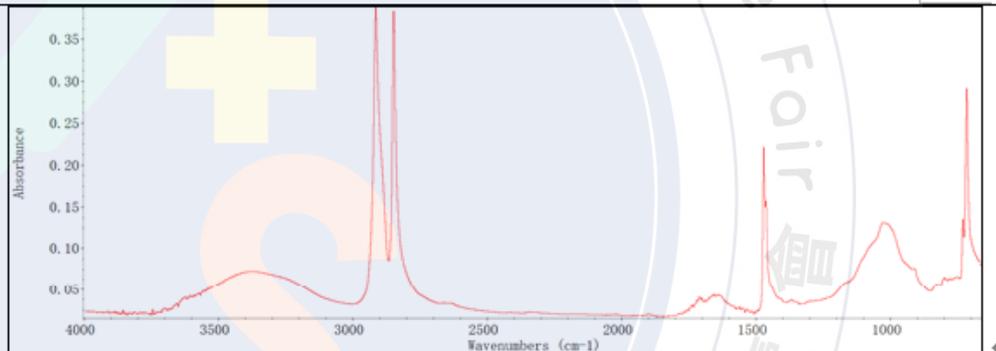
採集樣品的 FTIR 光譜



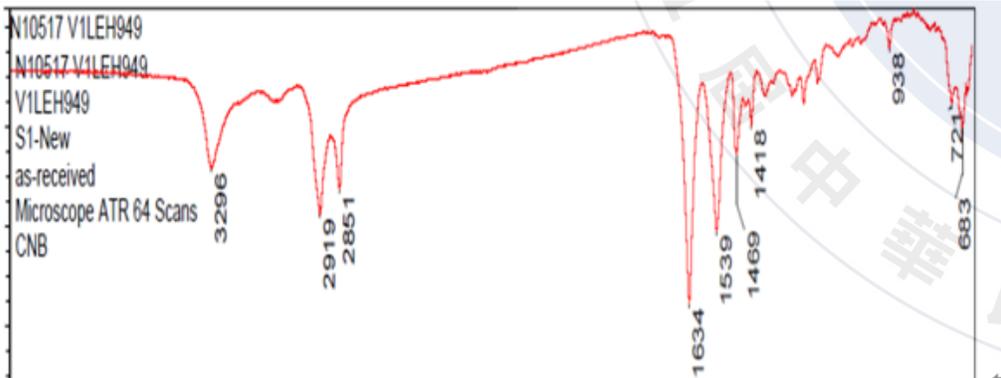
梧棲外港海水樣品 FTIR 光譜-判讀為 PP



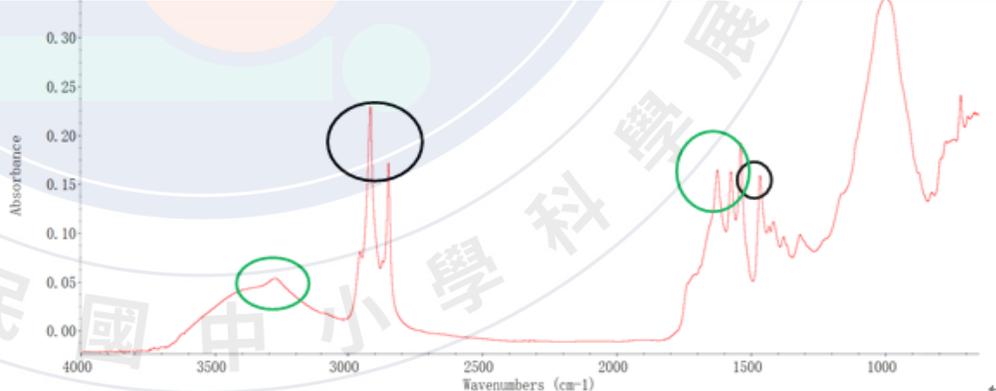
PE 標準品的 FTIR 光譜



梧棲外港海水樣品 FTIR 光譜-判讀為 PE



Nylon 的 FTIR 光譜*(此為網路圖資)

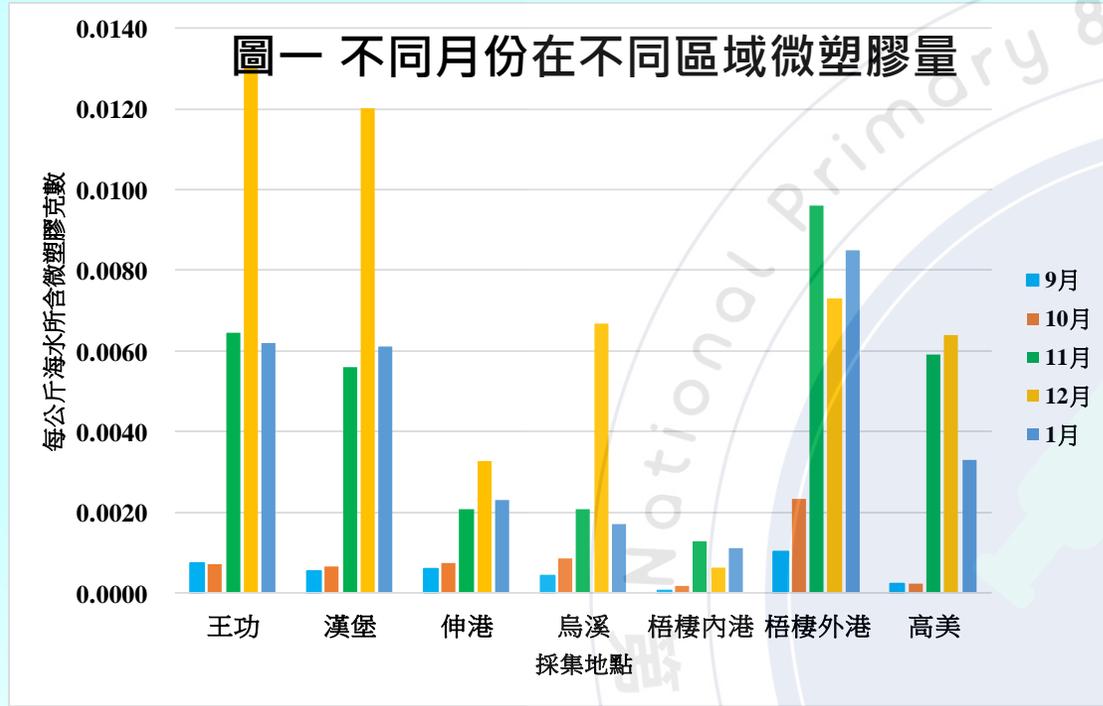


伸港文蛤 FTIR 光譜-判讀為 PE(黑圈)及 Nylon(綠圈)

1. 實驗採集樣品的光譜特殊峰去**交互比對**標準品的 FTIR 光譜-結果發現各地微塑膠種類都有**PE及尼龍**。

2. 可作為養殖業及政府建議，如限塑政策及養殖蚵農可選擇較無污染的綁蚵線。

結果三：海水在不同月份及不同地點的微塑膠定量分析

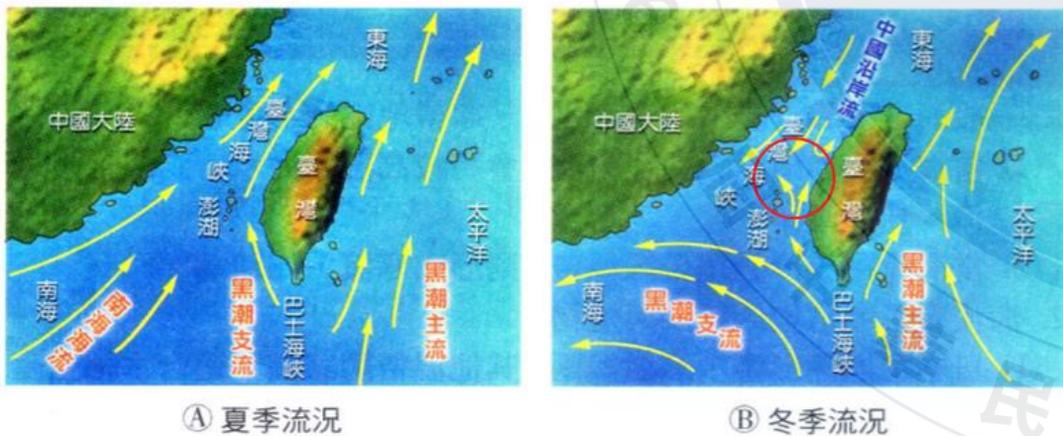


圖三 梧棲內外港(左)及伸港的高空影像圖

1. 實驗採集結果，發現在不同地點，其月份變化有一致性，皆**12月最多**，其次為1月及11月;推估原因為(1)11月.12月及1月海流匯集在中部區域(圖二) (2)12月的**風速**最大;集合上述二點，知道**海流**將微塑膠匯集在中部區域，而風將外海塑膠吹向內海。

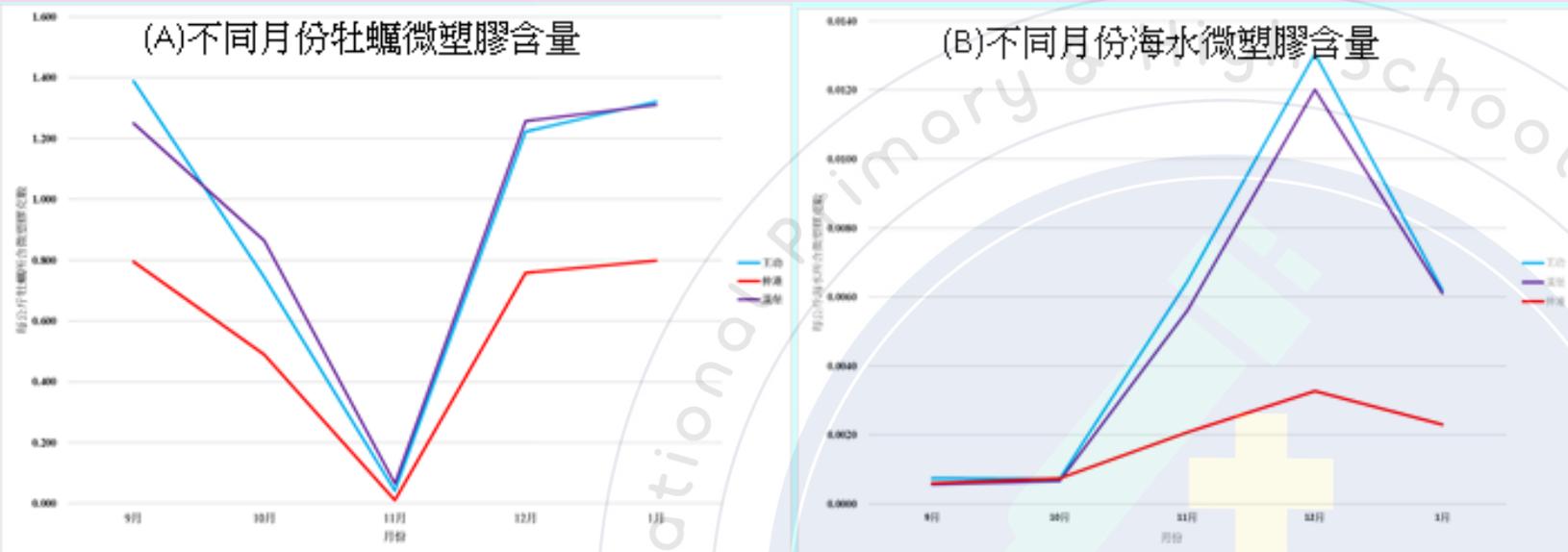
2. 同月份不同區域發現，和人為因素及地形有關。
3. 如果地形類似內港或內縮(圖三)**地形**，微塑膠易被擋在外港或外圍區域。

4. 可給政府及養殖業參考，養殖地點的選擇或建造要減少人為遊樂及製造垃圾，地形**應內縮或內港較好**。

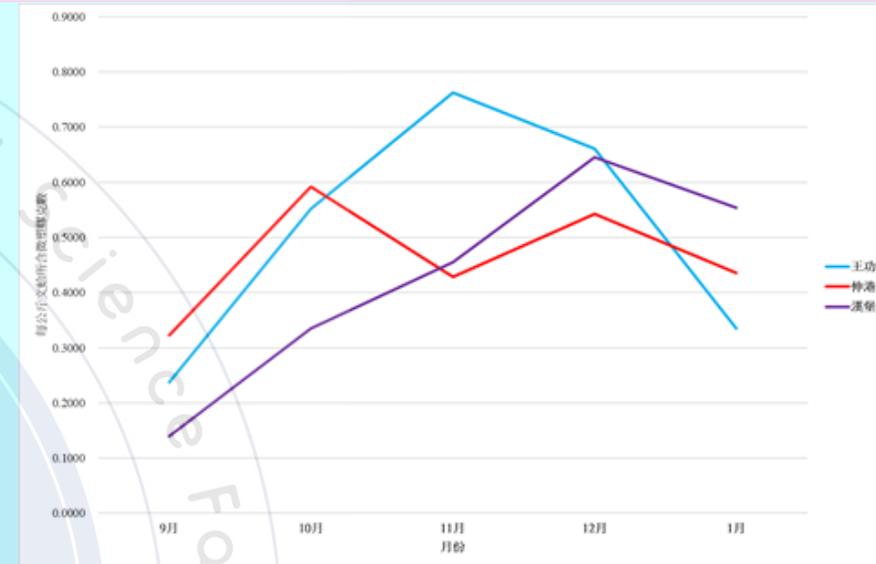


圖二 不同季節海流圖

結果三：文蛤及牡蠣在不同月份及不同地點的微塑膠定量分析



圖四 牡蠣在不同地點，不同月份的微塑膠變化圖



圖五 文蛤在不同地點，不同月份的微塑膠變化圖

1. 圖(四)(A)發現牡蠣體內微塑膠含量，在不同地點所測出的月份變化趨勢相同。應和海水微塑膠含量 (圖四-B) 有關以及牡蠣成長大小有正相關。
12月海水污染多，牡蠣大小適中，故二因素加成後牡蠣體內測得微塑膠量大。
11月牡蠣個頭最小，即使海水污染不算小，但吸收少，故測得少。
9月雖然海水微塑膠少，但牡蠣個頭大，代表吸收了多月的微塑膠，故測得微塑膠也量大。
2. 同一月份，不同地點的牡蠣微塑膠含量，和海水微塑膠有正相關。如伸港海水微塑膠量較少，養殖出來的牡蠣微塑膠含量也少。

1. 圖五文蛤實驗結果不像牡蠣一樣，找不到相關性及一致性。
2. 推估應和養殖業者採用的方法不同及環境有關。

結果三：海砂在不同月份及不同地點的微塑膠定量分析及綜合比較

表(一) 不同地點 土壤性質及微塑膠克數表

地點	性質	土壤物質 吸附率	平均每公斤所含 微塑膠克數
王功	坩質壤土	中	0.0548
漢寶	坩質壤土	中	0.0407
伸港	砂土	弱	0.0393
烏溪	砂土	弱	0.1333
梧棲外港	砂土	弱	0.2189
高美	黏土	強	0.0365

表(二) 不同地點不同採樣品的微塑膠克數表

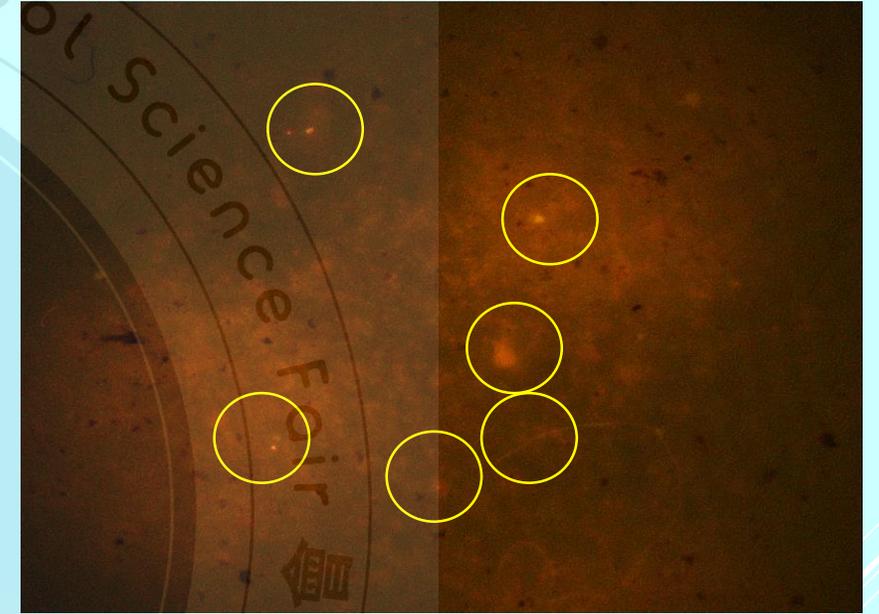
縣市	地點	海水	海砂(土)	文蛤	牡蠣
彰化	王功	0.005	0.055	0.509	0.944
彰化	漢堡	0.005	0.041	0.426	0.949
彰化	伸港	0.002	0.160	0.464	0.571
台中	烏溪	0.002	0.133		
台中	梧棲外港	0.006	0.219		
台中	高美	0.003	0.036		
台中	梧棲內港	0.001			

1. 表(一)顯示，土壤中微塑膠的含量和**當地汙染**及土壤**物質吸附率**有關。
2. 高美溼地屬黏土，吸附力佳，故微塑膠含量為海水的十倍，然因其環境汙染較少，故微塑膠仍少。
3. 王功及漢寶為坩質壤土，吸附力沒有黏土佳，然則，實驗出來的微塑膠含量仍較高美溼地高約1.2~1.5倍，可見其原始汙染值應更高。
4. 伸港、烏溪及梧棲外港為砂土，吸附力最差，但烏溪及梧棲外港測出來的微塑膠含量，卻是中部六個採集地點中最多的，可見其人為汙染最多。

1. 微塑膠含量比：**牡蠣 > 文蛤 > 海砂(土) > 海水**
2. 牡蠣因內油脂含量較文蛤多，親油性關係，微塑膠含量也較文蛤多。
3. 生物及海砂(土)都具累積性，故都較海水多
4. 人為活動多的地方，汙染也較多。

結果四：依實驗結果及微塑膠特性，設計減少微塑膠方法

吐砂實驗	一	二	三
不吐砂文蛤	0.6408	0.5328	0.6455
吐砂文蛤	0.5805	0.4772	0.5754
吐砂文蛤水	0.0571	0.0593	0.0560
減少%	8.96%	11.05%	8.87%



文蛤吐砂水溶液經螢光染色後
螢光顯微鏡圖(黃圈為微塑膠)

1. 吐砂可減**1成**微塑膠，類型為**微塑膠粒**及**部份塑膠纖維**
2. 未來打算進一步探討最佳條件(鹽及水比例及吐砂時間)

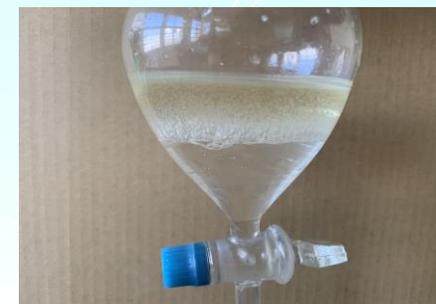
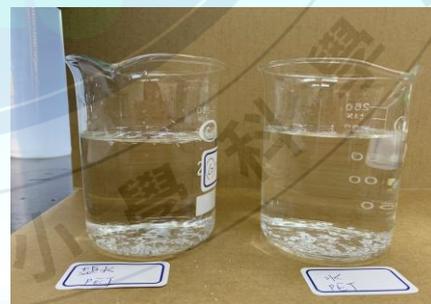
結果四：依實驗結果及微塑膠特性，設計減少微塑膠方法

密度設計	上層模擬微塑膠去除率%		微塑膠密度
	純水	9%鹽水	
PVC粉	10.7%	68.4%	1.35~1.45
PS	64.5%	99.4%	0.98~1.06
PC	6.1%	26.6%	1.2
PET	6.4%	34.9%	1.38
PP	95.1%	100%	0.85~0.95
PE剪膜	91.6%	100%	0.88~0.96
PE粉	98.0%	100%	0.88~0.96

親油性設計	上層模擬微塑膠去除率		微塑膠密度
	純水	加入50ml的沙拉油於60ml的水中	
PVC粉	10.7%	100%	1.35~1.45
PS	64.5%	100%	0.98~1.06
PC	6.1%	100%	1.2
PET	6.4%	100%	1.38
PP	95.1%	100%	0.85~0.95
PE剪膜	91.6%	100%	0.88~0.96
PE粉	98.0%	100%	0.88~0.96

1. 微塑膠密度愈小，愈易浮在水上，也愈易隨波逐流。純水組可作為對照組及靜水域狀況。
2. 增加溶液密度，可增加去除率。
3. 相同物質，不同形狀（比較PE剪膜及PE粉），發現顆粒愈小，其去除率愈高。同樣狀況，也在PVC粉、PC顆粒和PET碎粒中可看出，雖然密度皆大於1，但是因為PVC粉末顆粒最小，反而去除率最大。

1. 因為微塑膠的親油性，故油:水約1:1的比例，油層可100%吸引微塑膠而去除。



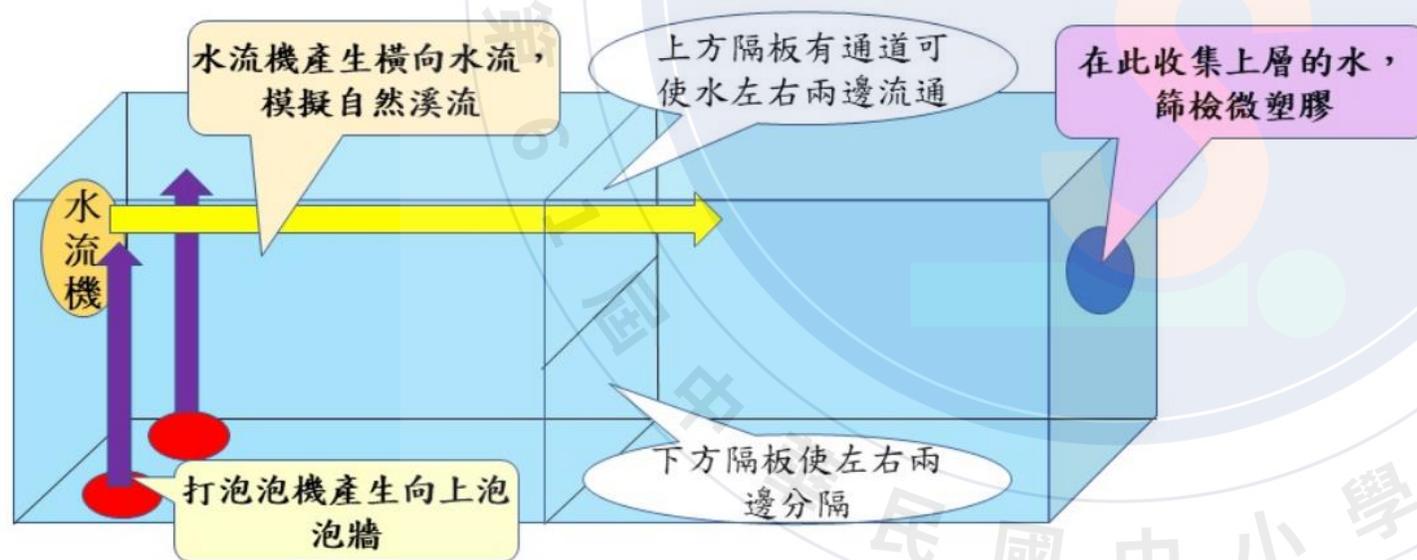
結果四：依實驗結果及微塑膠特性，設計減少微塑膠方法

流動水域模擬實驗

模擬材質	PS		PC		PP	
流動水域模擬情況	純水流	向上打泡+水流帶動	純水流	向上打泡+水流帶動	純水流	向上打泡+水流帶動
去除率%	40.9%	52.0%	3.0%	18.2%	75.1%	85.7%

1. 純水流模擬自然溪流狀況，發現密度小於1 (PP)的物質，上層水可收集去除達七成以上；而1左右(PS)的物質，可去除四成，但密度1.2(PC)的物質則去除率十分不佳。

2. 增加向上打氣泡水流，產生向上氣泡層，可產生氣泡浮力，增加去除率達一成以上。



四、結論

1. 成功設計出取代螢光顯微鏡設備。
2. 檢測微塑膠種類以PE及Nylon為主—給政府減塑及養殖業建議。
3. 分析影響海水微塑膠含量因素—海流、風及地形因素；給養殖業參考—地形因素。
4. 軟體生物及海砂（土）汙染具累積性。
5. 食用去除建議：
 - (1)文蛤以鹽水吐砂可減少微塑膠。
 - (2)用餐時將油層撈除可去除微塑膠。
6. 自然界去除建議
 - (1)針對海水上層可有效撈除微塑膠。
 - (2)在溪流中製造向上水流泡泡牆，可讓微塑膠引導去除。

五、參考資料

- 1、A rapid-screening approach to detect and quantify microplastics based on fluorescent tagging with Nile Red., et al., 16 March 2017.
- 2、楊喜男等(民107)。環保署環檢所-國內自來水、海水、沙灘砂礫與貝類中微型塑膠之現況調查。
- 3、財團法人黑潮海洋文教基金會(民107)。臺灣沿海海水表層塑膠微粒初步調查報告。