

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組 地球與行星科學科

第一名

051903

正本「塑」源-探討河川塑膠微粒

學校名稱：屏榮學校財團法人屏東縣屏榮高級中學

作者： 高二 陳芊仔	指導老師： 謝海永 李天生
-------------------	-----------------------------

關鍵詞： 塑膠微粒、河川、高屏溪

得獎感言

回首來時路，不忘初衷

今年是我踏入科展奇幻世界的第六年，回首來時路，從小五的「非牛頓流體」、小六的「釘釘草皮怎麼了?」、國一「水吃不吃塑?—探討水中塑膠微粒的含量」、國二「塑人之亂-探討萬年溪塑膠微粒及人口數的關係」、高一「地底下的水銀行」，到今年的正本「塑」源-探討河川塑膠微粒，一路走來都圍繞著「地球科學」，很高興今年能將以往的【未來展望】完成，就如同完成一本「科展編年史」。

首先，我要感謝科教館及今年承辦單位台南市政府，特別是在颱風期間，每天加開緊急應變會議，會場的工作人員即使面對風雨依舊堅守崗位。此外，感謝各縣市政府及各區學校幫忙，讓我們能夠公平方式參加線上評審。

再者，我要感謝這六年來默默陪伴的家人們。沒有他們的鼓勵和支持，我無法全心全意放手地去進行那似乎沒有邊際、未知的科學探索，在面對課業和升學壓力的同時，他們適時的支持讓我得以專注於科學研究。

在這段旅程中，特別感謝李天生老師，他帶領我進行與故鄉溪流塑膠微粒有關的研究，並與我一同努力了三年。還有科展啟蒙老師邱韻芝老師。感謝他們的教導，讓我在遇到研究瓶頸時，能夠找到解決方案，尤其是對過往沒有任何專家深究的殺蛇溪、萬年溪及高屏河流域，您們提供的專業提問和建議，讓我能充分準備無論是縣賽、區域、乃至國展，在高張力與強敵環伺的競爭壓力下，能克服緊張應對評審的專業提問，充容面對每道挑戰。

四年前，「塑膠微粒」這一全球議題對我仍然陌生時，謝謝中正國中洪得榮老師的引領，簡秉逸、李天生、張清慧老師的指導和劉瑞富校長的支持，讓我對這議題產生興趣，通過儀器測出溪流中塑膠微粒，並能向官方提供重要數據，來重視海洋塑膠微粒。在此，我也要謝謝屏大附小的自由研究課程，為我奠定科展的基礎，還有屏榮高中的謝海永老師，讓我的研究得以順利進行。

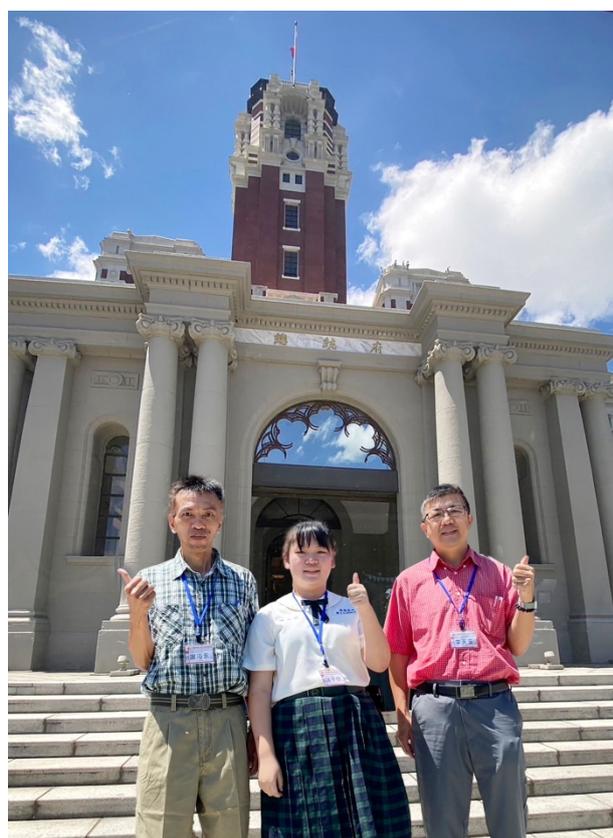
在科展過程中，遇到瓶頸是常有的事，感謝屏東大學、高雄師範大學、中原大學和輔英科技大學，提供良好的實驗室及設備支援，幫助我解決實驗中的問題。還有屏東縣家庭支持協會，默默提供科展場地，讓我們師生擁有舒適的討論空間。

愛因斯坦曾說：「一個人單槍匹馬地取得成功，是非常困難的。要實現偉大的事業，需要其他人的幫助和支持。」謝謝所有在我科展研究路上提供幫助的人。

科展的經歷讓我獲得寶貴的知識和團體合作經驗，我希望未來能夠繼續探索更多科學領域，分享更多發現，保持對科學的熱愛，為科學發展貢獻力量，相信屏東的孩子也有能力克服城鄉差距，走出一片藍天。



全國科展團體合照，感謝老師們的指導



團隊於總統府前再來一張合照

摘要

基於對鄉土的關懷，我們選定高屏溪流域，來研究河川中塑膠微粒的尺寸大小和含量，透過光譜來了解塑膠微粒的材質。高屏溪流域是跨高雄及屏東地區最大的河流，其中含有4個攔河堰。我們共分為枯水期及豐水期來採水，比較不同季節之塑膠微粒類別，若以形狀區分，枯水期塑膠纖維最多佔51%，豐水期塑膠薄膜最多佔39.6%。若以尺寸區分，枯水期100~500 μm 的佔最多約48.1%，豐水期25~100 μm 約佔51.2%。若以材質區分，枯水期含量最多分別是PE(44.5%)及PP(33.3%)，豐水期含量最多分別是PE(53.8%)及PET(17.6%)。若從顏色區分，大多是白色及透明為主要顏色。以上實驗數據可供主管機關列為日後重要監測參考之一，特別是以往本溪流並未曾採樣分析塑膠微粒各種樣態及溯源。

壹、研究動機

根據國際自然保護聯盟（International Union for Conservation of Nature，簡稱 IUCN）的調查報告，微塑膠造成的污染遠超過我們想像。危害海洋的塑膠問題中，家用及工業排放的微塑膠佔 15%-31%，比大型塑膠製品降解分裂後造成的污染更甚。依 IUCN 統計，35% 的微塑膠污染來自合成纖維，也就是說，我們光是洗衣服，就會讓塑膠纖維釋放到自然環境中。單就歐洲和中亞的數據推估，清洗衣服釋出的微塑膠纖維，等同每人每週往海洋丟棄 54 個塑膠袋。國中時期我曾跟老師研究過屏東萬年溪的塑膠微粒量，經過了幾年，我卻很少看到有人研究河川的塑膠微粒，大都是著重於海洋塑膠微粒及海廢的移除。多項研究表明，海洋中 80% 以上的微塑膠來自陸地上的塑膠製品，淡水環境中的微塑膠含量與海洋中相當，甚至更嚴重。且我搜尋論文發現國內很少人研究河川，我看過研究鳳山河、烏溪以及淡水河，至於高屏溪都未有人研究過。所以讓我興起想研究此流域的想法。因為高屏河流域是高屏的生命之河，若能從河流本身研究起，分析高屏溪的塑膠微粒材質、尺寸及種類，嘗試從自己家鄉做起，讓我們的環境更加美好。

貳、研究目的

- 一、探討比較豐枯水期高屏河流域及東港溪塑膠微粒形狀、尺寸的數量
- 二、分析豐枯水期高屏河流域及東港溪之塑膠微粒顏色及材質
- 三、新增里嶺大橋及武洛溪塑膠微粒形狀、尺寸的數量
- 四、利用 R 語言分析豐枯水期高屏河流域及東港溪塑膠微粒
採用聚類分析對形狀、尺寸來進行分類並作圖
- 五、高屏河流域及東港溪之塑膠微粒多樣性指數

參、研究設備及器材

- 一、實驗設備儀器及軟體: 水流抽氣幫浦、震盪培養機、烘箱、磁石攪拌機、離心機、立體顯微鏡(三眼)、正金相顯微鏡、micro-FRIR 光譜儀、持續打氣幫浦
- 二、實驗器材: 不銹鋼採水桶、童軍繩、玻璃瓶數個、無菌濾上杯、玻璃纖維濾紙、小樣品瓶數個、玻璃滴管和橡皮頭、去離子水洗滌瓶、不銹鋼鑷子、鐵勺、47mm 過濾器、25mm 過濾器、離心管數個、載玻片數個及金屬玻片、不銹鋼濾膜
- 三、實驗藥品: 雙氧水、氯化鈉、液態氮、氮氣
- 四、實驗樣本: 18 個河川水樣本

肆、研究過程與方法

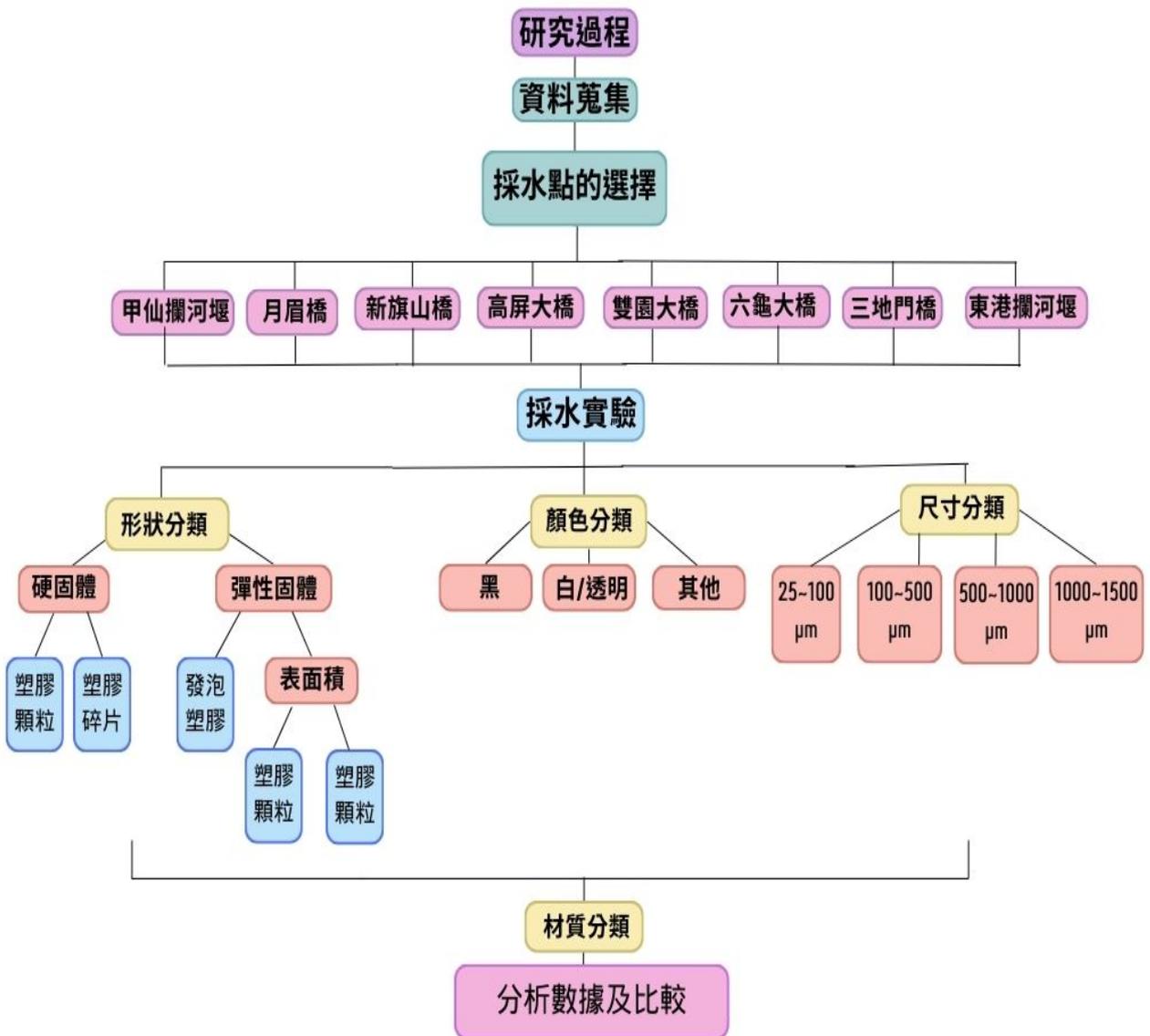


圖 1 實驗流程圖

一、蒐集塑膠微粒資料

【塑膠微粒的定義】：2009 年美國國家海洋暨大氣總署所定義，所謂塑膠微粒（或稱微塑膠）為尺寸小於 5 毫米（mm）之微小塑膠碎片，常見型態有顆粒、碎片、薄片與纖維等。常見的塑膠微粒材質有六種，分別為：聚丙烯（PP）、聚乙烯（PE）、聚對苯二甲酸乙二醇酯（PET）、聚苯乙烯（PS）、聚氯乙烯（PVC），以及俗稱尼龍（PA）。

何謂微塑膠？

微塑膠 (Microplastic)，被廣泛稱為「塑膠微粒」，但不僅限於「顆粒」形式，而是指直徑或長度少於 5 毫米的塊狀、細絲或顆粒的塑膠碎片。它們可以是「原始」，指本身被製造成該體積，例如其他塑膠製品的顆粒原材料；或是「次生」，指因暴露於風、浪和紫外線下而分解或變形的塑膠碎片。微塑膠 (<5 毫米的塑膠) 是近年來最受全球關注的新興污染物之一，由於其普遍存在且在全球環境（包括海洋、淡水、陸地和大氣），以及它們對水生生物造成的危害。環境中的塑膠微粒是指為特定用途而製造的微米級塑膠顆粒，例如用作個人護理和化妝品成分的柔珠。二次塑膠微粒是指大型塑膠經由物理、化學和生物過程分解產生的物質，被認為是造成塑膠微粒污染的重要因素（初級和次級）可以透過不當處置和傾倒、污水外流、城市和雨水徑流、河流系統、海岸線、海洋活動甚至大氣排放而被輸送到海洋環境中。因此，海洋環境被認為是塑膠微粒最終匯聚點。了解河川環境中塑膠微粒的形狀大小、種類非常重要，因為這將影響海洋的塑膠微粒多寡及種類，進而影響水生生物。且污染物沿著食物鏈轉移到更高營養級以及人類消費的海鮮可能造成污染。這種污染對海洋生態系和人類健康將會構成風險。因此，除了了解塑膠微粒在河流中的分佈外，了解與塑膠微粒相關的材質來源也至關重要，以便評估塑膠微粒對河川的影響並製定明智的預防和控管措施。

二、採水點的選擇

高屏溪地理位置

高屏溪原名下淡水溪，發源於中央山脈玉山附近，流經高雄市、屏東縣，於林園區及新園鄉注入台灣海峽，全長 171 公里，流域面積 3,257 平方公里，其主要支流有荖濃溪、旗山溪、隘寮溪、濁口溪、美濃溪，其中以荖濃溪及旗山溪為最大。荖濃溪發源於中央山脈玉山東山東坡與秀姑巒山西南坡，曲折蜿蜒西南行，與旗山溪隔山平行，流經桃源、寶來、土壠、荖濃、六龜至大津納入濁口溪，過竹子門而出谷，入屏東平原。河流分歧成瓣狀西南行，於

磚子地北匯納東來之隘寮溪，後折向西南行，至嶺口與南下之旗山溪相匯而成高屏溪，主支流共跨 27 個鄉市區。高屏溪流域地面水的利用方式，主要是透過興築攔河堰，引水到湖庫或自來水淨水廠。由上游到下游，分別是：甲仙攔河堰、月眉攔河堰、高屏溪攔河堰、東港溪攔河堰。甲仙攔河堰引水到南化水庫、月眉攔河堰引水到阿公店水庫、高屏溪攔河堰引水到澄清湖、鳳山水庫、東港溪攔河堰引水到鳳山水庫。



圖 2 高屏溪流域攔河堰圖

本研究選定採樣點原則，首先是根據上中下游來選擇，並加入攔河堰，看看攔河堰是否會影像，最後加入周遭產業及人類行為來選取採樣點。從旗山溪上游的甲仙攔河堰為起始點，延著旗山溪往下，依序為月眉橋、新旗山橋，再取荖濃溪上游六龜大橋，隘寮溪上游三地門橋，再接高屏溪主流，高屏大橋下、雙園大橋以及東港溪攔河堰。從 2024 年 1 月 24 日(枯水期)至 2024 年 5 月 15 日(豐水期)共採集 18 個河川水樣本。最後再加入里嶺大橋及武洛溪，因屏東是農業、養殖漁業為主，所以我們想來看看是否影響。

表1 高屏溪流域與東港溪主支流基本資料

河流別		發源地	流域面積 (km ²)	長度 (km)	河床坡降	
高屏溪流域	主流	高屏溪	中央山脈 玉山群巒	3,257	171	河口至高屏大橋 1：1,025 高屏大橋至里嶺大橋 1：925
	幹流	荖濃溪	中央山脈 玉山群巒	2,038	133	里嶺大橋至隘寮溪 1：570 隘寮溪至濁口溪 1：200 濁口溪至東溪大橋 1：140
	支流	旗山溪	中央山脈 玉山西南麓	842	118	河口至旗山橋 1：1,180 旗山橋至圭柔腳 1：300 圭柔腳至甲仙大橋 1：140
		隘寮溪	知本主山 北大武山	829	69	河口至埔羌排水 1：520 埔羌排水至三地門 1：220
東港溪		萬安社舊 址上游	436	33	萬安溪與牛角灣 1：200 合流點至佳平溪排水 1：380	

資料來源：經濟部水利署第七河川分署。

表2 高屏溪各集水區面積及行政區域表

流域	集水區	面積 (km ²)	流長 (km)	屏東縣行政區域	高雄市行政區域
高屏溪	旗山溪	842	118	里港鄉	那瑪夏鄉、甲仙鄉、杉林鄉、內門鄉、旗山鎮
	荖濃溪	2,038	133	高樹鄉、里港鄉	桃源鄉、六龜鄉、美濃鎮、茂林鄉
	隘寮溪	829	69	霧台鄉、三地門鄉、瑪家鄉、高樹鄉、泰武鄉、里港鄉、鹽埔鄉、內埔鄉*	—
	高屏溪	3,257	171	鹽埔鄉、長治鄉、萬丹鄉、新園鄉、九如鄉、里港鄉、屏東市	大寮鄉、大樹鄉、林園鄉

資料來源：高屏溪流域整治綱要計畫，高屏溪管理委員會。

註：“*”表示僅部分在流域內。

表 3 高屏溪流域主支流及東港溪各單位監測點設置彙整表

監測單位 河川		行政院 環境保護署	高屏溪 管理委員會	經濟部水利署 南區水資源局	台灣 自來水公司
旗山溪	上游	1.甲仙取水口	—	1.四德大橋 2.甲仙取水口	—
	中游	2.月眉橋	1.圓潭橋	—	—
	下游	3.新旗山橋 4.西門大橋(美濃溪) 5.旗南橋(美濃溪)	2.旗尾橋 3.美濃橋(美濃溪) 4.美濃溪匯流處 5.大洲大橋 6.中和堤防	—	—
荖濃溪	上游	6.新發大橋 7.六龜大橋	—	—	—
	中游	8.大津橋(濁口溪) 9.新寮橋 (原為新寮吊橋)	7.舊寮護堤 8.高美大橋	—	—
	下游	10.里港大橋	—	—	—
隘寮溪	上游	11.隘寮堰	9.三地門橋	—	—
	中游	12.南華大橋	10.新南橋、南勢橋 (紅橋溪排水) 11.紅橋溪排水便橋	—	—
	下游	—	12.高樹大橋	—	—
高屏溪	上游	13.嶺口橋 (由里嶺大橋取代)	—	—	—
	中游	14.九如橋(武洛溪) 15.高屏大橋 16.昌農橋(牛稠溪) 17.萬大大橋	13.武洛溪排水便橋	3.高屏攔河堰上游 4.高屏攔河堰進水口	—
	下游	18.雙園大橋	14.萬丹排水便橋 (支)	—	—
東港溪	下游	—	—	—	1.東港攔河堰

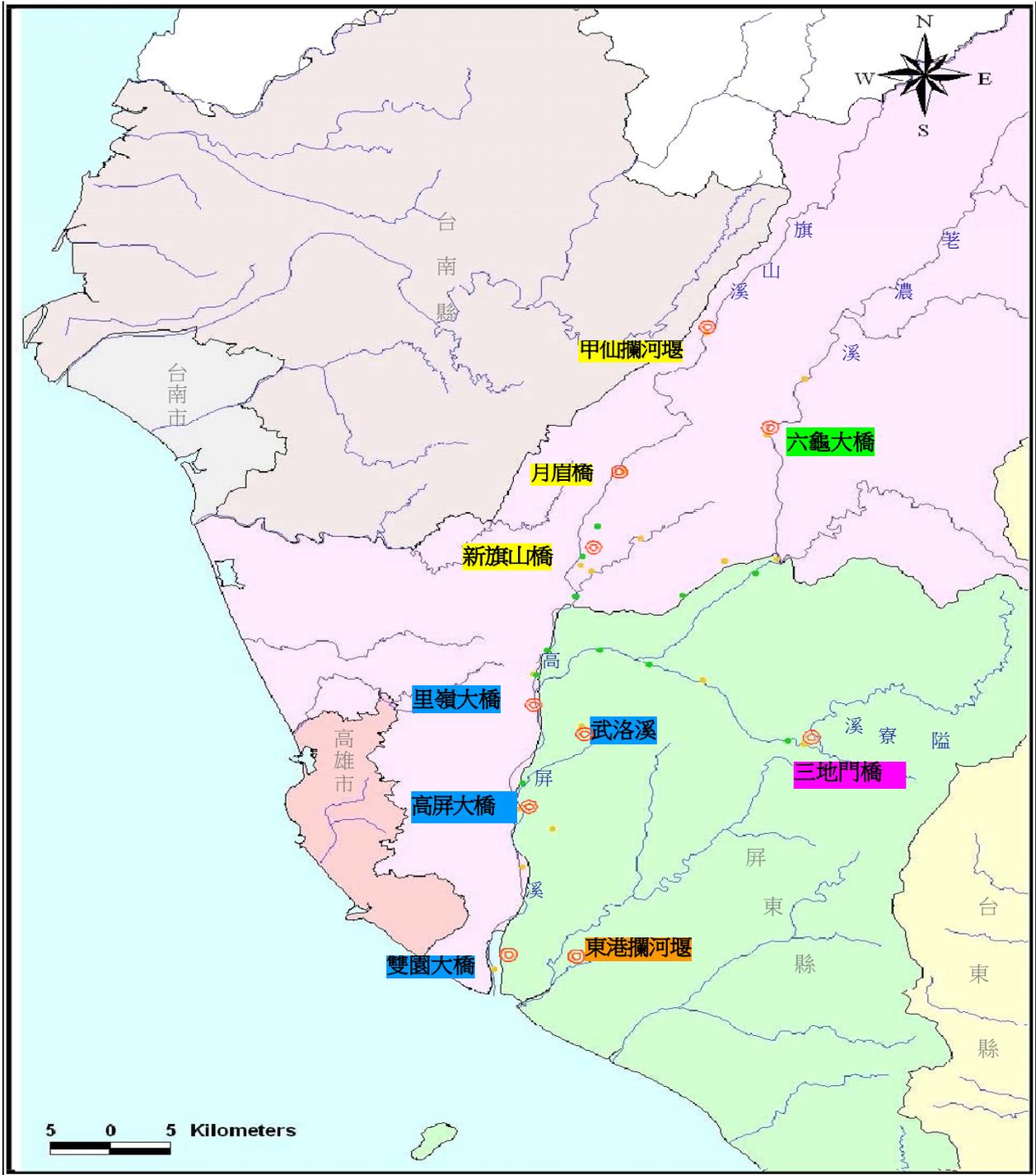


圖 3 採樣點理位置圖

三、實驗流程

- (一)採樣:我們使用不銹鋼採樣器採集約2L表層河川水樣品，並在每個採樣點分別採集三個重複樣本，所有玻璃器皿和不銹鋼容器均以Milli-Q水沖洗3次。水樣本儲存於乾淨的玻璃瓶中，並放置於4°C冰箱內保存。
- (二)過濾+烘乾:將器材使用Milli-Q水沖洗，水流抽氣幫浦裝水循環，並將抽氣管連接 47mm 玻璃過濾器，且放入 47mm玻璃纖維濾紙，用玻璃過濾器藍色夾子夾住並抽氣，Milli-Q水潤洗濾紙後，開始過濾。水流抽氣幫浦保持循環狀態，且抽氣管內不要有水。等待過濾中，用鋁箔紙暫封上端濾口，避免落塵。過濾後用 Milli-Q水把玻璃壁沖洗 2-3 次，並等待濾紙面無水狀態，再將濾紙放入培養皿中，培養皿底部需鋪設鋁箔紙。培養皿放入烘箱 (50°C，至少 4-6 小時以上)後，器材清洗、水流抽氣幫浦內的水放掉。
- (三)消化:全程著實驗衣，將器材使用Milli-Q水沖洗，雙氧水(主要用於氧化過程以去除有機物)倒入 250ml 燒杯中，用不銹鋼鑷子把濾紙靠在 50 or 100ml 燒杯壁上，用玻璃滴管吸取雙氧水，潤濕濾紙，再用鐵勺刮除濾紙上的 Sample。再將雙氧水統一加到 30ml，用鋁箔紙封蓋燒杯口再消化(震盪培養機/磁石攪拌機，100rpm 24hr)。消化時間，至少 24小時。
- (四)過濾+烘乾:將器材使用Milli-Q水沖洗，水流抽氣幫浦裝水循環，並將抽氣管連接 25mm 玻璃過濾器，且放入 25mm不鏽鋼濾膜，用玻璃過濾器銀色夾子夾住並抽氣，Milli-Q水潤洗濾膜後，開始過濾。水流抽氣幫浦保持循環狀態，且抽氣管內不要有水。等待過濾中，用鋁箔紙暫封上端過濾口，避免落塵。過濾結束後，用 Milli-Q水把玻璃壁沖洗 2-3 次，等待濾膜面無水狀態，再將濾膜放入培養皿，培養皿放入烘箱(50°C，至少 4-6 小時以上) 後，器材清洗、水流抽氣幫浦內的水放掉。
- (五)分離:將器材使用Milli-Q水沖洗，不銹鋼鑷子把濾膜靠在離心管壁，玻璃滴管吸取過飽氯化鈉水溶液(使用大於密度1g/mL的試劑進行密度分離，例如氯化鈉NaCl密度 1.2g/mL、氯化鈣CaCl₂密度1.3g/mL)，並潤濕濾紙，用鐵勺刮除不銹鋼濾膜上的 Sample。將過飽氯化鈉水溶液統一加到 30ml，並確實拴緊離心管帽，放入離心機 (2500rpm 10min)。離心管數需偶數並對稱，若奇數，可拿離心管裝入自來水至 30ml 湊偶數即可。離心 2 次，離心結束後，放置管架上，待過濾用，並器材清洗。
- (六)過濾+烘乾: 重複步驟(二)。
- (七)計數:將不銹鋼濾膜(Sample)放在載玻片上，並用貼紙黏住濾膜兩側，放置顯微鏡平台

上，並用貼紙黏住載玻片兩側，挑選疑似微型塑膠顆粒進行分類+計數。

1. 用**形狀分類**：塑膠碎片(Fragment)、塑膠薄膜(Film)、塑膠纖維(Fiber)、塑膠顆粒(Pellet)、發泡塑膠(Foam)。
2. 用**顏色分類**：白色或透明(Transparent or White)、黑色(Black)、其他顏色(Other)。
3. 用**大小分類**：>25 μm 、25-50 μm 、50-100 μm 、100-300 μm 、300-1000 μm 、1000-5000 μm 。

(八)使用micro-FRIR光譜儀來定性:全程需要戴手套，因為需使用液態氮，利用 Thermo Scientific Nicolet iN10 紅外線顯微鏡來簡化分析流程。

四、實驗分析

(1) 採用R語言來用於統計分析、繪圖以及資料探勘，利用聚類分析對塑膠微粒形狀、大小分佈進行分類。集群分析(Cluster Analysis)可繪製成樹狀圖來分析。

(2) 塑膠微粒多樣性指數之計算係基於辛普森多樣性指數 (Simpson diversity index)，其是被用來評估樣品中塑膠微粒多樣性之指標，根據其樣品中塑膠微粒之不同特性之比例進行計算，其計算公式如下所示：

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$$

其中，S 為塑膠微粒種類之數量， P_i 為類別 i 中塑膠微粒於樣品中之比例，如塑膠微粒形狀比例，將樣品中之 5 種形狀比例依公式計算後即獲得該樣品之塑膠微粒形狀多樣性指數，其 SDI 最小值為 0，最大值為 1，SDI 指數越大其代表樣品中之塑膠微粒多樣性就越大，反之，其 SDI 值越接近 0 則表示其塑膠微粒多樣性越低。本研究參考林育仲等人 (2021) 之研究，以塑膠微粒尺寸 (SDI_s)、形狀 (SDI_{sh}) 之多樣性指數綜合計算出塑膠微粒綜合多樣性指數 (MPDII) 以了解該河流採樣點其塑膠微粒特性之整體多樣性，其公式如下所示：

$$MPDII = (SDI_s \times SDI_{sh})^{1/2}$$

MPDII 與 SDI 值相同，其範圍介於 0~1 之間，MPDII 指數越大其代表該採樣點中之塑膠微粒綜合多樣性就越大；反之，其 MPDII 值越接近 0 則表示其塑膠微粒綜合多樣性越低。

肆、研究結果與討論

一、探討比較豐枯水期高屏河流域及東港溪塑膠微粒形狀、尺寸的數量

本研究選定採樣點甲仙攔河堰、月眉橋、新旗山橋、高屏大橋、雙園大橋、六龜大橋、三地門橋、東港溪攔河堰，共 8 個採水點進行採水，初步依視覺方式(光學顯微鏡)判斷分類為塑膠纖維、塑膠薄膜、塑膠碎片、塑膠顆粒及發泡塑膠等五大類。並記錄樣品顆粒之數目、形狀、尺寸、顏色，判斷是否為塑膠微粒的條件參考 GESAMP 與 NOAA，若不含細胞特徵、纖維粗細度均勻一致、單一顏色、以鑷子刮過而不破碎，則可判斷為塑膠顆粒(GESAMP, 2019; Chen et al., 2020)。定量則參考 NOAA 與 MSFD 建議，除顆粒數/m³ 海水或顆粒數/g (Masura et al., 2015)。

以形狀區分:

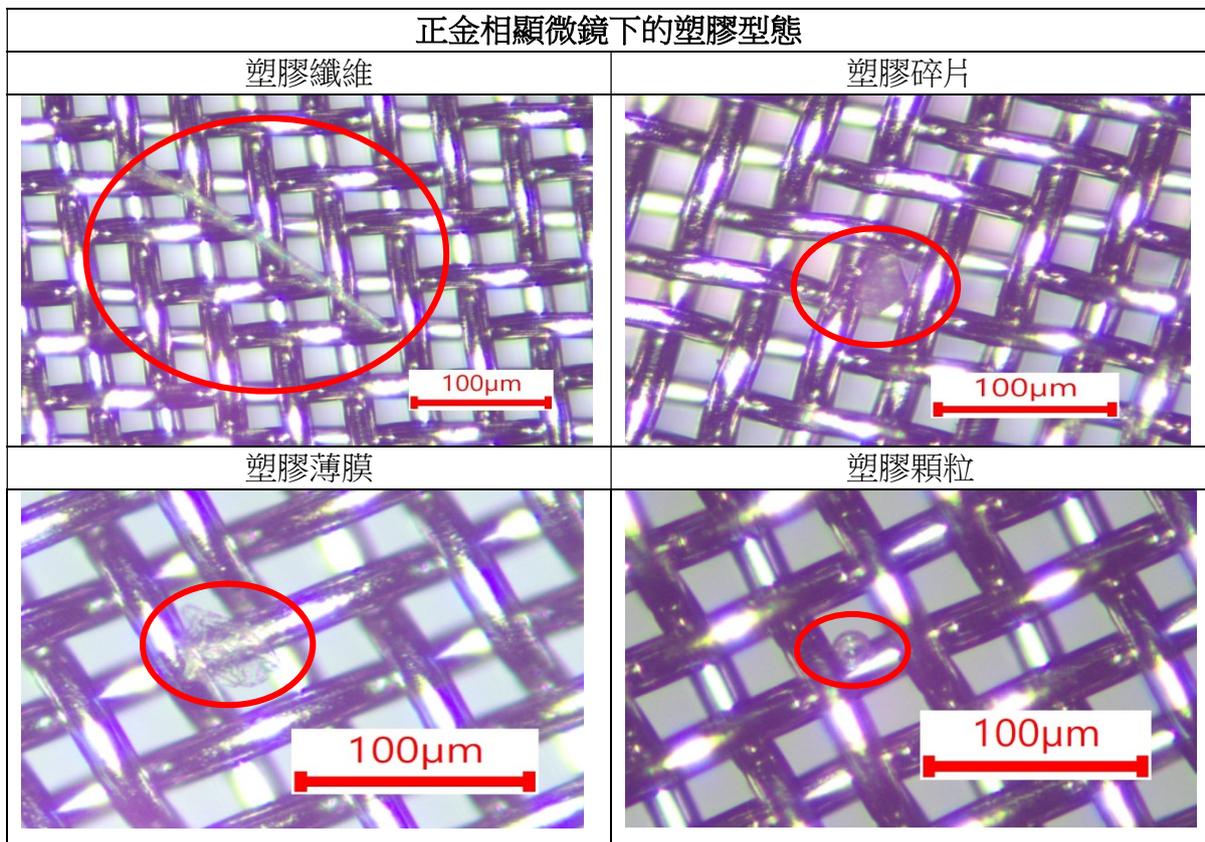


圖 4 顯微鏡下的塑膠型態

表 4 枯水期採樣點之塑膠微粒形狀數量

區域(枯水期)	形狀數量 (個/L)					總和
	塑膠纖維	塑膠碎片	塑膠薄膜	塑膠顆粒	發泡塑膠	
甲仙攔河堰	25	19	6	無	無	50
月眉橋	19	6	6	無	無	31
新旗山橋	31	12	6	無	無	49
高屏大橋	6	無	31	6	無	43
雙園大橋	19	13	13	無	無	45
六龜大橋	25	6	無	無	無	31
三地門橋	38	6	25	無	無	69
東港溪攔河堰	25	13	12	無	無	50
總和	188	75	99	6		368
百分比	51.1%	20.4%	26.9%	1.6%		

表 5 豐水期採樣點之塑膠微粒形狀數量

區域(豐水期)	形狀數量 (個/L)					總和
	塑膠纖維	塑膠碎片	塑膠薄膜	塑膠顆粒	發泡塑膠	
甲仙攔河堰	12	13	19	無	無	44
月眉橋	12	19	13	無	無	44
新旗山橋	12	25	12	無	無	49
高屏大橋	19	19	12	無	無	50
雙園大橋	18	19	19	無	無	56
六龜大橋	12	13	6	無	無	31
三地門橋	13	19	12	無	無	44
東港溪攔河堰	19	19	13	無	無	51
總和	117	146	106			369
百分比	31.7%	39.6%	28.7%			

結果分析與討論

在枯水期時，正逢寒假三地門橋是玩水的地方，周遭充滿垃圾及廢棄鋁箔飲料，所以量測到塑膠微粒數值最高。而塑膠纖維是最常見的形狀(51.1%)、塑膠碎片(20.4%)、塑膠薄膜(26.9%)、塑膠顆粒(1.6%)。在豐水期時，雙園大橋靠近林園，工業空氣污染較嚴重，所以量測到塑膠微粒數值最高。而塑膠碎片是最常見的形狀(39.6%)、而塑膠纖維(31.7%)也不相上下、塑膠薄膜(28.7%)。由此得知，枯水期是塑膠纖維居多，而豐水期時塑膠碎片占大宗，而黑潮海洋文教基金會於 2018 年夏天(豐水期)發表，關於台灣海域第一份塑膠微粒分佈紀錄資料中，表示台灣西南部海域最高的也是塑膠碎片，這和前人研究不謀而合(Kaandorp, Mikael L. 2023; 黑潮島航, 2018,2019, 2020)。

我們在豐枯水期量測到塑膠微粒量不相上下，推測可能跟取水時間有關，因還沒正式進入豐水期，雨量還沒有大量沖刷，所以豐枯水期塑膠微粒數值差不多。

以尺寸區分:

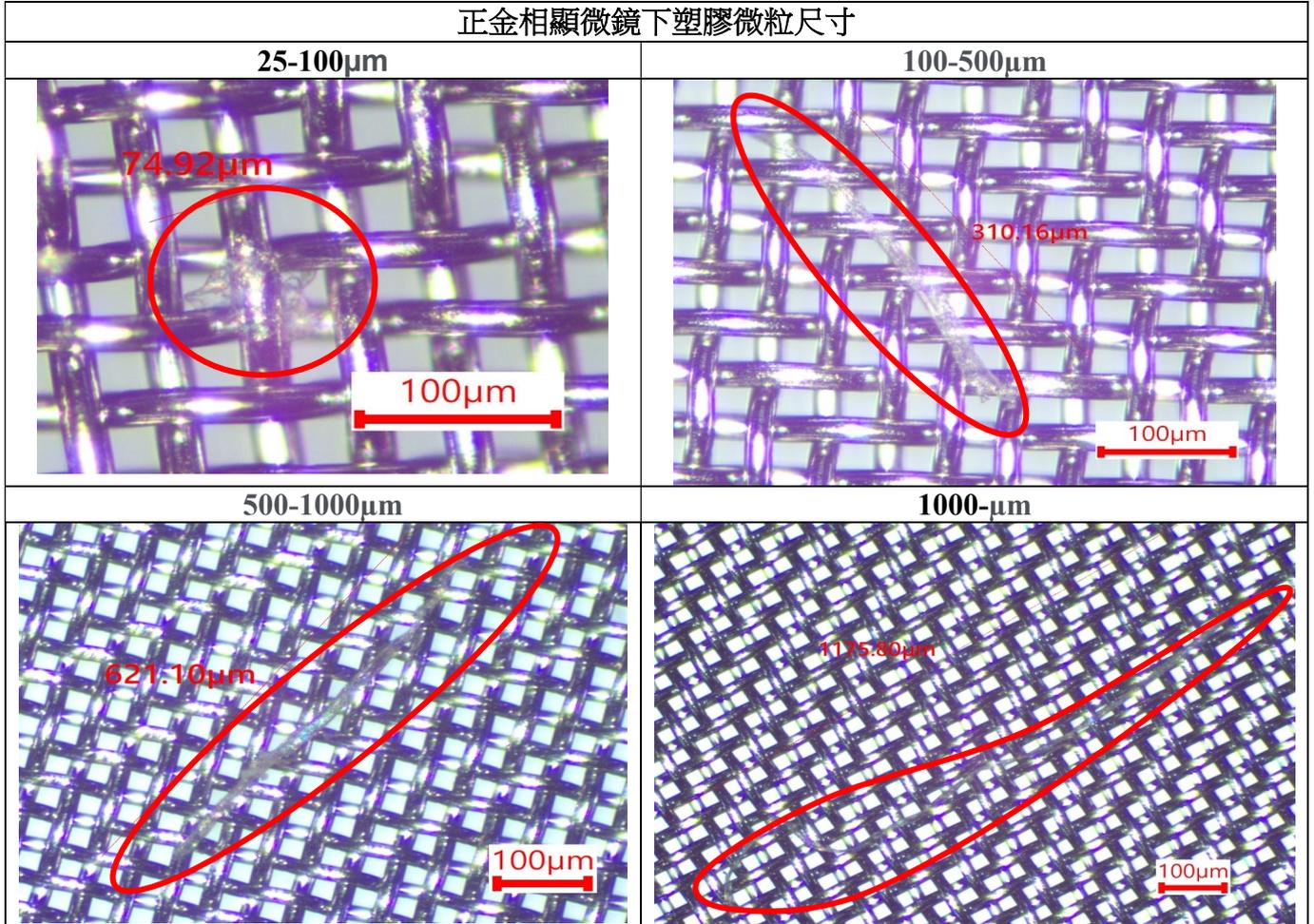


圖 5 顯微鏡下塑膠微粒尺寸

表 6 枯水期採樣點之塑膠微粒尺寸數量

區域(枯水期)	尺寸(個/L)				總和
	25~100 µm	100~500 µm	500~1000 µm	1000~1500 µm	
甲仙攔河堰	18	26	6	無	50
月眉橋	6	25	無	無	31
新旗山橋	18	12	19	無	49
高屏大橋	31	12	無	無	43
雙園大橋	32	13	無	無	45
六龜大橋	12	13	6	無	31
三地門橋	12	38	6	13	69
東港溪攔河堰	12	38	無	無	50
總和	141	177	37	13	368
百分比	38.31%	48.1%	10.05%	3.53%	

表 7 豐水期採樣點之塑膠微粒尺寸數量

區域(豐水期)	尺寸(個/L)				總和
	25~100 μm	100~500 μm	500~1000 μm	1000~1500 μm	
甲仙攔河堰	32	12	無	無	44
月眉橋	32	6	6	無	44
新旗山橋	31	12	無	6	49
高屏大橋	25	25	無	無	50
雙園大橋	32	12	6	6	56
六龜大橋	6	19	6	無	31
三地門橋	25	19	無	無	44
東港溪攔河堰	6	39	6	無	51
總和	189	144	24	12	369
百分比	51.2%	39%	6.5%	3.3%	

結果分析與討論

在**枯水期**時，最多塑膠微粒尺寸為 100~500 μm ，三地門橋是具有最多微塑膠 69 個/L，其次是甲仙攔河堰、東港溪攔河堰都是 50 個/L，和新旗山橋 49 個/L 相差不大。實驗發現，從甲仙攔河堰到月眉橋的塑膠微粒，有降低的趨勢，而新旗山橋到高屏攔河堰，塑膠微粒也有降低。**推論因為枯水期，流速非常緩慢和水停留時間較長，水中大部分塑膠微粒因尺寸而沉入沉積物中。**

在**豐水期**時，水流速度快，最多塑膠微粒尺寸為 25~100 μm ，從甲仙攔河堰到雙園大橋、六龜大橋到三地門橋，這些塑膠微粒都有緩慢增加，推論較小塑膠微粒較輕，從上游會積累至下游。此一現象正是我們所擔心的，小型微塑膠對海洋浮游動物的毒性比大尺寸微塑膠更大，因為小於 20 μm 的塑膠微粒，可以穿透細胞膜(R.C. Hale, et al, 2020)，直徑小於 1.5 μm 的顆粒可以直接損傷細胞(J. Hwang, et al, 2020)。而較大塑膠微粒，若透過動物的攝取，並**導致生物累積和生物放大作用**，那海洋生態系統的風險不容忽視。

二、分析豐枯水期高屏溪流域及東港溪之塑膠微粒顏色及材質

以顏色區分:

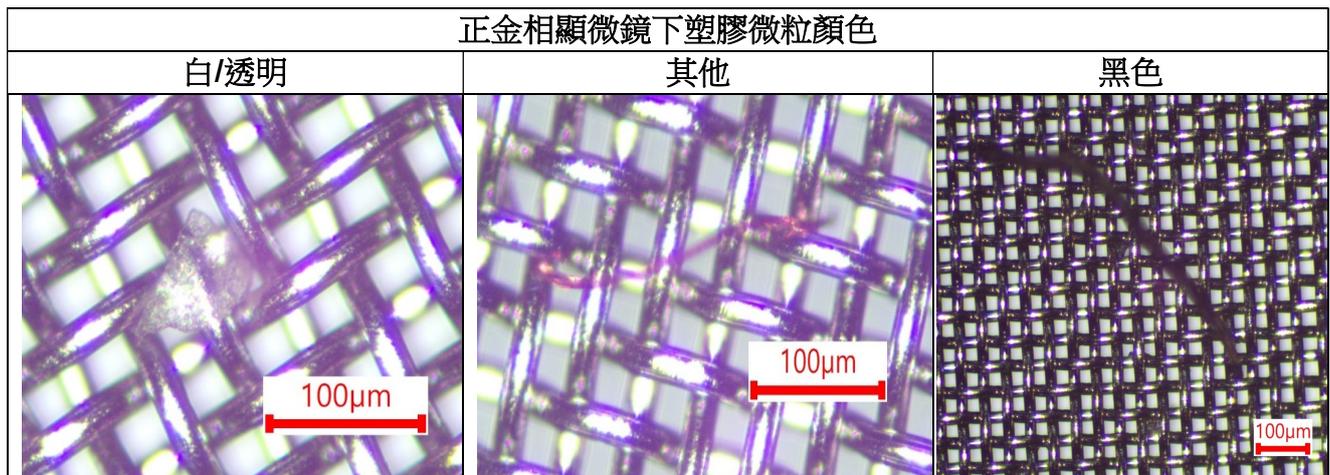


圖 6 顯微鏡下塑膠微粒顏色

表 8 枯水期採樣點之塑膠微粒顏色百分比

區域(枯水期)	塑膠微粒顏色百分比(%)		
	白/透明	黑色	其他
甲仙攔河堰	100	0	0
月眉橋	100	0	0
新旗山橋	100	0	0
高屏大橋	100	0	0
雙園大橋	100	0	0
六龜大橋	81	0	19
三地門橋	100	0	0
東港溪攔河堰	100	0	0

表 9 豐水期採樣點之塑膠微粒顏色百分比

區域(豐水期)	塑膠微粒顏色百分比(%)		
	白/透明	黑色	其他
甲仙攔河堰	100	0	0
月眉橋	86	14	0
新旗山橋	100	0	0
高屏大橋	100	0	0
雙園大橋	100	0	0
六龜大橋	100	0	0
三地門橋	100	0	0
東港溪攔河堰	100	0	0

結果分析與討論

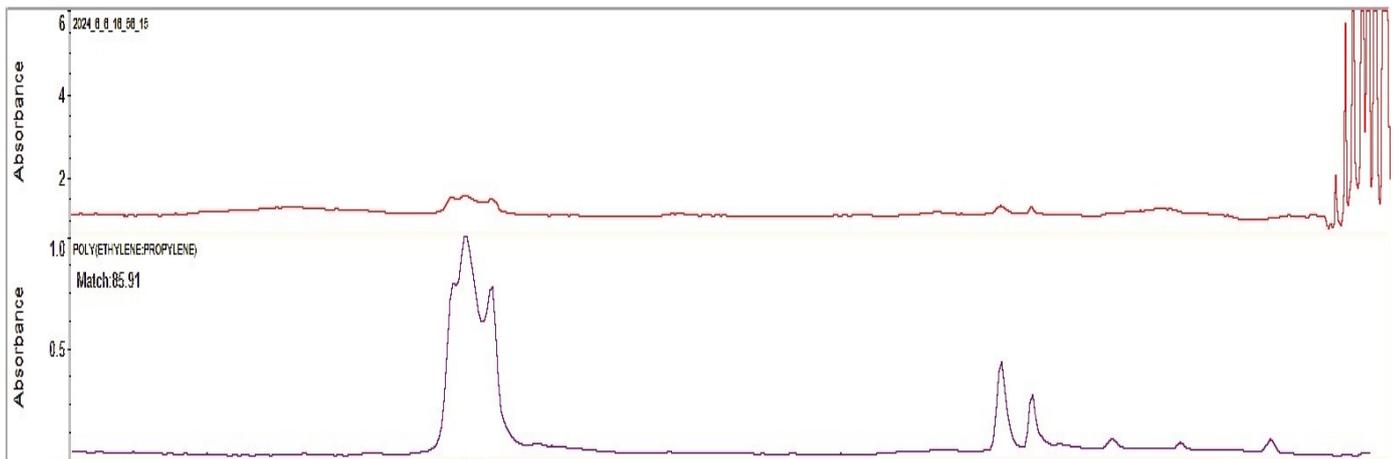
在 8 個取樣點中，唯獨六龜大橋的塑膠微粒具有顏色，其他取樣點皆是白色/透明的。對於大量白/透明的塑膠微粒，與前人研究一致(Dahms et al., 2000; Wu et al., 2020)，這可能部份歸因於自然環境中風化過程的褪色，或是紫外線、其他老化劑導致顏色褪色。

以材質區分:

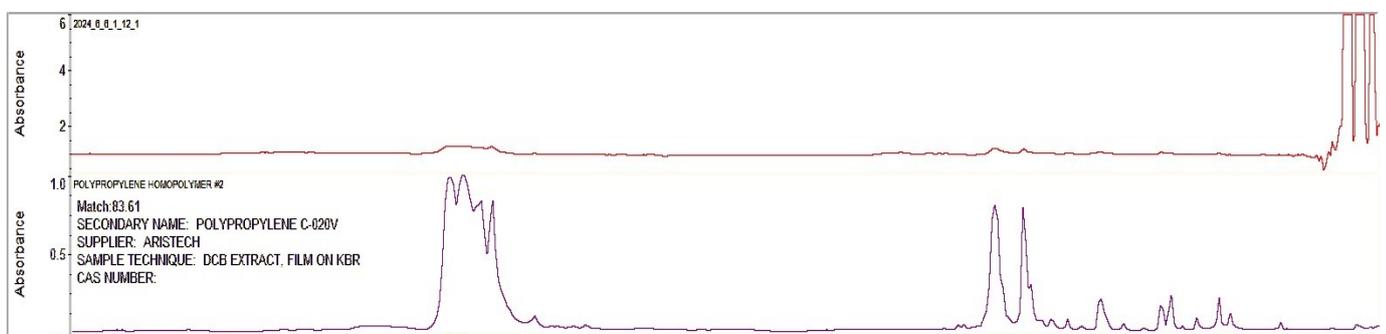
使用具有衰減全反射(ATR)模式的微傅立葉變換紅外線(μ -FTIR)光譜(Shimadzu, AIM-9000, 日本)並分析所有顆粒，每次掃描平均進行 64 次掃描，解析度為 0.25cm^{-1} 。在這項研究中，從可疑顆粒的不同點獲得了三次 ATR- FTIR 光譜，將光譜直接與聚合物庫進行比較，以驗證聚合物類型。選取質量指數 $\geq 70\%$ 的匹配範圍，則可以知道是何材質。

光譜匹配圖:

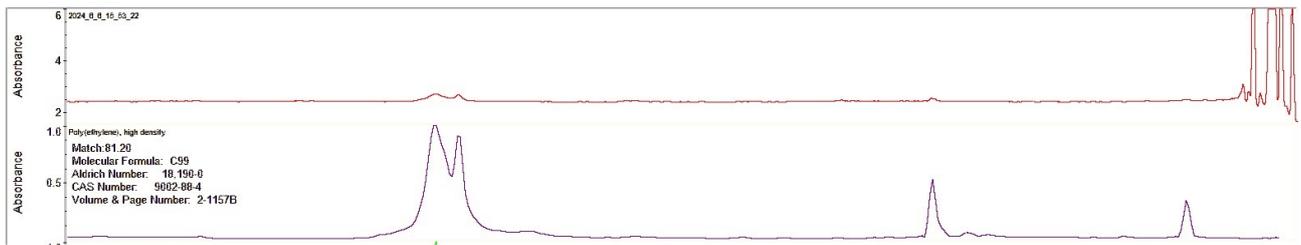
主要材質(Match%): 甲仙攔河堰: PE(85.91)、PS(78.93)



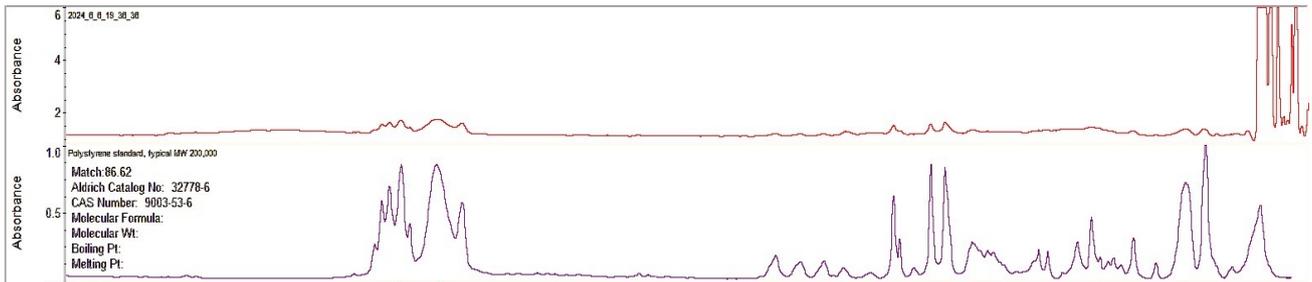
月眉橋:POM(83.61)、PE(82.43)、PET(77.41)



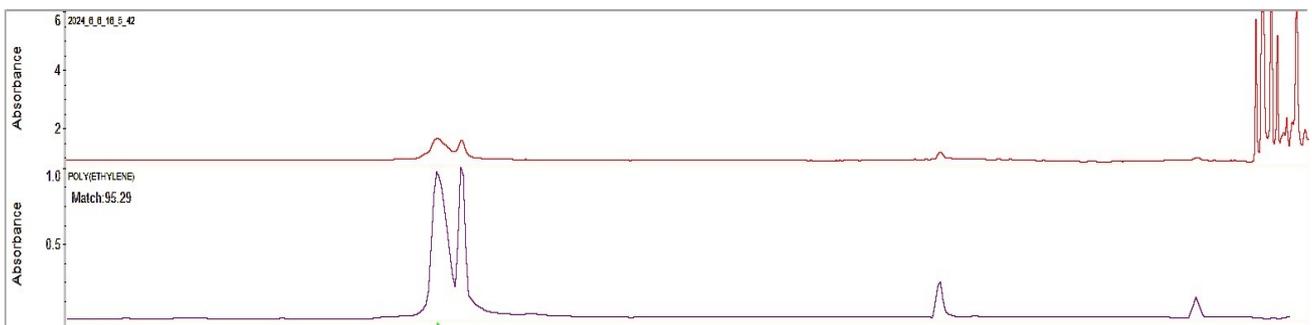
新旗山橋: HDPE(81.2)、PET(76.52)



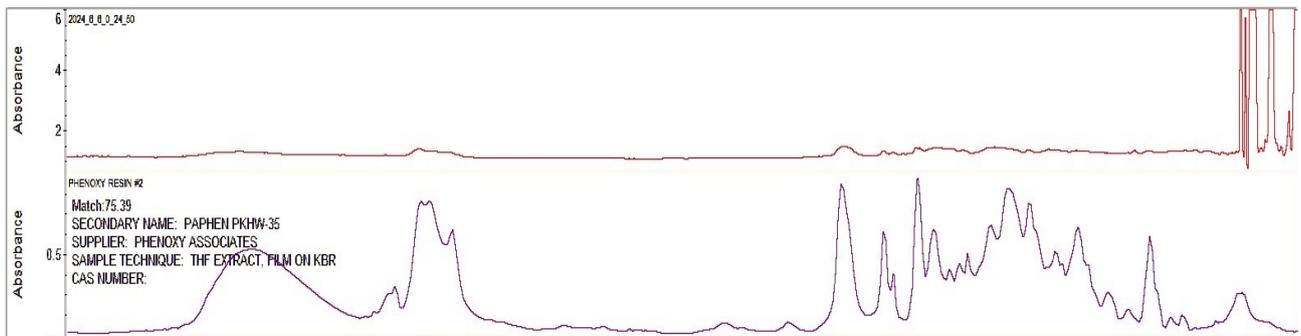
高屏大橋: PS(86.62)、PE(82.39)、PET(78.07)、PAA(77.65)



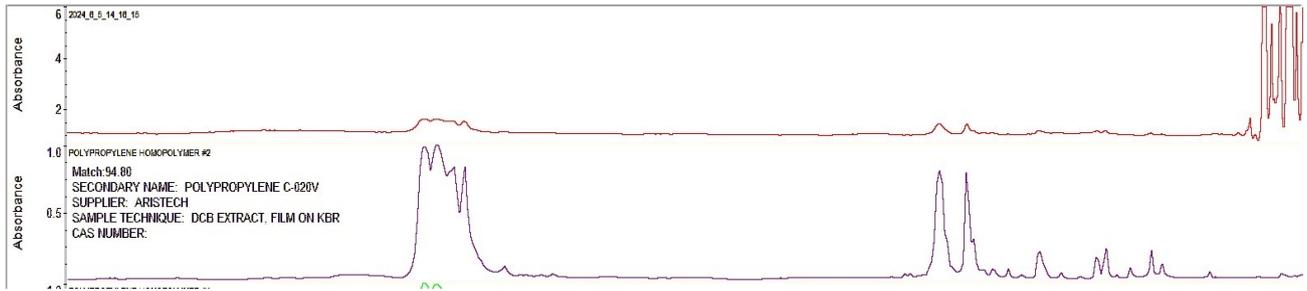
雙園大橋: PE(95.29)、PP(79.05)、PET(78.27)



六龜大橋: :EP(75.39)、PVC(72.43)



三地門橋: :POM(94.8)、PET(82.13)、PC(74.36)



東港溪攔河堰: PE(75.62)、ABS(70.18)

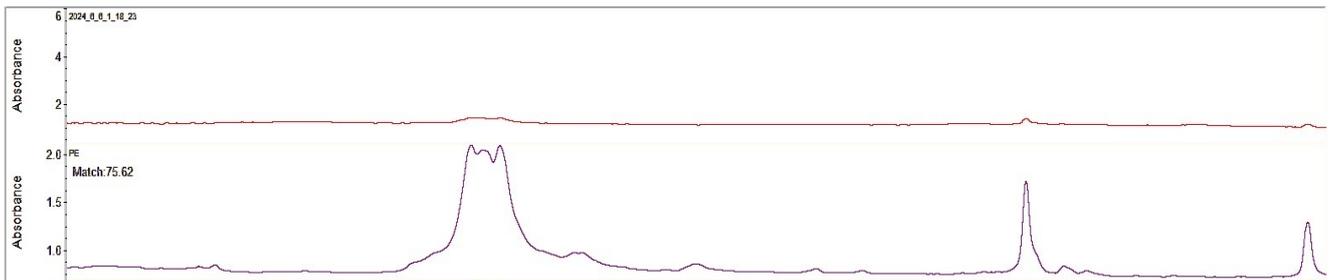


表 10 枯水期採樣點之塑膠微粒材質分類百分比

區域(枯水期)	材質分類百分比(%)								
	PET	PE	PVC	PP	PS	PC	EVA	CA	ASA
甲仙攔河堰				40				35	25
月眉橋		100							
新旗山橋		62.5						37.5	
高屏大橋		57.1		28.5			14.4		
雙園大橋		71.4		28.6					
六龜大橋		40		40				20	
三地門橋				54.5	27.2			18.3	
東港溪攔河堰		25		75					
總平均		44.5		33.3	3.4		1.8	13.9	3.1

表 11 豐水期採樣點之塑膠微粒材質分類百分比

區域(豐水期)	材質分類百分比(%)									
	PET	PE	POM	PP	PS	PC	PAA	ABS	EP	PVC
甲仙攔河堰		75.1			24.9					
月眉橋	10	82	8							
新旗山橋	38.8	61.2								
高屏大橋	15	62			16		7			
雙園大橋	5	75		20						
六龜大橋									65	35
三地門橋	72		14			14				
東港溪攔河堰		75						25		
總平均	17.6	53.8	2.8	2.5	5.1	1.8	0.9	3.1	8.1	4.4

結果分析與討論

在枯水期時，高屏溪流域 PE(44.5%)、PP(33.3%)是佔最大量，**而其他國家 PE 和 PP 也是河流中最常見的塑膠微粒的類型，與前人研究一致**(Campanale et al., 2020; Lahenset et al., 2018; Linet et al., 2018; Mintenig et al, 2020)，這來源最主要是它們在全球被廣泛生產及使用(歐洲塑料，2022 年)。此外，PE 和 PP 由於密度低(0.91-0.97g/cm³)，所以很容易在水中流動，同時風化成更小的碎片，而這 2 者相比，PE 又比 PP 容易脆裂，所以才會佔最大量。

高屏溪攔河堰是台灣唯一用橡皮製作的橡皮壩攔河堰。它是一種薄壁水工構造物，是採用錦綸或維納綸布等材料作為受力骨架，利用氯丁橡膠作保護層，產生膠合及密封作用。橡皮壩的特點是建造成本較低，不阻水、不漏水、抗震性能強、對基地要求低及施工期間短，且能在洪水期間自動倒伏渲洩洪水，防止攔河堰上游水位過高，形成洪水氾濫。然其缺點是橡皮壩易遭破壞及磨損，故壽命較一般混凝土攔河堰為短。而我們剛好測出高屏大橋取水點有 EVA，EVA 是乙烯酯酸乙酯共聚物，可用來製作橡膠。我們推測這點的 EVA，應該跟橡皮壩有相關性。

在豐水期時，發現了10種聚合物類型，即PP、PE、PS、PET、PC、POM、PAA、EP、ABS、PVC，而PP廣泛應用於塑膠容器、食品包裝、地毯、管道等多種產品，而PE則常用於塑膠袋、塑膠瓶、食品包裝膜、農用薄膜、漁網、繩索等。此外PS也是一種廣泛應用於多種產品的低成本塑料，通常用於包裝物品和各種一次性餐具產品，也會應用於浮標。多項研究也報告這些聚合物(PP、PE、PS)由於廣泛的應用和易於運輸而成為最常見的塑膠微粒(Wang et al., 2021; Wu et al., 2020; Yukioka et al., 2020)。除上述主要成分外，PET主要用於漁線或合成紡織品的單絲，或養殖中防水膜或棚膜，也有服裝，這會表明塑膠來源。PVC是應用最廣泛的聚合物之一，由於其分子結構的變化和獨特化學物質，進入環境後會釋放致癌單體和固有的塑化劑，ABS、PVC已被認為對聚合物的危險指數和微塑膠污染的風險有很高關係(Lithner et al., 2011)。

三、新增里嶺大橋及武洛溪塑膠微粒形狀、尺寸的數量

表 12 新增採樣點之塑膠微粒形狀數量

區域	形狀數量 (個/L)					總和
	塑膠纖維	塑膠碎片	塑膠薄膜	塑膠顆粒	發泡塑膠	
甲仙攔河堰	12	13	19	無	無	44
月眉橋	12	19	13	無	無	44
新旗山橋(旗山區)	12	25	12	無	無	49
里嶺大橋(里港區)	19	13	13	6	無	51

武洛溪(九如區)	19	19	19	無	無	57
高屏大橋(大樹區)	19	19	12	無	無	50
雙園大橋(林園區)	18	19	19	無	無	56
六龜大橋	12	13	6	無	無	31
三地門橋	13	19	12	無	無	44
東港溪攔河堰	19	19	13	無	無	51

表 13 新增採樣點之塑膠微粒尺寸數量

區域	尺寸(個/L)				總和
	25~100 μm	100~500 μm	500~1000 μm	1000~1500 μm	
甲仙攔河堰	32	12	無	無	44
月眉橋	32	6	6	無	44
新旗山橋(旗山區)	31	12	無	6	49
里嶺大橋(里港區)	38	13	無	無	51
武洛溪(九如區)	19	32	無	無	57
高屏大橋(大樹區)	25	25	無	無	50
雙園大橋(林園區)	32	12	6	6	56
六龜大橋	6	19	6	無	31
三地門橋	25	19	無	無	44
東港溪攔河堰	6	39	6	無	51

結果分析與討論

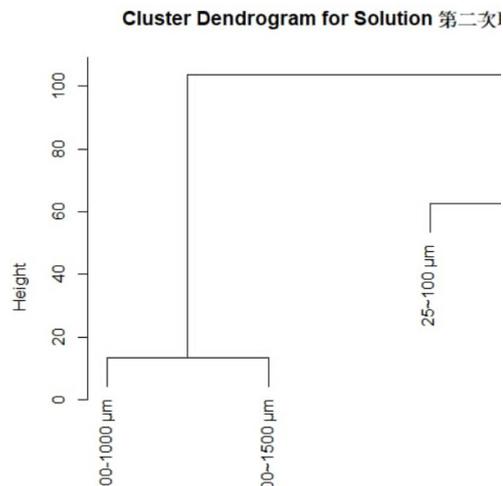
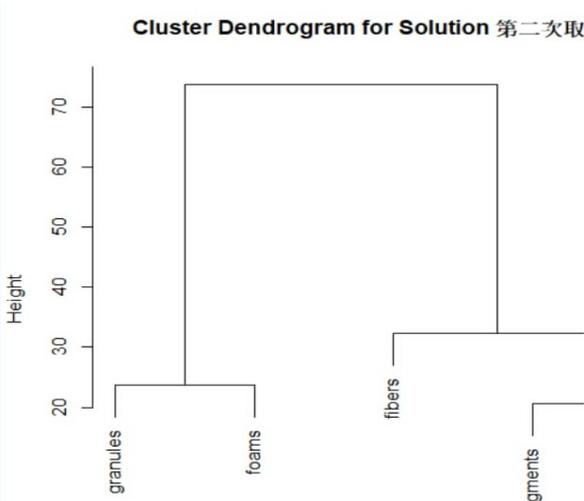
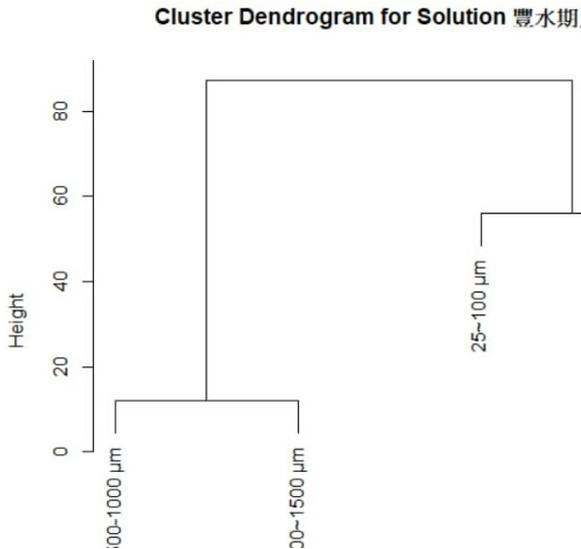
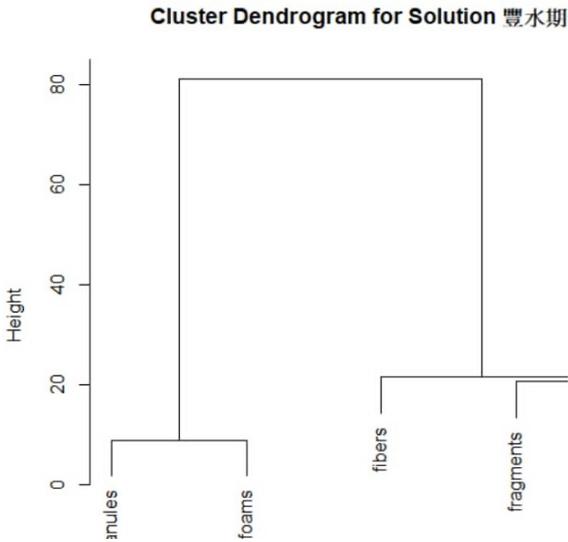
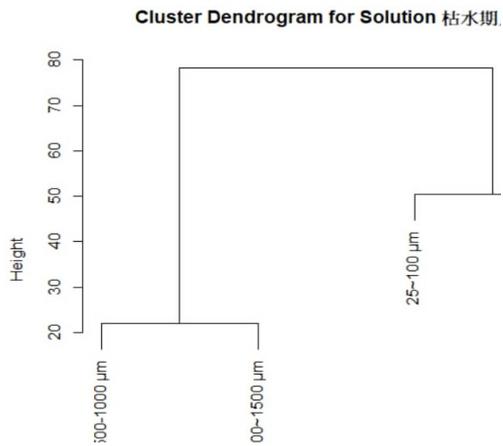
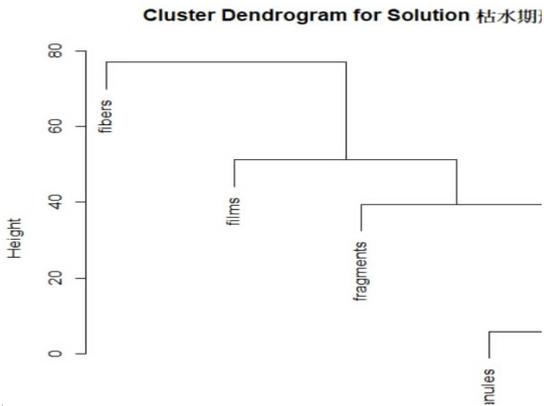
屏東的產業非常豐富，從旗山順著高屏溪往下，左岸是流經大樹種植荔枝、鳳梨、木瓜，大寮是工業及養豬，所以會有工業廢水及豬糞問題，再往下就是林園，發展石化產業，工廠林立。而右岸里港是養殖泰國蝦及淡水魚(鯉魚、吳郭魚)，種植蓮霧、養豬還有砂石場林立，接著是九如，養殖漁業方面相似里港，種植檸檬、養豬及雞，再往下游走就是屏東，有民生廢水及工業廢水，萬丹種植紅豆、養豬及牛，新埤則有養殖魚和鰲。以上再一起匯入台灣海峽。所以綜觀微塑膠的多寡受人為因素及周遭環境、水流和天氣條件等環境因素影響(Nie H et al., 2019; Zhu L et al., 2018)，密集的經濟活動使水質惡化，就高屏溪流域左岸和右岸比較，塑膠微粒量、形狀、大小差異不大，但我們還是需要注意生物放大作用。這些各種塑膠微粒透過食物鏈層層轉移，在引自高屏溪水取水至水庫或淨水廠淨化時，能否徹底去除，對身居高級消費者的人類而言，是有很大食安風險堪憂！

里嶺大橋25~100 μm 的數量有38(個/L)，但是到武洛溪(九如) 25~100 μm 的數量有就只剩下19(個/L)，我們推論減少的塑膠微粒有可能被浮游生物或魚類等誤食(Zhang W et al., 2017)。高屏大橋100~500 μm 的數量有25 (個/L)，但是到雙園大橋100~500 μm 的數量就只有12 (個/L)，而25~100 μm 的數量增加到32(個/L)，我們推論尺寸大的經過分解、腐蝕、破碎

成較小尺寸的塑膠微粒。

四、利用 R 語言分析豐枯水期高屏溪流域及東港溪塑膠微粒，採用聚類分析對形狀、尺寸來進行分類並作圖

我們利用 R 語言來對塑膠微粒形狀、大小進行聚類分析並繪製不同時期的樹狀圖，分別是形狀和尺寸。



結果分析與討論

從尺寸分類來看，豐枯水期差異不大，若加入里嶺大橋及武洛溪塑膠微粒後，還是可以分成2組，用聚類分析的好處可以了解個別變量之間關係的親疏程度，可再做迴歸分析。形狀分類來看，枯水期粒徑就必須分成4組較恰當，而豐水期和加入里嶺大橋及武洛溪塑膠微粒，皆可分成2組即可。

五、高屏河流域及東港溪之塑膠微粒多樣性指數

區域(枯水期)	採樣點之塑膠微粒多樣性指數			位於高屏河流域位置
	形狀多樣性	尺寸多樣性	綜合多樣性指數	
	SDIsh	SDIs	MPDII	
甲仙攔河堰	0.6	0.6	0.6	上游
月眉橋	0.57	0.32	0.43	上游
新旗山橋	0.54	0.67	0.6	上游
六龜大橋	0.32	0.66	0.46	上游
三地門橋	0.57	0.63	0.6	中游
高屏大橋	0.45	0.41	0.43	中游
雙園大橋	0.67	0.42	0.53	下游
東港溪攔河堰	0.64	0.37	0.49	下游

區域(豐水期)	採樣點之塑膠微粒多樣性指數			位於高屏河流域位置
	形狀多樣性	尺寸多樣性	綜合多樣性指數	
	SDIsh	SDIs	MPDII	
甲仙攔河堰	0.67	0.41	0.52	上游
月眉橋	0.65	0.44	0.54	上游
新旗山橋	0.63	0.54	0.58	上游
里嶺大橋	0.74	0.39	0.54	上游
武洛溪	0.68	0.57	0.62	中游
六龜大橋	0.66	0.57	0.61	中游
三地門橋	0.67	0.5	0.58	中游
高屏大橋	0.67	0.51	0.59	下游
雙園大橋	0.68	0.62	0.65	下游
東港溪攔河堰	0.67	0.4	0.52	下游

結果分析與討論

本研究以多樣性指數了解河川水中塑膠微粒組成的複雜程度，從多樣性指數計算，結果如上表所示，**枯水期**時甲仙攔河堰、新旗山橋、三地門橋的多樣性指數最高(0.6)，表示該河水來源相對多元，但從MPDII值顯示月眉橋(0.43)、高屏大橋(0.43)、六龜大橋(0.46)相似，表示此取樣點塑膠微粒來源之複雜程度相似。**豐水期**時，雙園大橋多樣性指數最高(0.65)，表示該河水來源相對多元，武洛溪(0.62)、六龜大橋(0.61)、高屏大橋(0.59)、三地門橋(0.58)、新旗山橋(0.58) 多樣性指數相似，表示這些取樣點塑膠微粒來源之複雜程度相似。而甲仙攔河堰、月眉橋、里嶺大橋、東港溪攔河堰，這又是另一群來源相似。

陸、結論

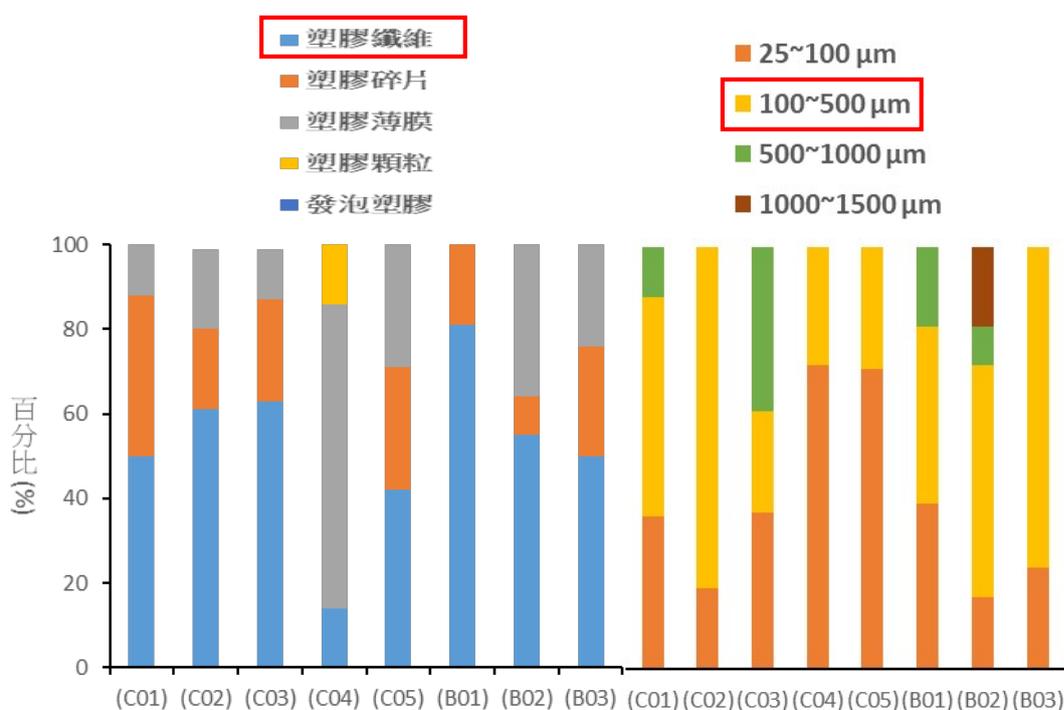


圖 7 枯水期之塑膠微粒形狀、尺寸百分比圖

我們所調查的枯水期高屏河流域中，都存在著塑膠微粒。**枯水期是塑膠纖維居多**，其次是塑膠薄膜，而尺寸大小最多是 100~500 μm，其次 25~100 μm。在 8 個取樣點中，唯獨六龜大橋的塑膠微粒具有顏色，其他取樣點皆是白色/透明的。高屏河流域中塑膠微粒材質 PE、PP 是佔最大量。至從台灣在 2018 年開始禁止使用柔珠添加於洗面乳、牙膏和磨砂膏等個人清潔用品後，我們有發現河川中的柔珠材質大大減少。若我們可以從日常生活減少一次性垃圾的使用，相信 PE 及 PP 也可以降低。實驗發現，從甲仙攔河堰到月眉橋的塑膠微粒，有降

低的趨勢，而新旗山橋到高屏攔河堰，三地門橋到東港溪攔河堰，塑膠微粒也有降低，這和枯水期流速緩慢和水停留時間較長，水中大部分塑膠微粒因尺寸而沉入沉積物中有關。本研究以多樣性指數了解河川水中塑膠微粒組成的複雜程度，從多樣性指數計算，甲仙攔河堰、新旗山橋、三地門橋的多樣性指數最高(0.6)，表示該河水來源相對多元，但從 MPDII 值顯示月眉橋(0.43)、高屏大橋(0.43)、六龜大橋(0.46)相似，表示此取樣點塑膠微粒來源之複雜程度相似。

在豐水期時，而塑膠碎片是最常見的形狀(39.6%)、而塑膠纖維(31.7%)、塑膠薄膜(28.7%)。最多塑膠微粒尺寸為 25~100 μm ，在 8 個取樣點中，唯獨月眉橋的塑膠微粒具有顏色，其他取樣點皆是白色/透明的。高屏溪流域中塑膠微粒材質 PE 佔最大量。雙園大橋多樣性指數最高(0.65)，表示該河水來源相對多元，武洛溪(0.62)、六龜大橋(0.61)、高屏大橋(0.59)、三地門橋(0.58)、新旗山橋(0.58) 多樣性指數相似，表示這些取樣點塑膠微粒來源之複雜程度相似。而甲仙攔河堰、月眉橋、里嶺大橋、東港溪攔河堰，這又是另一群來源相似。

研究限制與未來展望

一、研究儀器限制

因本校無相關精密實驗設備儀器，我們很感謝某大學商借我檢測正金相顯微鏡、光譜儀等實驗器材，及教導如何測量塑膠微粒的知識。因為在高中端要取得這些儀器確實很困難，雖然路途遙遠，但它不吝幫忙，對於我們高中生想做科展給予莫大的支持。

二、研究概念及方法限制

缺乏統一性檢測塑膠微粒的標準方法和採樣方案，這些或許多多少少都會影響塑膠微粒的分析，導致結果不同且無法比較。而高中生都會遇到很多知識不足之處，雖然會請教專家學者，但是對於地球科學、生物、統計概念尚未學習到的知識，還稍嫌不足。本研究礙於時間限制，無法學習到較專業的資料統計和分析，建議未來可繼續進行更廣泛的探究。

三、未來展望

近程目標:我們著手持續跟北部大學合作，每個月收集溫室土壤及回收場的空氣，持續一年合作，看看溫室土壤及空氣是否會影響塑膠微粒量。

中程目標：因為時間不充裕，我其實還想研究伏流水中的塑膠微粒量，至今尚未看到有人研究此議題，且會持續進一步採樣如鳳山水庫（引自高屏溪水源）其進水及出水端之處理前後塑膠微粒差異，可評估高雄市民飲用水之品質。

柒、參考文獻資料

1. Fang, Q., Niu, S., & Yu, J. (2021). Characterising microplastic pollution in sediments from urban water systems using the diversity index. *Journal of Cleaner Production*, 318, 128537.
2. 林育仲 (2021), 台灣西南沿海沉積物塑膠微粒分布與組成。高雄:國立高雄科技大學海洋環境工程系暨研究所碩士論文。
3. Chen, C.F., Ju, Y.-R., Lim, Y. C., Hsu, N. H., Lu, K. T., Hsieh, S. L., Dong, C. D. and Chen, C. W. (2020). Microplastics and their affiliated PAHs in the sea surface connected to the southwest coast of Taiwan. *Chemosphere*, 254, 126818.
4. Chen, M.C., Chen, T. H. (2020). Spatial and seasonal distribution of microplastics on sandy beaches along the coast of the Hengchun Peninsula, Taiwan. *Marine Pollution Bulletin*, 151, 110861.
5. GESAMP. (2015). Microplastics in the Ocean. Available: <http://www.gesamp.org/work/groups/40>
6. Masura, J., Baker, J., Foster, G., Arthur, C., Herring, C. (2015). Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48.
7. Horton, A. A., Dixon, S. J. (2018). Microplastics: an introduction to environmental transport processes. *Wiley Interdisciplinary Reviews Water*, 5, e1268.
8. Lebreton, L., Andrady, A. (2019). Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. *Palgrave Communications*, 5.
9. Hale, R.C., Seeley, M.E., Guardia, M.JLa., Mai, L., Zen, E.Y. (2020) A Global Perspective on Microplastics. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125, e2018JC014719.
10. Hwang, J., Choi, D., Han, S., Jung, S.Y., Choi, J., Hong, J. (2020) Potential toxicity of polystyrene microplastic particles. *Sci Rep*, 10, 7391.
11. Zhang, W., Zhang, S., Wang, J., Wang, Y., Mu, J., Wang, P., Lin, X., Ma, D. (2017) Microplastic pollution in the surface waters of the Bohai Sea, China. *Environ Pollut*, 231, 541-8.

12. Gola, D., Tyagi, P.K., Arya, A., Chauhan, N., Agarwal, M., Singh, S.K., Gola, S. (2021) The impact of microplastics on marine environment: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 16, 100552.
13. Nie, H., Wang, J., Xu, K., Huang, Y., Yan, M. (2019) Microplastic pollution in water and fish samples around Nanxun Reef in Nansha Islands, South China Sea. *Sci Total Environ*, 696, 134022.
14. Zhu, L., Bai, H., Chen, B., Sun, X., Qu, K., Xia, B. (2018) Microplastic pollution in North Yellow Sea, China: Observations on occurrence, distribution and identification. *Sci Total Environ*, 636, 20-29.
15. 臺灣沿海塑膠微粒四季調查成果 黑潮海洋文教基金會
https://www.kuroshio.org.tw/newsite/article02.php?info_id=800
16. Dahms, H.T.J., van Rensburg, G.J., Greenfield, R. (2020) The microplastic profile of an urban African stream. *Sci Total Environ*, 731, 138893.
17. Lithner, D., Larsson, A., Dave, G. (2011) Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Sci Total Environ*, 409, 3309-24.
18. Wu, P., Tang, Y., Dang, M., Wang, S., Jin, H., Liu, Y., Jing, H., Zheng, C., Yi, S., Cai, Z. (2020) Spatial-temporal distribution of microplastics in surface water and sediments of Maozhou River within guangdong-Hong Kong-Macao greater bay area. *Sci. Total Environ.* 717, 135187.
19. Kaandorp, M. L. A., Lobelle, D., Kehl, C., Dijkstra, H. A., Sebille, E. (2023) Global mass of buoyant marine plastics dominated by large long-lived debris. *Nature Geoscience*, 16, 689-694.
20. Lahens, L., Strady, E., Kieu-Le, T.C., Dris, R., Boukerma, K., Rinnert, E., Gasperi, J., Tassin, B. (2018) Macroplastic and microplastic contamination assessment of a tropical river (Saigon River, Vietnam) transversed by a developing megacity. *Environ Pollut*, 236, 661-671.
21. Wang, C.H., Zhao, J., Xing, B.S. (2021). Environmental source, fate, and toxicity of microplastics. *J Hazard Mater.* 407, 124357.
22. Yukioka, S., Tanaka, S., Nabetani, Y., Suzuki, Y., Ushijima, T., Fujii, S., Takada, H., Tran, Q.V., Singh, S., 2020. Occurrence and characteristics of microplastics in surface road dust in kusatsu (Japan), da nang (vietnam), and kathmandu (Nepal). *Environ. Pollut.* 256, 113447.

【評語】 051903

本研究透過塑膠微粒的數量、尺寸、顏色、材質分析，探討塑膠微粒分布特性，留滯的時間等，對分析結果也有一些物理原因之解釋，有助於了解塑膠微粒的環境汙染問題，值得鼓勵。研究作品中提到，大多數人進行海洋的塑膠微粒研究，比較少進行河川中的調查，建議可以透過學術期刊、研究論文的回顧等彙整更多的資訊。如果將研究成果的呈現轉成圖形，會有助於科學視覺的呈現，也可以分析上、下游，主流、支流的塑膠微粒分布關係。

作品簡報



正本「塑」源—探討河川塑膠微粒

壹、研究動機

根據國際自然保護聯盟（簡稱 IUCN）的調查報告，微塑膠造成的污染遠超過我們想像。依 IUCN 統計，35% 的微塑膠污染來自合成纖維，也就是說，我們光是洗衣服，就會讓塑膠纖維釋放自然環境中。單就歐洲和中亞的數據推估，清洗衣服釋出的微塑膠纖維，等同**每人每週**往海洋丟棄 **54 個塑膠袋**。國中時期我曾跟老師研究過屏東萬年溪的塑膠微粒量，經過了幾年，我却很少看到有人研究河川的塑膠微粒，大都是著重於海洋塑膠微粒及海廢的移除。多項研究表明，海洋中**80%**以上的微塑膠來自陸地上的塑膠製品，淡水環境中的微塑膠含量與海洋中相當，甚至更嚴重。且我搜尋論文發現國內很少人研究河川，我看過研究鳳山河、烏溪以及淡水河，至於高屏溪都未有人研究過。所以讓我興起想研究此流域的想法。因為高屏溪流域是高屏的生命之河，若能從河流本身研究起，分析高屏溪的塑膠微粒材質、尺寸及種類，嘗試從自己家鄉做起，讓我們的環境更加美好。

貳、研究目的

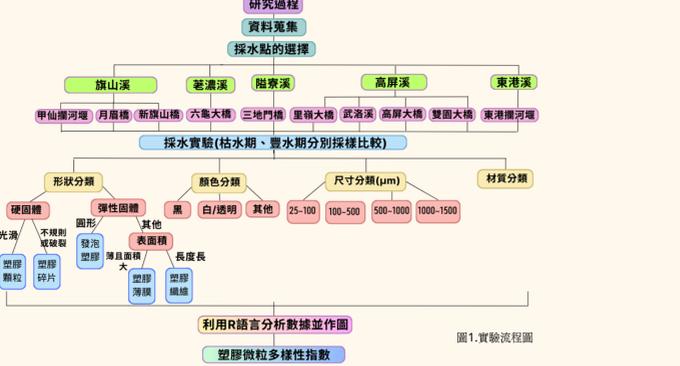
- 探討比較豐水期與枯水期高屏溪流域及東港溪塑膠微粒形狀、尺寸的數量之研究
- 分析豐枯水期高屏溪流域及東港溪之塑膠微粒顏色及材質差異性比較
- 新增里嶺大橋及武洛溪塑膠微粒形狀、尺寸的數量之研究
- 再利用R語言分析豐枯水期高屏溪流域及東港溪塑膠微粒採用聚類分析對形狀、尺寸來進行分類並作圖
- 高屏溪流域及東港溪之塑膠微粒多樣性指數研究

參、研究設備及器材

- 實驗設備儀器及軟體: 水流抽氣幫浦、震盪培養機、烘箱、磁石攪拌機、離心機、立體顯微鏡(三眼)、正金相顯微鏡、micro-FRIR光譜儀、持續打氣幫浦
- 實驗器材: 不銹鋼採水桶、童軍繩、玻璃瓶數個、無菌濾上杯、玻璃纖維濾紙、小樣品瓶數個、玻璃滴管和橡皮頭、去離子水洗滌瓶、不銹鋼鑷子、鐵勺、47mm過濾器、25mm過濾器、離心管數個、載玻片數個及金屬玻片、不銹鋼濾膜
- 實驗藥品: 雙氧水、氯化鈉、液態氮、氮氣
- 實驗樣本: 18個河川水樣本

肆、研究過程與方法

一、研究流程圖



二、文獻探討：

(一)蒐集塑膠微粒相關資料

【塑膠微粒的定義】：2009 年美國國家海洋暨大氣總署所定義，所謂塑膠微粒（或稱微塑膠）為尺寸小於 5 毫米（mm）之微小塑膠碎片，常見型態有顆粒、碎片、薄片與纖維等。常見的塑膠微粒材質有六種，分別為：聚丙烯（PP）、聚乙烯（PE）、聚對苯二甲酸乙二醇酯（PET）、聚苯乙烯（PS）、聚氯乙烯（PVC），以及俗稱尼龍（PA）。塑膠微粒它們可以是「原始」，指本身被製造成該體積，例如其他塑膠製品的顆粒原材料；或是「次生」，指因暴露於風、浪和紫外線下而分解或變形的塑膠碎片。微塑膠（<5毫米的塑膠）是近年來最受全球關注的新興污染物之一，由於其普遍存在且在全球環境（包括海洋、淡水、陸地和大氣），以及它們對水生生物造成的危害。二次塑膠微粒是指大型塑膠經由物理、化學和生物過程分解產生的物質，被認為是造成塑膠微粒污染的重要因素（初級和次級）可以透過不當處置和傾倒、污水外流、城市和雨水徑流、河流系統、海岸線、海洋活動甚至大氣排放而被輸送到海洋環境中。因此，海洋環境被認為是塑膠微粒最終匯聚點。了解河川環境中塑膠微粒的形狀大小、種類非常重要，因為這將影響海洋的塑膠微粒多寡及種類，進而影響水生生物。且污染物沿著食物鏈轉移到更高營養級以及人類消費的海鮮可能造成污染。這種污染對海洋生態系和人類健康將會構成風險。因此，除了了解塑膠微粒在河流中的分佈外，了解與塑膠微粒相關的材質來源也至關重要，以便評估塑膠微粒對河川的影響並製定明智的預防和控管措施。

(二)採水點的選擇

高屏溪地理位置：高屏溪原名：「下淡水溪」，發源於中央山脈玉山附近，流經高雄市、屏東縣，於林園區及新園鄉注入台灣海峽，全長171公里，流域面積3,257平方公里，其主要支流有荖濃溪、旗山溪、隘寮溪、濁口溪、美濃溪，其中以**荖濃溪及旗山溪為最大**。荖濃溪發源於中央山脈玉山東山東坡與秀姑巒山西南坡，曲折蜿蜒西南行，與旗山溪隔山平行，流經桃源、寶來、土壠、荖濃、六龜至大津納入濁口溪，過竹子門而出谷，入屏東平原。河流分歧成辮狀西南行，於磚子地北匯納東來之隘寮溪，後折向西南行，至壠口與南下之旗山溪相匯而成高屏溪，主支流共跨27個鄉市區。高屏溪流域地面水的利用方式，主要是透過興築攔河堰，引水到湖庫或自來水淨水廠。由上游到下游，分別是：甲仙攔河堰、月眉攔河堰、高屏溪攔河堰、東港溪攔河堰。甲仙攔河堰引水到南化水庫、月眉攔河堰引水到阿公店水庫、高屏溪攔河堰引水到澄清湖、鳳山水庫、東港溪攔河堰引水到鳳山水庫。（如圖2：高屏溪流域攔河堰圖）

本研究選定採樣點原則，首先是根據上中下游來選擇，並加入攔河堰，看看攔河堰是否會影響，最後加入周遭產業及人類行為來選取採樣點。從旗山溪上游的甲仙攔河堰為起始點，延著旗山溪往下，依序為月眉橋、新旗山橋，再取荖濃溪上游六龜大橋、隘寮溪上游三地門橋，再接高屏溪主流，高屏大橋下、雙園大橋以及東港溪攔河堰。因屏東是農業、養殖漁業為主，最後再加入里嶺大橋及武洛溪進行比較探究，所以本研究想綜合評估相關產業及人類生活行為，看看是否會影響流域各河段之塑膠微粒含量及成分。並從2024年1月24日(枯水期)至2024年5月15日(豐水期)期間共採集18個河川水樣本。

圖2 高屏溪流域攔河堰圖 <取自地球公民-大幫你去讀高屏溪(上)>

(三)高屏溪流域與東港溪之基本資料、各集水區面積、流經行政區域表及各單位監測點設置彙整表

表 1 高屏溪流域與東港溪主流支基本資料、表 2 高屏溪各集水區面積及行政區域表

河流別	發源地	流域面積(km2)	長度(km)	屏東縣行政區域	高雄市行政區域	河床坡降		
高屏溪流域	主流	高屏溪	中央山脈玉山群峰	3,257	171	鹽埔鄉、長治鄉*、萬丹鄉*、新園鄉*、九如鄉、里港鄉、屏東市*	大寮區、大樹區、林園區、鳳山區*、鳥松區*	河口至高屏大橋 1：1,025 高屏大橋至里嶺大橋 1：925
	幹流	荖濃溪	中央山脈玉山群峰	2,038	133	高樹鄉、里港鄉	桃源區、六龜區、美濃區、茂林區	里嶺大橋至隘寮溪 1：570 隘寮溪至濁口溪 1：200 濁口溪至東溪大橋 1：140
	支流	旗山溪	中央山脈玉山西南麓	842	118	里港鄉	那瑪夏區、甲仙區、杉林區、內門區、旗山區	河口至旗山橋 1：1,180 旗山橋至圭柔脚 1：300 圭柔脚至甲仙大橋 1：140
		隘寮溪	知本主山北大武山	829	69	霧台鄉、三地門鄉、瑪家鄉*、高樹鄉、泰武鄉*、里港鄉、鹽埔鄉、內埔鄉*		河口至埔羌排水 1：520 埔羌排水至三地門 1：220
東港溪	萬安社舊址上游	436	33			萬安溪與牛角灣合流點至佳平溪排水 1：200 1：380		

資料來源：經濟部水利署第七河川分署、111年度高屏溪流域河川水質採樣檢測分析工作計畫。

註：*表示僅部分行政區在高屏溪流域內。

表3 高屏溪流域主流支及東港溪各單位監測點設置彙整表

監測單位	河川	行政院環境保護署	高屏溪管理委員會	經濟部水利署南區水資源局	台灣自來水公司
旗山溪	上游	1.甲仙取水口	-	1.甲仙攔河堰(C01)	-
	中游	2.月眉橋(C02)	1.圓潭橋	-	-
	下游	3.新旗山橋(C03) 4.西門大橋(美濃溪) 5.旗南橋(美濃溪)	2.旗尾橋 3.美濃橋(美濃溪) 4.美濃溪匯流處 5.大洲大橋 6.中和堤防	-	-
荖濃溪	上游	6.新發大橋 7.六龜大橋(B01)	-	-	-
	中游	8.大津橋(濁口溪) 9.新寮橋(原為新寮吊橋)	7.舊寮護堤8.高美大橋	-	-
	下游	10.里港大橋	-	-	-
隘寮溪	上游	11.隘寮堰	9.三地門橋(B02)	-	-
	中游	12.南華大橋	10.新南橋、南勢橋(紅橋溪排水) 11.紅橋溪排水便橋	-	-
	下游	-	12.高樹大橋	-	-
高屏溪	上游	13.嶺口橋(由里嶺大橋取代)	-	-	-
	中游	14.九如橋(武洛溪) 15.高屏大橋(C04) 16.昌農橋(牛稠溪) 17.萬大橋	13.武洛溪排水便橋	2.高屏溪攔河堰	-
	下游	18.雙園大橋(C05)	14.萬丹排水便橋	-	-
東港溪	下游	-	-	-	東港攔河堰(B01)

資料來源：111年度高屏溪流域河川水質採樣檢測分析工作計畫。



圖3 採樣點地理位置圖

三、實驗流程

(以下實驗器材在使用前皆用Milli-Q水沖洗3次)

- 採樣：我們使用不銹鋼採樣器採集約2L表層河川水樣品，並在每個採樣點分別採集三個重複樣本。水樣本儲存於乾淨的玻璃瓶中，並放置於4℃冰箱內保存。
- 過濾+烘乾：水流抽氣幫浦裝水循環，並將抽氣管連接 47mm 玻璃過濾器，且放入 47mm玻璃纖維濾紙，用玻璃過濾器藍色夾子夾住並抽氣。過濾後用 Milli-Q水把玻璃壁沖洗 2-3 次，再將濾紙放入培養皿中，培養皿底部需鋪設鋁箔紙。培養皿放入烘箱（50℃，至少 4-6 小時以上）。
- 消化：雙氧水倒入 250ml 燒杯中，用不銹鋼鑷子把濾紙靠在 50 or 100ml 燒杯壁上，用玻璃滴管吸取雙氧水，潤濕濾紙，再用鐵勺刮除濾紙上的 Sample。再將雙氧水統一加到 30ml，用鋁箔紙封蓋燒杯口再消化(震盪培養機/磁石攪拌機，100rpm 24hr)。
- 過濾+烘乾：水流抽氣幫浦裝水循環，並將抽氣管連接 25mm 玻璃過濾器，且放入 25mm不鏽鋼濾膜，用玻璃過濾器銀色夾子夾住並抽氣。過濾結束後，用Milli-Q水把玻璃壁沖洗 2-3 次，再將濾膜放入培養皿，培養皿放入烘箱(50℃，至少 4-6 小時以上)。
- 分離：不銹鋼鑷子把濾膜靠在離心管壁，玻璃滴管吸取過飽氯化鈉水溶液(使用大於密度1g/ml的試劑進行密度分離，例如氯化鈉NaCl密度1.2g/mL、氯化鈣CaCl2密度1.3g/mL)，並潤濕濾紙，用鐵勺刮除不銹鋼濾膜上的 Sample。將過飽氯化鈉水溶液統一加到 30ml，放入離心機(2500rpm 10min)。離心 2 次，離心結束後，放置管架上，待過濾用。
- 過濾+烘乾：重複步驟(二)。
- 計數：將不銹鋼濾膜(Sample)放在載玻片上，放置顯微鏡平台上，挑選擬以微型塑膠顆粒進行分類+計數。
 - 用形狀分類：塑膠碎片(Fragment)、塑膠薄膜(Film)、塑膠纖維(Fiber)、塑膠顆粒(Pellet)、發泡塑膠(Foam)。
 - 用顏色分類：白色或透明(Transparent or White)、黑色(Black)、其他顏色(Other)。
 - 用大小分類：25-100μm、100-500μm、500-1000μm、1000-1500μm。
- 使用micro-FRIR光譜儀來定性:全程需要戴手套，因為需使用液態氮，利用紅外線顯微鏡來簡化分析流程。

四、實驗分析

- 採用R語言來用於統計分析、繪圖以及資料探勘，利用聚類分析對塑膠微粒形狀、大小分佈進行分類。集群分析可繪製成樹狀圖來分析。
- 塑膠微粒多樣性指數之計算係基於辛普森多樣性指數，其是被用來評估樣品中塑膠微粒多樣性之指標，根據其樣品中塑膠微粒之不同特性之比例進行計算，其計算公式如下所示：

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$$

其中，S 為塑膠微粒種類之數量，Pi 為類別 i 中塑膠微粒於樣品中之比例，如塑膠微粒形狀比例，將樣品中之 5 種形狀比例依公式計算後即獲得該樣品之塑膠微粒形狀多樣性指數，其 SDI 最小值為 0，最大值為 1，SDI 指數越大其代表樣品中之塑膠微粒多樣性就越大，反之，其 SDI 值越接近 0 則表示其塑膠微粒多樣性越低。本研究參考林育仲等人（2021）之研究，以塑膠微粒尺寸（SDI_s）、形狀（SDI_{sh}）之多樣性指數綜合計算出塑膠微粒綜合多樣性指數（MPDII）以了解該河流採樣點其塑膠微粒特性之整體多樣性，其公式如下所示：

$$MPDII = (SDI_s \times SDI_{sh})^{\frac{1}{2}}$$

MPDII 與 SDI 值相同，其範圍介於 0-1 之間，MPDII 指數越大其代表該採樣點中之塑膠微粒綜合多樣性就越大；反之，其 MPDII 值越接近 0 則表示其塑膠微粒綜合多樣性越低。

伍、研究結果與討論

一、探討比較豐水期與枯水期高屏溪流域及東港溪塑膠微粒形狀、尺寸的數量之研究

本研究選定採樣點甲仙攔河堰、月眉橋、新旗山橋、高屏大橋、雙園大橋、六龜大橋、三地門橋、東港溪攔河堰，共8個採水點進行採水，初步視觀方式(光學顯微鏡)判斷分類為塑膠纖維、塑膠薄膜、塑膠碎片、塑膠顆粒及發泡塑膠等五大類。並記錄樣品顆粒之數目、形狀、尺寸、顏色，判斷是否為塑膠微粒的條件參考 GESAMP 與 NOAA，若不含細胞特徵、纖維粗細度均勻一致、單一顏色、以鑷子刮過而不破碎，則可判斷為塑膠顆粒(GESAMP, 2019; Chen et al., 2020)。定量則參考 NOAA 與 MSFD 建議，除顆粒數/m3海水或顆粒數/g (Masura et al., 2015)。

以形狀區分(圖4)

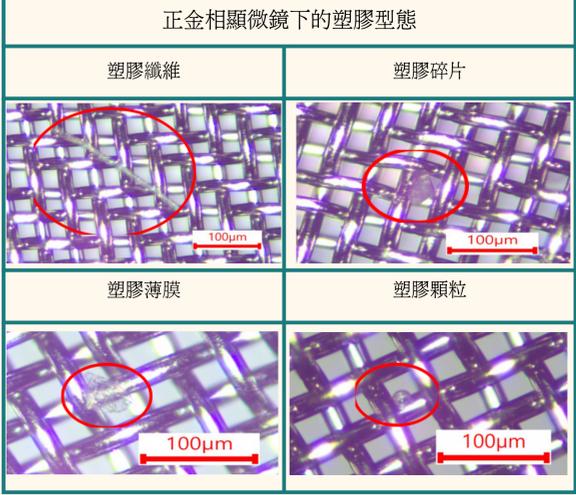


圖4 顯微鏡下的塑膠型態

表4 枯水期採樣點之塑膠微粒形狀數量

區域 (枯水期)	形狀數量 (個/L)					
	塑膠纖維	塑膠碎片	塑膠薄膜	塑膠顆粒	發泡塑膠	總和
甲仙攔河堰	25	19	6	-	-	50
月眉橋	19	6	6	-	-	31
新旗山橋	31	12	6	-	-	49
六龜大橋	25	6	-	-	-	31
三地門橋	38	6	25	-	-	69
高屏大橋	6	-	31	6	-	43
雙園大橋	19	13	13	-	-	45
東港溪攔河堰	25	13	12	-	-	50
總和	188	75	99	6	-	368
百分比	51.1%	20.4%	26.9%	1.6%	-	

-樣本三重複，未檢測出

表5 豐水期採樣點之塑膠微粒形狀數量

區域 (豐水期)	形狀數量 (個/L)					
	塑膠纖維	塑膠碎片	塑膠薄膜	塑膠顆粒	發泡塑膠	總和
甲仙攔河堰	12	13	19	-	-	44
月眉橋	12	19	13	-	-	44
新旗山橋	12	25	12	-	-	49
六龜大橋	12	13	6	-	-	31
三地門橋	13	19	12	-	-	44
高屏大橋	19	19	12	-	-	50
雙園大橋	18	19	19	-	-	56
東港溪攔河堰	19	19	13	-	-	51
總和	117	146	106	-	-	369
百分比	31.7%	39.6%	28.7%	-	-	

-樣本三重複，未檢測出

結果分析與討論

如表8、9無論在枯水期或豐水期，在高屏溪流域8個取樣點中，唯獨六龜大橋、月眉橋的塑膠微粒具有顏色，其他取樣點皆是白色/透明的。對於大量白/透明的塑膠微粒，與前人研究一致(Dahms et al., 2000; Wu et al., 2020)，這可能部份歸因於自然環境中風化過程的褪色，或是紫外線、其他老化劑導致顏色褪色。
 ◎以材質區分

使用具有衰減全反射(ATR)模式的微傅立葉變換紅外線(μ-FTIR)光譜(Shimadzu, AIM-9000, 日本)並分析所有顆粒，每次掃描平均進行64次掃描，解析度為0.25cm⁻¹。在這項研究中，從可疑顆粒的不同點獲得了三次ATR-FTIR光譜，將光譜直接與聚合物庫進行比較，以驗證聚合物類型。選取質量指數>70%的匹配範圍，則可以知道取樣水中含有何種材質之塑膠微粒。

表10 枯水期採樣點之塑膠微粒材質分類百分比

區域 (枯水期)	材質分類百分比(%)								
	PET	PE	PVC	PP	PS	PC	EVA	CA	ASA
甲仙攔河堰				40				35	25
月眉橋		100							
新旗山橋		62.5						37.5	
高屏大橋		57.1		28.5			14.4		
雙園大橋		71.4		28.6					
六龜大橋		40		40				20	
三地門橋				54.5	27.2			18.3	
東港溪攔河堰		25		75					
總平均		44.5		33.3	3.4		1.8	13.9	3.1

表11 豐水期採樣點之塑膠微粒材質分類百分比

區域 (豐水期)	材質分類百分比(%)										
	PET	PE	POM	PP	PS	PC	PAA	ABS	EP	PVC	
甲仙攔河堰		75.1			24.9						
月眉橋	10	82	8								
新旗山橋	38.8	61.2									
高屏大橋	15	62			16		7				
雙園大橋	5	75		20							
六龜大橋								65	35		
三地門橋	72		14			14					
東港溪攔河堰		75						25			
總平均	17.6	53.8	2.8	2.5	5.1	1.8	0.9	3.1	8.1	4.4	

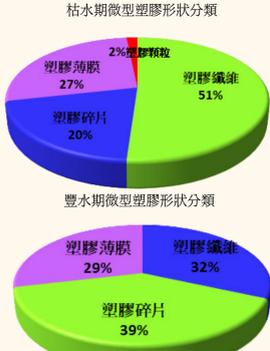


圖5 高屏溪流域枯水期微型塑膠微粒形狀分類

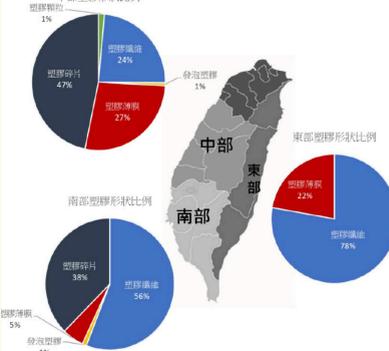


圖6 台灣微型塑膠微粒形狀分布(資料來源:111年度海漂(底)垃圾分布及微型塑膠採樣檢測計畫成果報告書)

結果分析與討論

如表4、圖5在枯水期時，正逢寒假三地門橋是遊客玩水的地方，周遭充滿垃圾及廢棄鋁箔飲料，所以量測到塑膠微粒數值最高。而塑膠纖維是最常見的形狀(51.1%)。如圖6、塑膠碎片(20.4%)、塑膠薄膜(26.9%)、塑膠顆粒(1.6%)。如表5、圖5在豐水期時，雙園大橋靠近林園，工業空氣污染較嚴重，所以量測到塑膠微粒數值最高。而塑膠碎片是最常見的形狀(39.6%)、而塑膠纖維(31.7%)也不相上下、塑膠薄膜(28.7%)。由此得知，枯水期是塑膠纖維居多，而豐水期時塑膠碎片占大宗，而黑潮海洋文教基金會於2018年夏天(豐水期)發表，關於台灣海域第一份塑膠微粒分佈紀錄資中，表示台灣西南部海域最高的也是塑膠碎片，這和前人研究不謀而合(Kaandorp, Mikael L. 2023; 黑潮島航, 2018,2019, 2020)。我們在豐水期量測到塑膠微粒量不相上下，推測可能跟取水時間有關，因剛正式進入豐水期，塑膠廢棄物還沒有經過長時間大量沖刷，所以豐水期塑膠微粒數值差不多。

以尺寸區分(圖8):

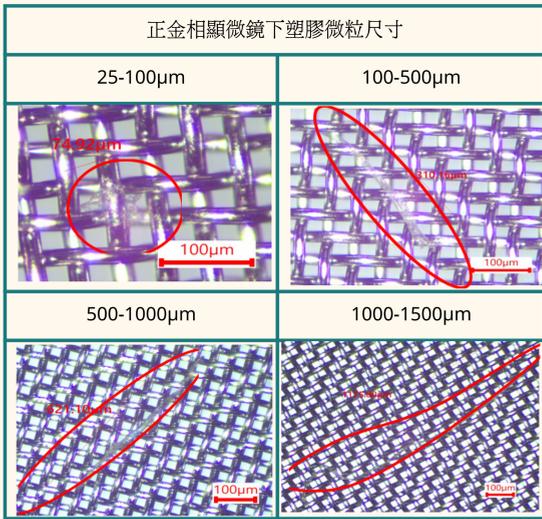


圖8 顯微鏡下塑膠微粒尺寸

表6 枯水期採樣點之塑膠微粒尺寸數量

區域 (枯水期)	尺寸(個/L)				
	25-100 µm	100-500 µm	500-1000 µm	1000-1500 µm	總和
甲仙攔河堰	18	26	6	-	50
月眉橋	6	25	-	-	31
新旗山橋	18	12	19	-	49
高屏大橋	31	12	-	-	43
雙園大橋	32	13	-	-	45
六龜大橋	12	13	6	-	31
三地門橋	12	38	6	13	69
東港溪攔河堰	12	38	-	-	50
總和	141	177	37	13	368
百分比	38.3	48.1	10.1	3.5	

-樣本三重複，未檢測出

表7 豐水期採樣點之塑膠微粒尺寸數量

區域 (豐水期)	尺寸(個/L)				
	25-100 µm	100-500 µm	500-1000 µm	1000-1500 µm	總和
甲仙攔河堰	32	12	-	-	44
月眉橋	32	6	6	-	44
新旗山橋	31	12	-	-	49
高屏大橋	25	25	-	-	50
雙園大橋	32	12	6	6	56
六龜大橋	6	19	6	-	31
三地門橋	25	19	-	-	44
東港溪攔河堰	6	39	6	-	51
總和	189	144	24	12	369
百分比	51.2	39	6.5	3.3	

-樣本三重複，未檢測出

結果分析與討論

如表6在枯水期時，最多塑膠微粒尺寸為100-500 µm，三地門橋是具有最多微塑膠69個/L，其次是甲仙攔河堰、東港溪攔河堰都是50個/L，和新旗山橋49個/L相差不多。實驗發現，從甲仙攔河堰到月眉橋的塑膠微粒，有降低的趨勢，而新旗山橋到高屏攔河堰，塑膠微粒也有降低。推測因為枯水期，流速非常緩慢和水停留時間較長，水中大部分塑膠微粒因尺寸與密度大而沉入沉積物中。如表7在豐水期時，水流速度快，最多塑膠微粒尺寸為25-100 µm，從甲仙攔河堰到雙園大橋、六龜大橋到三地門橋，這些塑膠微粒都有緩慢增加，推測較小塑膠微粒較輕、密度較小，從上游會積累至下游。此一現象正是我們所擔心的，小型微塑膠對海洋浮游動物的毒性比大尺寸微塑膠更大，因為小於20µm的塑膠微粒，可以穿過細胞膜(R.C. Hale, et al, 2020)，直徑小於1.5µm的顆粒可以直接損傷細胞(J. Hwang, et al, 2020)。而較大塑膠微粒，若透過動物的攝取，並導致生物累積和生物放大作用，透過食物鏈層層轉移，那海洋生態系統風險不容忽視，對海洋生物甚至高級消費者的人類而言，危害堪慮。

二、分析豐枯水期高屏溪流域及東港溪之塑膠微粒顏色及材質差異性比較

以顏色區分(圖9):

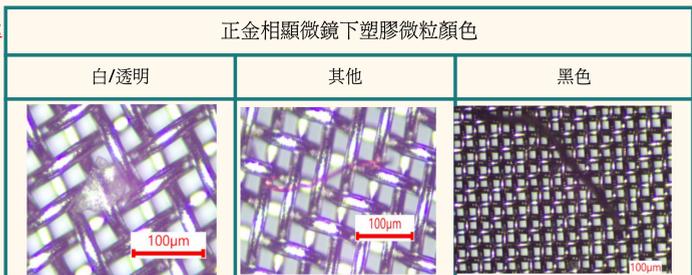


圖9 顯微鏡下塑膠微粒顏色

表8 枯水期採樣點之塑膠微粒顏色百分比

區域 (枯水期)	塑膠微粒顏色百分比(%)		
	白/透明	黑色	其他
甲仙攔河堰	100	0	0
月眉橋	100	0	0
新旗山橋	100	0	0
高屏大橋	100	0	0
雙園大橋	100	0	0
六龜大橋	81	0	19
三地門橋	100	0	0
東港溪攔河堰	100	0	0

表9 豐水期採樣點之塑膠微粒顏色百分比

區域 (豐水期)	塑膠微粒顏色百分比(%)		
	白/透明	黑色	其他
甲仙攔河堰	100	0	0
月眉橋	86	14	0
新旗山橋	100	0	0
高屏大橋	100	0	0
雙園大橋	100	0	0
六龜大橋	100	0	0
三地門橋	100	0	0
東港溪攔河堰	100	0	0

枯水期微型塑膠材質分類

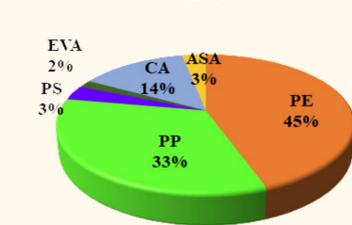


圖18 高屏溪流域豐枯水期塑膠微粒材質分類

豐水期微型塑膠材質分類

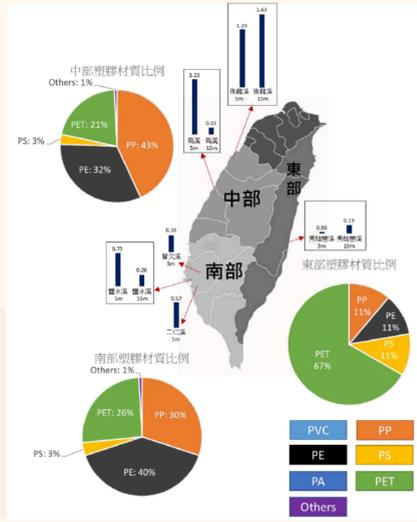
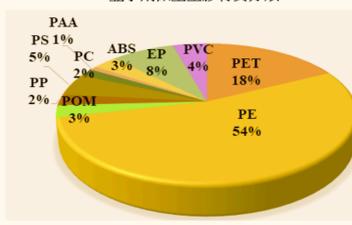


圖19 台灣微型塑膠材質分布(資料來源:111年度海漂(底)垃圾分布及微型塑膠採樣檢測計畫成果報告書)

結果分析與討論

如表10、圖18在枯水期時，高屏溪流域PE(44.5%)、PP(33.3%)是佔最大量，與111年度海漂底垃圾分布成果一致如圖19，而其他國家PE和PP也是河流中最常見的塑膠微粒的類型，皆與前人研究一致(Campanale et al., 2020; Lahenset et al., 2018; Linet et al., 2018; Mintenig et al, 2020)，這來源最主要是它們在全球被廣泛生產及使用(歐洲塑料, 2022年)。此外，PE和PP由於密度比水低(0.91-0.97g/cm³)，所以很容易在水中流動懸浮，同時風化成更小的碎片，而這二者相比，PE又比PP容易脆裂，所以才佔最大量比例。高屏溪攔河堰是台灣唯一用橡皮製作的橡皮壩攔河堰。它是一種薄壁水工構造物，是採用鋼筋或維納斯布等材料作為受力骨架，利用氯丁橡膠作保護層，產生膠合及密封作用。橡皮壩的特點是建造成本較低，不阻水、不漏水、抗震性能強，對基地要求低及施工期間短，且能在洪水期間自動倒伏洩洪，防止攔河堰上游水位過高，形成洪水氾濫。然其缺點是橡皮壩易遭破壞或磨損，故壽命較一般混凝土攔河堰為短。而我們剛好測出高屏大橋取水點有EVA，EVA是乙烯酸乙烯酯共聚物，可用來製作橡膠。我們推測這點EVA，應該跟橡皮壩有相關性。如表11、圖18在豐水期時，發現了10種聚合物類型，即PP、PE、PS、PET、PC、POM、PAA、EP、ABS、PVC，而PP廣泛應用於塑膠容器、食品包裝、地毯、管道等多種產品，而PE則常用於塑膠袋、塑膠瓶、食品包裝膜、農用薄膜、漁網、繩索等。此外PS也是一種廣泛應用於多種產品的低成本塑料，通常用於包裝物品和各種一次性餐具產品，也會應用於浮標。多項研究也報告這些聚合物(PP、PE、PS)由於廣泛的應用和易於運輸而成為最常見的塑膠微粒(Wang et al., 2021; Wu et al., 2020; Yukioka et al., 2020)。除上述主要成分外，PET主要用於漁線或合成紡織品的單絲，或養殖中防水膜或棚膜，也可為服裝原料，這會表明塑膠來源。PVC是應用最廣泛的聚合物之一，由於其分子結構的變化和獨特化學物質，進入環境後會釋放致癌單體和固有的塑化劑，ABS、PVC已被認為對聚合物的危險指數和微塑膠污染風險有很高關係(Lithner et al., 2011)。

三、新增採水點---里嶺大橋及武洛溪塑膠微粒形狀、尺寸的數量之研究

(一)塑膠微粒形狀、尺寸的數量

表12. 新增採樣點之塑膠微粒形狀數量

區域	形狀數量(個/L)					
	纖維	碎片	薄膜	顆粒	發泡塑膠	總和
甲仙攔河堰	12	13	19	-	-	44
月眉橋	12	19	13	-	-	44
新旗山橋(旗山區)	12	25	12	-	-	49
六龜大橋	12	13	6	-	-	31
三地門橋	13	19	12	-	-	44
里嶺大橋(里港區)	19	13	13	6	-	51
武洛溪(九如區)	19	19	19	-	-	57
高屏大橋(大樹區)	19	19	12	-	-	50
雙園大橋(林園區)	18	19	19	-	-	56
東港溪攔河堰	19	19	13	-	-	51

-樣本三重複，未檢測出

表13 新增採樣點之塑膠微粒尺寸數量

區域	尺寸(個/L)				
	25-100 μm	100-500 μm	500-1000 μm	1000-1500 μm	總和
甲仙攔河堰	32	12	-	-	44
月眉橋	32	6	6	-	44
新旗山橋(旗山區)	31	12	-	6	49
六龜大橋	6	19	6	-	31
三地門橋	25	19	-	-	44
里嶺大橋(里港區)	38	13	-	-	51
武洛溪(九如區)	19	32	-	-	57
高屏大橋(大樹區)	25	25	-	-	50
雙園大橋(林園區)	32	12	6	6	56
東港溪攔河堰	6	39	6	-	51

-樣本三重複，未檢測出

結果分析與討論

里嶺大橋25~100μm的數量有38(個/L)，但是到武洛溪(九如) 25~100 μm的數量有就只剩下19(個/L)，我們推論減少的塑膠微粒有可能被浮游生物或魚類等誤食(Zhang W et al.,2017)。高屏大橋100~500μm的數量有25 (個/L)，但是到雙園大橋100~500μm的數量就只有12 (個/L)，而25~100μm的數量增加到32(個/L)，我們推論尺寸大的經過分解、腐蝕、破碎成較小尺寸的塑膠微粒。

表14 高屏流域鄰近鄉鎮區人口數 (資料來源:屏東市、高雄市戶政資訊服務網、103年高屏溪水系高屏溪治理計畫書)

左岸	鄉鎮市區	總人口數(2024年5月)	高屏流域旁村里	高屏流域旁約略人口數	經濟結構及產生的廢棄物
左岸	里港鄉	25,532	2村	2,840	農業(農資廢棄材)、養殖業(魚蝦)、畜牧業(豬鴨雞)
	九如鄉	21,602	4村	5,058	農業(農資廢棄材)、養殖業(魚蝦)、畜牧業(豬鴨雞)
	屏東市	193,288	4里	13,871	家庭廢水
	萬丹鄉	49,171	5村	7,442	農業(農資廢棄材)、養殖業(魚鯊)、畜牧業(豬牛)
	新園鄉	32,462	6村	17,332	農業(農資廢棄材)、養殖業(鰻蝦)、畜牧業(豬鴨)
右岸	旗山區	34,107	1里	2,173	農業(農資廢棄材)
	大樹區	40,404	8里	21,615	農業(農資廢棄材)、家庭廢水(佛光山、統嶺里)
	大寮區	111,946	5里	18,336	工業廢水、畜牧業(豬)
	林園區	68,103	4里	12,027	石化工業廢水
全河段		576,615		100,694	

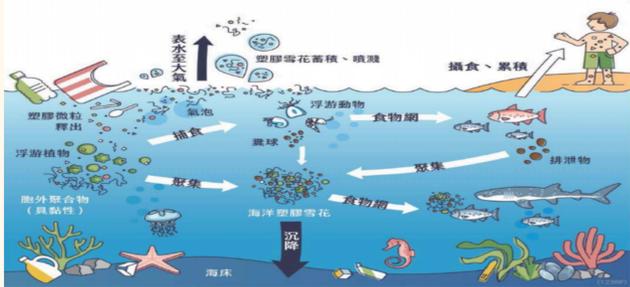


圖20 海洋生物放大作用(資料來源:國立海洋大學環應所許瑞棠、龔國慶)

結果分析與討論

如表14屏東縣與高雄市各項產業非常豐富，從旗山順著高屏溪往下，高屏溪右岸是流經大樹區種植荔枝、鳳梨、木瓜，大寮區是工業及養豬，所以會有工業廢水及豬糞問題，再往下就是林園區，發展石化產業，工廠林立。而高屏溪左岸里港鄉是養殖泰國蝦及淡水魚(鯉魚、吳郭魚)，種植蓮霧、養豬還有砂石場林立，接著是九如鄉，養殖漁業方面相似里港鄉，種植檸檬、養豬及雞，再往下游就是屏東市，有民生廢水及工業廢水，萬丹鄉以種植紅豆為大宗、養豬及牛，新埤則有養殖魚和蟹等養殖漁業。以上農業、畜牧及養殖漁業廢水最後匯入高屏溪、注入台灣海峽西南海域。所以綜觀微塑膠的多寡主要受人為因素、周遭環境、水流及天氣條件等環境因素影響(Nie H et al., 2019; Zhu L et al., 2018)，密集的經濟活動會使水質惡化，就高屏溪流左岸和右岸比較，塑膠微粒量、形狀、大小差異不大，但令我們擔憂與關注的是這些各種塑膠微粒，透過海洋生物之食物鏈層層轉移「生物放大作用」下如圖20，以及引自高屏溪水取水至水庫或淨水廠淨化時，能否徹底去除，對身居高級消費者的人類而言，對食安風險及生物體之健康、危害之巨大，特別是國內少有研究單位及機構在進行高屏溪流域塑膠微粒含量之調查與研究，令人堪憂！

(三) 各採水點在豐枯水期之塑膠微粒尺寸所占百分比

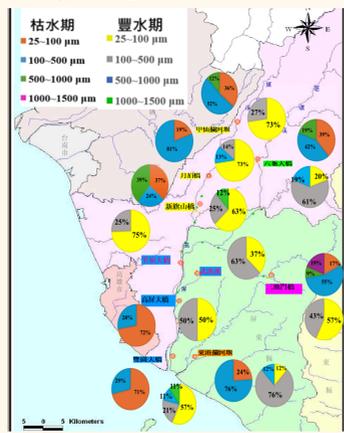


圖22 各採水點在豐枯水期之塑膠微粒尺寸所占百分比圖

結果分析與討論

同取水點豐枯水期塑膠微粒形狀數量的比較，由圖21我們發現，在枯水期時纖維比同地點豐水期時多，唯獨高屏大橋相反。同地點的碎片，大多是豐水期大於枯水期，但甲仙攔河堰卻相反，高屏大橋沒有量測到。圖22中，枯水期時甲仙攔河堰、月眉橋塑膠微粒尺寸大約都是100~500 μm佔大宗，但是到高屏大橋、雙園大橋時，卻變成25~100 μm為大宗，我們推論尺寸大的經過分解、腐蝕、破碎成較小尺寸的塑膠微粒。豐水期時25~100 μm為大宗，我們推測，水流速度快，從甲仙攔河堰到雙園大橋、六龜大橋到三地門橋，這些塑膠微粒都有緩慢增加，推論顆粒較小塑膠微粒質地較輕、密度較小，從上游漂流至下游積累造成。

(四) 高屏溪支流-牛稠溪水利工程整治效果

取水點	土地利用	累積人口數(約)	新增人口數	人口密度(人數/平方公里)	塑膠微粒
海豐濕地	河川區	981		6.202346	146
崇賢橋圳	堤防區	3,590	2,609	8.090547	83
瑞光路口	住宅區	21,242	17,692	42.39077	62
廣東橋	住宅區	30,048	8,806	21.02698	173
曉利橋	住宅區-牛欄公園	42,466	12,418	23.70617	87
長壽橋	商業區	58,277	15,811	25.60487	167
玉皇宮	住宅區-青年公園	60,944	2,667	4.499463	30
希望之橋	住宅區-復興公園	99,570	38,626	36.47341	67

圖23屏東市枯水期牛稠溪塑膠微粒含量(資料來源:第61屆科展作品「塑」人之亂-探討萬年溪塑膠微粒及人口數的關係)



圖24屏東市牛稠溪匯入高屏溪流域示意圖

結果分析與討論

屏東市萬年溪經過希望之橋後與殺蛇溪共同匯集成為「牛稠溪」，圖23從本人第61屆全國科展國中組地球科學科第三名「塑」人之亂-探討萬年溪塑膠微粒及人口數的關係，可發現經過三座公園淨化水質，整治水利工程後，在希望之橋取水點塑膠微粒含量減少，最後由牛稠溪在萬丹鄉赤山巖附近注入高屏溪如圖24，且如表12、圖21可發現雙園大橋出口，塑膠微粒檢測之含量有略少現象，可以驗證河川整治效果。

四、再利用R語言分析豐枯水期高屏溪流域及東港溪塑膠微粒，採用聚類分析對形狀、尺寸來進行分類並作圖

我們利用R語言來對塑膠微粒形狀、大小進行聚類分析並繪製不同時期的樹狀圖，分別是形狀和尺寸(如圖25-30)

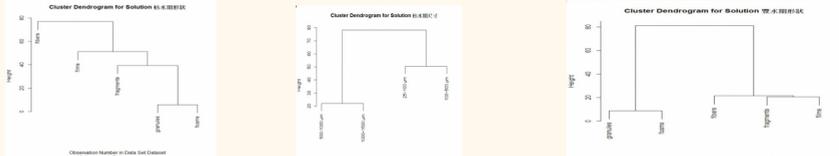


圖25 枯水期採樣點形狀樹狀圖

圖26 枯水期採樣點尺寸樹狀圖

圖27 豐水期採樣點形狀樹狀圖

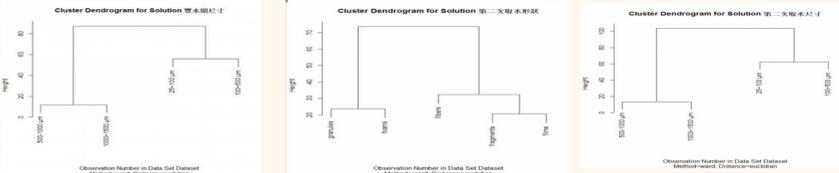


圖28 豐水期採樣點尺寸樹狀圖

圖29 10處採樣點形狀樹狀圖

圖30 10處採樣點尺寸樹狀圖

結果分析與討論

我們利用R語言來對塑膠微粒形狀、大小進行聚類分析並繪製不同時期的樹狀圖，分別是形狀和尺寸(如圖25-30)。從尺寸分類來看，豐枯水期差異不大，若加入里嶺大橋及武洛溪塑膠微粒後，還是可以分成2組，用聚類分析的好處可以了解個別變量之間關係的親疏程度，可再做迴歸分析。而從形狀分類來看，枯水期粒徑就必須分成2群較恰當，分別是纖維一群，另一群由碎片、薄膜、顆粒及發泡塑膠組成。而豐水期和加入里嶺大橋及武洛溪塑膠微粒，也是分成2群，但是組成稍微和枯水期不同，一群為顆粒及發泡塑膠組成，另一群由纖維、碎片、薄膜組成。

五、高屏溪流域及東港溪之塑膠微粒多樣性指數研究

表15 高屏溪流域及東港溪 枯水期之塑膠微粒多樣性指數比較

區域	採樣點之塑膠微粒多樣性指數			位於高屏溪流流域位置
	形狀多樣性	尺寸多樣性	綜合多樣性指數	
	SDIsh	SDIs	MPDII	
甲仙攔河堰	0.6	0.6	0.6	上游
月眉橋	0.57	0.32	0.43	上游
新旗山橋	0.54	0.67	0.6	上游
六龜大橋	0.32	0.66	0.46	上游
三地門橋	0.57	0.63	0.6	中游
高屏大橋	0.45	0.41	0.43	中游
雙園大橋	0.67	0.42	0.53	下游
東港溪攔河堰	0.64	0.37	0.49	下游

表16 高屏溪流域及東港溪 豐水期之塑膠微粒多樣性指數比較

區域	採樣點之塑膠微粒多樣性指數			位於高屏溪流流域位置
	形狀多樣性	尺寸多樣性	綜合多樣性指數	
	SDIsh	SDIs	MPDII	
甲仙攔河堰	0.67	0.41	0.52	上游
月眉橋	0.65	0.44	0.54	上游
新旗山橋	0.63	0.54	0.58	上游
里嶺大橋	0.74	0.39	0.54	上游
武洛溪	0.68	0.57	0.62	中游
六龜大橋	0.66	0.57	0.61	中游
三地門橋	0.67	0.5	0.58	中游
高屏大橋	0.67	0.51	0.59	中游
雙園大橋	0.68	0.62	0.65	下游
東港溪攔河堰	0.67	0.4	0.52	下游

結果分析與討論

本研究以多樣性指數了解河川水中塑膠微粒組成的複雜程度，從多樣性指數計算，結果如上表所示，如表15枯水期時甲仙攔河堰、新旗山橋、三地門橋的多樣性指數最高(0.6)，表示該河水來源相對多元，但從MPDII值顯示月眉橋(0.43)、高屏大橋(0.43)、六龜大橋(0.46)相似，表示此取樣點塑膠微粒來源之複雜程度相似。如表16豐水期時，雙園大橋多樣性指數最高(0.65)，表示該河水來源相對多元，武洛溪(0.62)、六龜大橋(0.61)、高屏大橋(0.59)、三地門橋(0.58)、新旗山橋(0.58)多樣性指數相似，表示這些取樣點塑膠微粒來源之複雜程度相似。而甲仙攔河堰、月眉橋、里嶺大橋、東港溪攔河堰，這又是另一群來源相似。

陸、結論

一、我們所調查的枯水期高屏溪流域中，都存在著

塑膠微粒。如圖31所示：枯水期是塑膠纖維居多，其次是塑膠薄膜，而尺寸大小最多是100~500 μm，其25~100 μm。在8個取樣點中，唯獨六龜大橋的塑膠微粒具有顏色，其他取樣點皆是白色/透明的。高屏溪流域中塑膠微粒材質PE、PP是佔最大量。至從台灣在2018年開始禁止使用柔珠添加於洗面乳、牙膏和磨砂膏等個人清潔用品後，我們有發現河川中的柔珠材質大大減少。若我們可以從日常生活減少一次性垃圾的使用，相信PE及PP也可以降低。實驗發現，從甲仙攔河堰到月眉橋的塑膠微粒，有降低的趨勢，而新旗山橋到高屏攔河堰，三地門橋到東港溪攔河堰，塑膠微粒也有降低，這和枯水期流速緩慢和水停留時間較長，水中大部分塑膠微粒因尺寸而沉入沉積物中。本研究以多樣性指數了解河川水中塑膠微粒組成的複雜程度，從多樣性指數計算，甲仙攔河堰、新旗山橋、三地門橋的多樣性指數最高(0.6)，表示該河水來源相對多元，但從MPDII值顯示月眉橋(0.43)、高屏大橋(0.43)、六龜大橋(0.46)相似，表示此取樣點塑膠微粒來源之複雜程度相似。

二、如圖32所示：在豐水期時，而塑膠碎片是最常見的形狀(39.6%)，而塑膠纖維(31.7%)、塑膠薄膜(28.7%)。最多塑膠微粒尺寸為25~100 μm，在8個取樣點中，唯獨月眉橋的塑膠微粒具有顏色，其他取樣點皆是白色/透明的。高屏溪流域中塑膠微粒材質PE佔最大量。雙園大橋多樣性指數最高(0.65)，表示該河水來源相對多元，武洛溪(0.62)、六龜大橋(0.61)、高屏大橋(0.59)、三地門橋(0.58)、新旗山橋(0.58)多樣性指數相似，表示這些取樣點塑膠微粒來源之複雜程度相似。而甲仙攔河堰、月眉橋、里嶺大橋、東港溪攔河堰，這又是另一群來源相似。

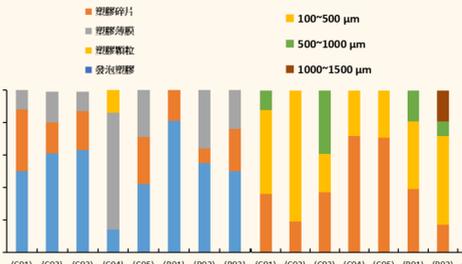


圖31 枯水期之塑膠微粒形狀、尺寸百分比圖

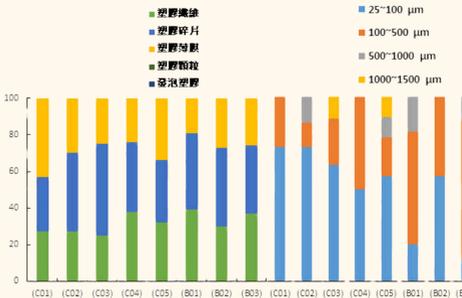


圖32 豐水期之塑膠微粒形狀、尺寸百分比圖

三、從文獻探討發現高屏溪出口塑膠微粒偏高，尤以PE、PP、PET為主，外加PVC，與我們所做吻合，且海洋大部份來自河川溪流，除監測海洋，更應注重河川溪流(汙染來源、形狀、經濟產業結構等)，所以分析河川溪流的塑膠微粒，甚至土壤或空氣中之塑膠微粒含量值得未來更深入關注與探究。

四、本研究為國內首次對台灣第二大河川進行將近一年流域中塑膠微粒材質、類別、顆粒大小及含量多寡等進行多樣化分析，此重大發現研究可供相關主管機關及學術研究機構之參考價值。

研究限制與未來展望

一、研究儀器限制
因本校無相關精密實驗設備儀器，我們很感謝某大學借給我測正金相顯微鏡、光譜儀等實驗器材，及教導如何測量塑膠微粒的知識。因為在高中端要取得這些儀器確實很困難，雖然路途遙遠，但他不吝幫忙，對於我們高中生想做科展給予莫大的支持。

二、研究方法限制
較缺乏統一性檢測塑膠微粒的標準方法和採樣方案，這些或許多少都會影響塑膠微粒的分析，導致結果不同且無法比較。而身為高中生學科本質遇到很多知識不足之處，雖然在遇到疑惑及研究方法及分析討論瓶頸之時會請教專家學者，但是對於地球科學、生物、統計概念尚未學習到的知識，還稍嫌不足。本研究礙於時間限制，無法學習到較專業的資料統計和分析，建議未來可繼續進行更廣泛的探究。

三、未來展望
近程目標:我們著手持續跟北部大學合作，每個月收集溫室土壤及回收場的空氣，持續一年合作，看看溫室土壤及空氣是否會影響塑膠微粒量。
中程目標:因為時間不充裕，我其實還想研究伏流水中的塑膠微粒量，至今尚未看到有人研究此議題，且會持續進一步採樣如鳳山水庫(引自高屏溪水源)其進水及出水端之處理前後塑膠微粒差異，可評估高雄市民飲用水之品質。

柒、參考文獻資料

- 林育仲 (2021)，台灣西南沿海沉積物塑膠微粒分布與組成。高雄:國立高雄科技大學海洋環境工程系暨研究所碩士論文。
- 黑潮海洋文教基金會。2018年「島航計畫」塑膠微粒成果分析。
- 曹枚章。國立臺灣海洋大學。111年度海漂垃圾分布及微型塑膠採樣檢測計畫成果報告書。
- 陳平宇、陳研序、莊右靖。第61屆科展作品「塑」人之亂-探討萬年溪塑膠微粒及人口數的關係。
- 高屏溪流域管理委員會。111年度高屏溪流域河川水質採樣檢測分析工作計畫。
- 經濟部水利署。103年高屏溪水系高屏溪治理計畫。
- 李根政、傅志勇。地球公民大幫幫你走讀高屏溪(上)。