

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 地球科學科

第三名

030506

「塑」人之亂-探討萬年溪塑膠微粒及人口數的關係

學校名稱：屏東縣立中正國民中學

作者： 國二 陳芊仔 國一 陳耕庠 國一 莊右靖	指導老師： 李天生 張清慧
---	-----------------------------

關鍵詞：塑膠微粒、拉曼光譜分析、TGOS

摘要

基於對鄉土關懷，我們選定生命之河~萬年溪，此為唯一通過屏東市商業區、生態公園和住宅區等之特殊溪流，利用傅立葉轉換紅外線光譜儀，調查溪流中塑膠微粒種類和含量，並透過TGOS系統探究人口數與塑膠微粒之相關性發現：廣東橋流域塑膠微粒量最高，推論位於『住宅區』之民生排放汗水有關；長春橋流域濃度次之，與位於『商業區』有直接關係。環境指標生物~大型水蚤濾食中會攝入塑膠微粒，相較於控制組、塑膠微粒污染下會明顯**降低水蚤活動力、心跳數**；且**繁殖力驟減**，有顯著性差異。本研究**重大發現**，水生植物確實有效吸附水中塑膠微粒，另生態工法及汗水地下化系統處理，均可降解排放至海洋塑膠微粒含量，進而讓環境減塑、環保及生態系恢復榮景。

壹、研究動機

在文獻探討中一篇 2020 年 10 月 7 日台灣英文新聞的報導【塑膠垃圾入海後去哪？研究：海底恐有千萬噸塑膠】映入眼簾，發表這篇文章的 CSIRO 科學家、Denise Hardesty 博士表示，在這麼偏遠、這麼深的海洋中發現塑膠微粒，代表塑膠垃圾基本上已經無所不在，其中報導中更令人震撼的一句話~「海床並不是絕大多數塑膠垃圾的終點」引起我們高度好奇心，這也就意味著海洋只是一個垃圾場。因此基於對自己家鄉土地的關懷，我們想嘗試從自己的家鄉找出塑膠微粒與人口數相關分析，希望透過研究可以幫助我們所住的環境更加美好。

貳、研究目的

- 一、探討萬年溪之塑膠微粒量及種類
- 二、探討萬年溪塑膠微粒與人口數的相關分析
- 三、水生植物與塑膠七大類的相關性研究
- 四、探討萬年溪中塑膠微粒對水蚤心跳數、存活率、活動力、繁衍力之影響

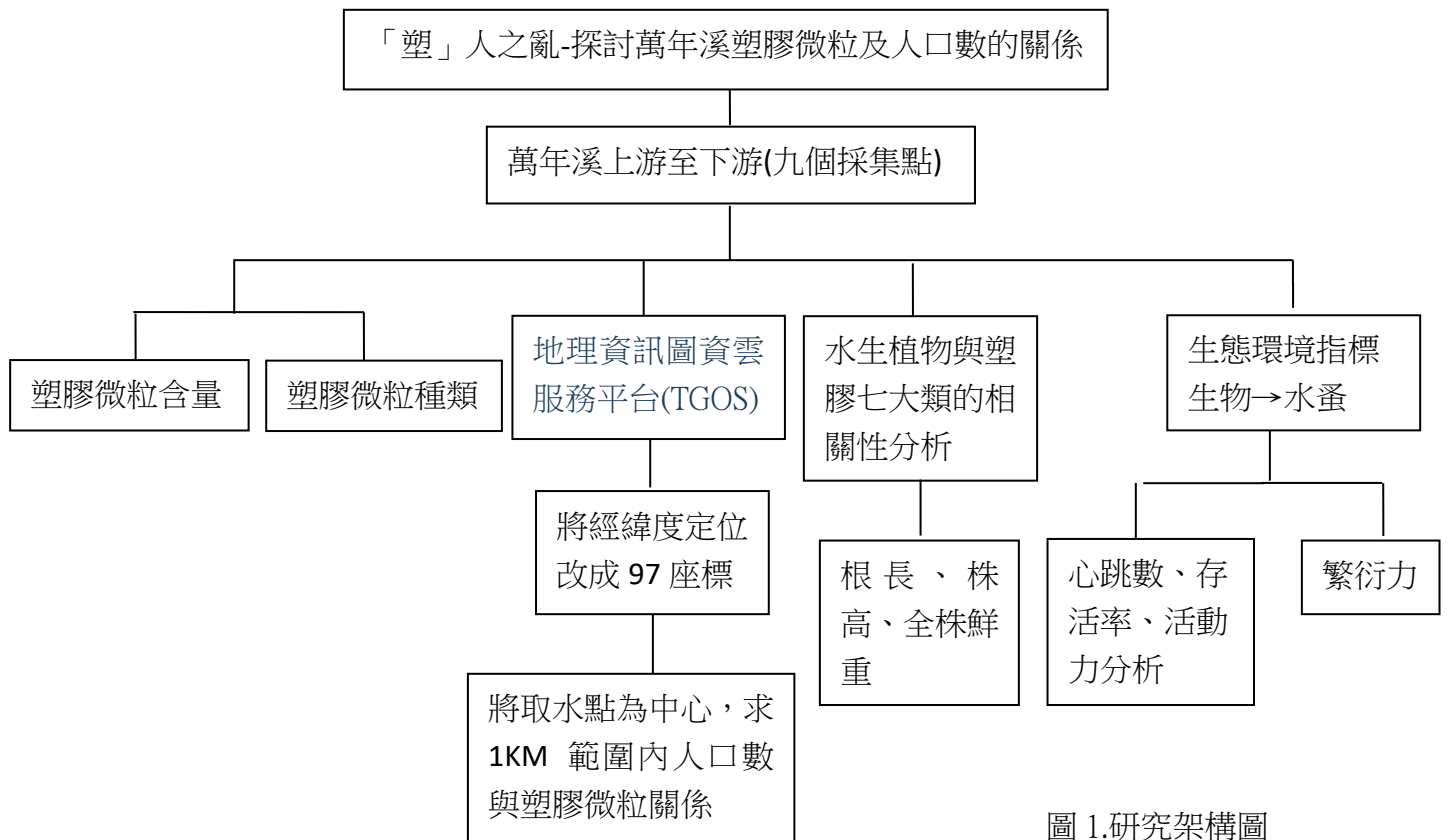


圖 1.研究架構圖

參、研究設備及器材

- 一、實驗設備儀器及軟體: 流速儀、濁度計、傅立葉轉換紅外線光譜儀、複式顯微鏡、蒸箱、斑馬魚行為觀察系統、RvVisualPulsa、微量天平、電子秤
- 二、實驗器材: 刀片、玻片數個，無菌濾上杯、濾紙、玻片、不銹鋼桶、童軍繩、玻璃瓶數個、小樣品瓶數個、培養皿數個、滴管、不銹鋼篩網(18 目)、燒杯數個
- 三、實驗藥品 鹽、尼羅紅粉末、酒精、七大類塑膠磨粉
- 四、實驗樣本: 萬年溪溪水、水蚤、布袋蓮、水芙蓉、銅錢草、輪傘草

肆、研究過程或方法

一、研究流程圖

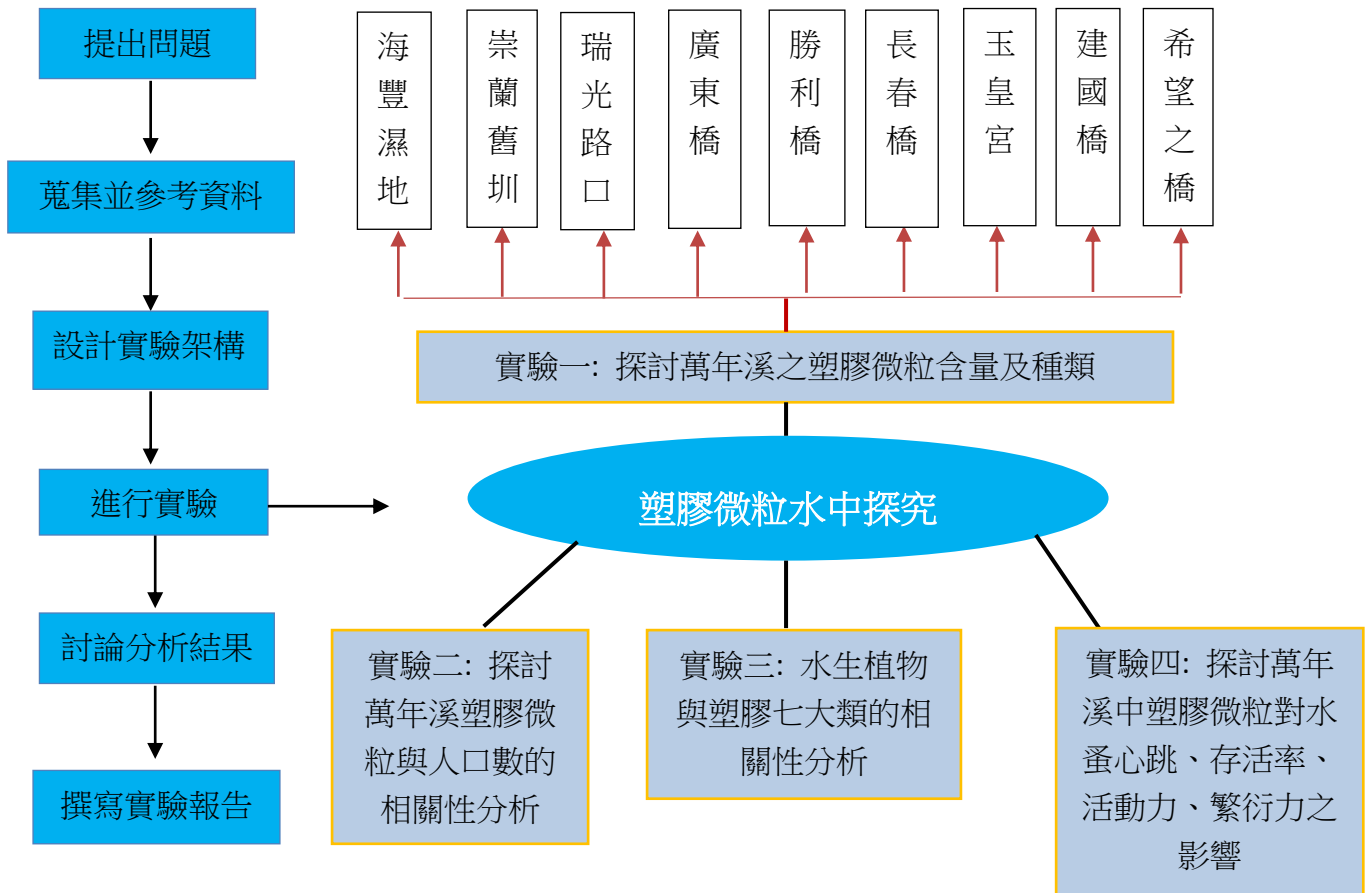


圖 2.研究流程圖

二、文獻探討

- (一)檢測塑膠微粒有三種方法，分別為熱觸法、螢光染色法及拉曼光譜法，民國109年4月行政院環保局公告水中微型塑膠檢測方法-『熱觸法』實施，但是此水樣若含高濁度之懸浮微粒、動植物碎片及藻類等，易造成濾膜孔隙阻塞或遮蔽濾膜上之微型塑膠而影響檢測。根據Thomas Maes 等人的研究論文 (A rapid-screening approach to detect and quantify microplastics based on fluorescent tagging with Nile Red) 尼羅紅有親油性，可以溶於乙醇，並可將塑膠微粒染色，且在波長下 (495 - 570nm) 能被激發至特定光波段，這是『螢光染色法』。若能將激發至特定光波段的螢光加以方析，進行塑膠定性，這是『拉曼光譜法』。
- (二)去年(第60屆科展)我們嘗試用螢光染色法來找塑膠微粒，但是對於定量部分，我們以Image J來定量，今年進行延伸性實驗，想用最基礎的方式來定量改良，熱觸法是一個非常實用且簡單的方式，而定性部分，我們想借助『拉曼光譜法』，能將河水中的塑膠微粒分析出哪類塑膠污染較嚴重?這項研究可以結合地理資訊圖資雲服務平台(TGOS)，來進行一整

個系列的探討並分析，從中可以得知**塑膠微粒的來源**，並能加以**監控塑膠微粒排放量**。

二、實驗步驟

◎研究一：探討萬年溪之塑膠微粒含量及種類

首先在萬年溪上、中、下游進行 9 處取水(如圖 3)，**取水點是依土地都市計畫分區為主要比較，從農業區到一邊未開發工業區一邊住宅區，進而公園綠地前後，再到住宅區及商業區**，進行塑膠微粒之分析，進而了解萬年溪塑膠微粒之污染狀況。



圖 3.屏東市萬年溪河道取水點(共九處)分布圖

(一) 萬年溪表層塑膠微粒採樣

採樣前利用大量自來水沖洗玻璃瓶及採樣器，採樣過程穿著純棉質之衣服以免污染。採樣時以不銹鋼桶為採樣器，進行採樣時記錄採樣地點、座標及河流流速、濁度。採樣方法參考「**河川、湖泊及水庫水質採樣通則**」進行採樣。我們採溪水水面上層水，距離水面下不超過 20 公分，多次取樣並將3L玻璃瓶裝滿，並量測**濁度**，**取三次平均**並記錄(如表1)。採樣後樣品妥善放置以室溫保存靜置一天。

表1.萬年溪不同採樣點之流速與濁度值

採樣橋名稱	座標		流速(m/s)	濁度(NTU)
海豐濕地	N 22.7072	E120.5065	5	9.71
崇蘭舊圳	N 22.6964432	E120.5011908	5	11.16
瑞光路口	N 22.6994	E120.4928	6.5	10.47
廣東橋	N 22.6810490	E120.5011390	2.5	10.18
勝利橋	N 22.6693696	E120.4927703	1.5	8.92
長春橋	N 22.6691351	E120.4947791	0.5	7.40
玉皇宮	N 22.6665972	E120.4929494	0.5	7.60
建國橋	N 22.664697	E120.483303	0.5	6.64
希望之橋	N 22.654311	E120.478935	0.5	3.71

1. 將各採集點的溪水，取 1.5L 分別置入玻璃瓶中，加入食鹽，放置振盪器下震盪 60 分鐘後靜置 1 日。1 日後，再取各採集點溪水 1L，將濾紙放置無菌濾上杯，利用真空泵提供壓力差，將其溶液分別過濾，將濾紙放入蒸箱中以 50°C 溫度將水分蒸乾後，將其濾紙置於解剖顯微鏡上，統一放大倍率為 **20X**(目鏡 10X；物鏡 2X)，找尋濾紙上纖維，再將纖維集中後用**熱觸法**看看是否捲曲，若有捲曲則可統稱『**塑膠微粒**』並計數。
2. 剩餘各採集點的溪水約 0.5L，也用此方式來過濾並烘乾，收集濾紙上的纖維放上玻片，再用**傅立葉轉換紅外線光譜儀**，測出採水點共九處的光譜來成分分析。

(二)常見之七大類塑膠樣品測出其光譜結果(如表 2)

表 2. 七大類塑膠樣品及常見用圖表

七大類塑膠圖	塑膠名稱	學名	常見用途
	第一類塑膠	聚乙烯對苯二甲酸脂 (PET)	市售飲料瓶、寶特瓶
	第二類塑膠	高密度聚乙烯(HDPE)	一般塑膠袋、牛奶罐

	第三類塑膠	聚氯乙烯(PVC)	保鮮膜、塑膠盒、水管
	第四類塑膠	低密度聚乙烯(LDPE)	一般塑膠袋、環保保鮮膜
	第五類塑膠	聚丙烯(PP)	塑膠瓶、咖啡杯蓋
	第六類塑膠	聚苯乙烯(PS) 俗稱保麗龍	飲料杯、泡麵碗、保麗龍飯盒
	第七類塑膠	其他類(美耐皿、PC 聚碳酸酯等)	美耐皿、運動水壺、餐具

我們將市面上常見七大類塑膠各取其一為代表，以磨砂機研磨七大類塑膠，形成粉末分別置於小樣品瓶中，再將粉狀的七大類塑膠用[傅立葉轉換紅外線光譜儀](#)，測出其光譜結果。

◎研究二:探討萬年溪取水點周遭的人口數與塑膠微粒的相關性分析

TGOS 定位為全國地理空間、瀏覽查詢與加值媒合之入口，可作為全國地理資料服務，我們想藉此系統，將萬年溪取水點**周遭的人口數**及**塑膠微粒含量**結合，探討人類活動是否與塑膠微粒有相關性。操作過程如下:

- (一) 以 **GPS(全球定位系統)**取得 9 個取水點的**經緯度資料**，輸入系統轉換為 97 座標。
- (二) 從取水點 1 開始定點沿著河流往下游逐步地圖標記到取水點 9，共取得 892 個地圖標記，進行多點距離圖面量測。利用 **GIS 系統(地理資訊系統)**將 892 個地圖標記都做 1000 半徑的圓加以交疊，之後再將行政區交疊，可得出**環域面積**。
- (三) 假設人在各里範圍內均勻分布，利用全面面積減去環域面積除以全面面積再乘以於屏東縣政府「屏東縣人口統計」網站中取得 2020 年 12 月各里總人口數，利用各里 1 公里範圍內的比例來推算人口數之加總，即能算出以每個取水點為中心 1 公里範圍內人口數。再將每個取水點的塑膠微粒和每個取水點為中心 1 公里範圍內人口數做出圖表。

◎研究三:探討水生植物與塑膠七大類的相關性分析

- (一)擇取萬年溪中常見且繁殖力極強的水芙蓉、銅錢草、輪傘草及布袋蓮等四種水生植物，探討塑膠微粒在溪流中是否會影響水生植物生長發育。
- (二)暴露在不同塑膠微粒環境中對水生植物之影響：
 - 1.環境設定：

首先取 1000ml 水配置磨粉後之七大類塑膠微粒濃度 (0.4 mg/ml) (實驗組)與純水(H₂O)~控制組，分別置入各四種不同水生植物，前處理先去黃化、殘葉，並挑選每株至少5片葉或5枝葉柄約等高之水生植物作為實驗樣本。

2.實驗方法：

將四種水生植物，以每隔2天週期觀測直到第22天，觀察植物生長發育變化，觀察紀錄項目包括鮮重、葉片數、株高(採最高者)等進行三重覆實驗，最後以複式顯微鏡下觀察植物的根、莖及葉等部位維管束組織，是否有運輸塑膠微粒(採尼羅紅檢驗法)，並記錄(照相)。

◎研究四：探討萬年溪中塑膠微粒對水蚤心跳數、存活率、活動力、繁衍力之影響

(一) 水蚤(圖 4)屬於節肢動物門，主要以濾食水中浮游植物為主，由於濾食的方式無法選擇性攝入食物，若在受污染的溪水中是**有機會攝入塑膠微粒**。所以我們選用水蚤中的大型蚤來作為**生態環境指標生物**。原因為在淡水浮游生物中，*Daphnia magna* (大型蚤)是一種長期被使用在生態毒理學中的實驗生物，由於牠們繁殖周期較短且子代個數多，飼養成本低廉且誘食性高，故常被選為科學家運用於測試環境污染的指標物。

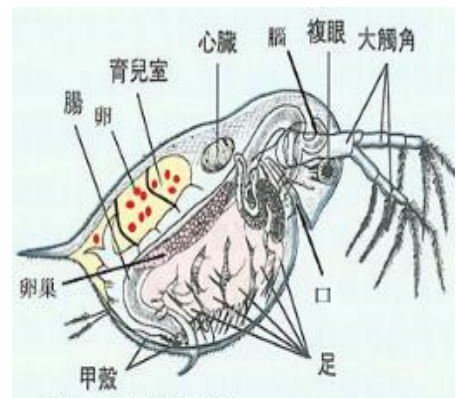


圖4: 水蚤構造模式圖
(圖片修改自參考文獻1)

(二) 各種不同環境水質對水蚤之影響：

我們取研究一發現之萬年溪廣東橋、勝利橋、玉皇宮共 3 處微粒濃度分別為高、中、低的溪水(塑膠微粒分別為 173 根、87 根、30 根)及對照組(乾淨水) 各 200ml，放入水蚤每組 10 隻，每組均三重覆觀察觀察水蚤心跳、存活率、活動力、繁衍力等項目之影響。每隔固定時間觀察一次(第 1、4、7、10 天)統計變化。

(三) 暴露在不同塑膠微粒環境中對大型蚤生殖影響實驗

1.環境設定：

分為無塑膠微粒環境的對照組和兩種不同塑膠微粒濃度的塑粒環境組，分別為0.01 mg/L、0.1 mg/L 塑膠微粒濃度，並置於 250 mL 血清瓶中培養，環境中皆含有 200mL 氣曝水，每3日餵食綠水1mL並更新水體環境。每組放入 10 隻大型蚤，控制光週期為 16 hr 光照/ 8 hr 黑暗。

2.實驗方法:

以 10 隻大型蚤為起始，在上述三種環境設定中進行三重覆實驗。實驗進行中每日鏡檢觀察是否有親代大型蚤已經抱卵? 每天觀察一次子代數目統計變化。每隔固定時間觀察一次(1、4、7、10 天)變化。

伍、研究結果與討論

一、研究一：探討萬年溪之塑膠微粒數量及種類

(一)萬年溪各採樣地表層塑膠微粒採樣結果(如表 3、圖 5、6)

表 3.萬年溪各採樣地表層塑膠微粒採樣數量及種類與顏色

採樣橋名稱	流速(m/s)	濁度(NTU)	塑膠纖維數(根)	纖維顏色描述
海豐濕地	5	9.71	146	有粉紅色黃色塑膠線
崇蘭舊圳	5	11.16	83	有碎片
瑞光路口	6.5	10.47	62	
廣東橋	2.5	10.18	173	有黃色、粉色塑膠
勝利橋	1.5	8.92	87	
長春橋	0.5	7.40	167	有碎片
玉皇宮	0.5	7.60	30	
建國橋	0.5	6.64	42	有碎片
希望之橋	0.5	3.71	67	

每公升平均塑膠纖維數(根)

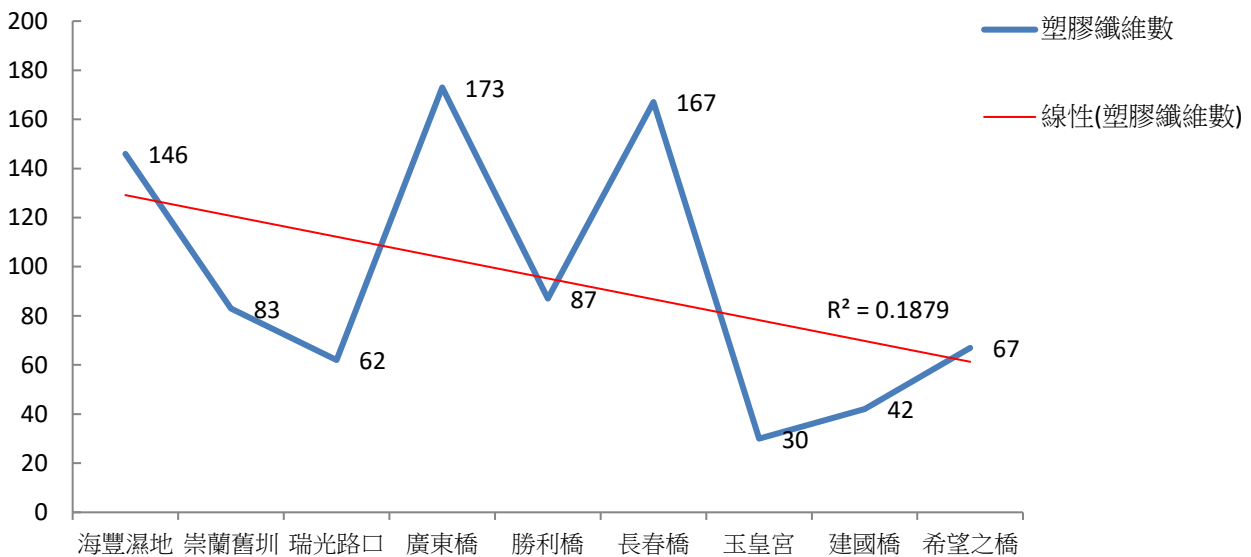


圖 5. 各採集點的塑膠微粒根數

(二)屏東市萬年溪河道各取樣點表層顯微鏡下塑膠纖維樣態圖片(圖 6)

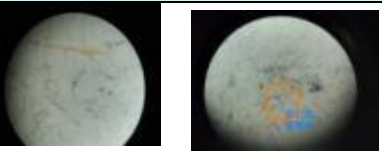
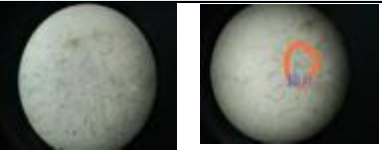
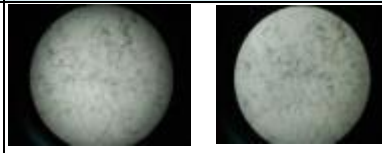
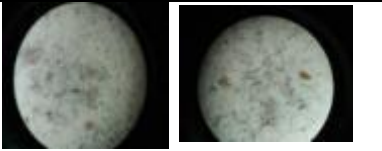
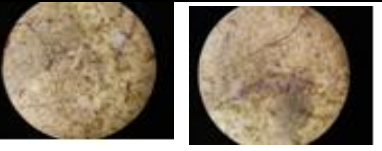
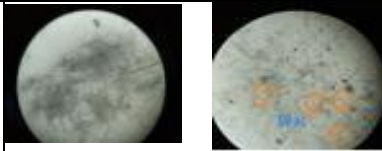

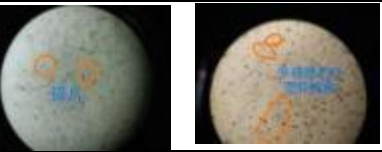
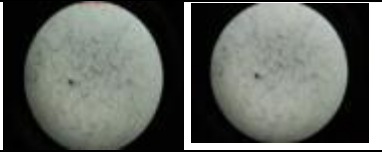
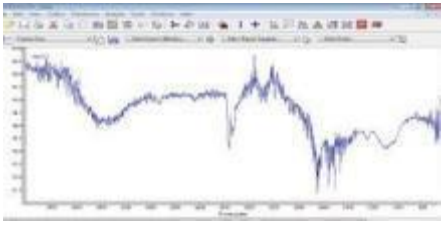
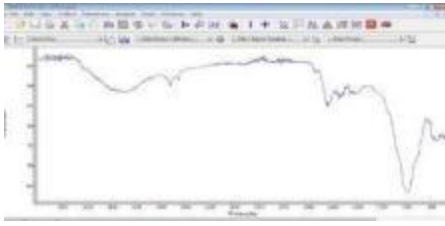



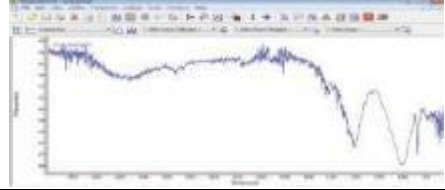
採樣橋名稱	海豐濕地	崇蘭舊圳	瑞光路口
顯微鏡視野下塑膠纖維樣態			
採樣橋名稱	廣東橋	勝利橋	長春橋
顯微鏡視野下塑膠纖維樣態			
採樣橋名稱	玉皇宮	建國橋	希望之橋
顯微鏡視野下塑膠纖維樣態			

圖 6. 屏東市萬年溪河道各取樣點表層 在顯微鏡視野下塑膠纖維樣態圖片

(三)、以傅立葉轉換紅外線光譜儀測出各取樣點七大類塑膠微粒之光譜結果(如圖 7)

採樣點名稱	海豐濕地	崇蘭舊圳
研判之塑膠標號	光譜的 PEAK 太小可能是背景值	第三類、第六類、第七類塑膠
光譜		
採樣點名稱	瑞光路口	廣東橋
研判之塑膠標號	第三類、第六類、第七類塑膠	第三類、第六類、第七類塑膠
光譜		
採樣點名稱	勝利橋	長春橋
研判之塑膠標號	第三類、第六類、第七類塑膠	第七類塑膠
光譜		


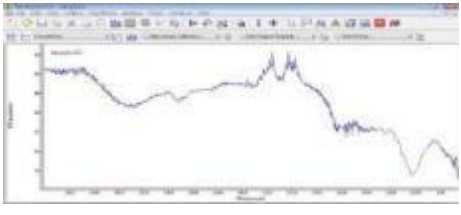
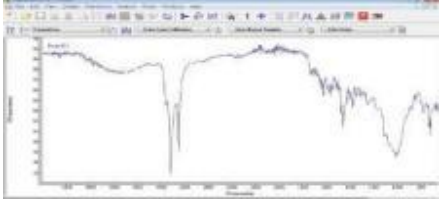
採樣點名稱	玉皇宮	建國橋
研判之塑膠標號	第三類、第六類、第七類塑膠	第六類、第七類塑膠
光譜		
採樣點名稱	希望之橋	
研判之塑膠標號	第二類、第四類、第六類、第七類塑膠	
光譜		

圖 7. 屏東市萬年溪各取樣點溪水測出之光譜結果及推測可能之塑膠標號

結果分析與討論

- 1.由表 3、圖 5 可知海豐濕地水域塑膠微粒數值排名第 3(塑膠纖維數達 146 根)，我們推論海豐溼地的水是由屏東縣九如鄉匯入，而九如鄉沒有地下水處理系統，所以塑膠微粒數值較高。(綠色農村的循環理念，2019)
- 2.廣東橋水域塑膠微粒數值最高(塑膠纖維數達 173 根)，推論位於『住宅區』，與家庭排放民生用水(汗水)有關，衣物纖維被排放在生活廢水中，易導致溪水中塑膠微粒含量高(如圖 8)。且經查屏東基督教醫院醫療廢水尚未納入屏東汗水下水道系統中，但是他們有獨立的汗水處理系統，處理完廢水(這部分是否仍有殘存塑膠微粒，仍待考證)是直接排入萬年溪。而屏基周圍的汗水處理系統接管率非常低。(如圖 9)
- 3.勝利橋附近河段溪水，如圖 7 光譜檢測結果推測，含有第三類塑膠(PVC)、第六類塑膠(PS)、第七類塑膠(PC 等)，但到了長春橋河段溪水，只剩下第七類塑膠(PC 等)，我們推論可能因為流速降低，迫使塑膠微粒有更多機會向下沉澱。
- 4.勝利橋塑膠微粒數值有驟減，推論應與圖 10『千禧公園』之生態工法引流至生態池淨化水質之效能有關，且汗水下水道系統工程在勝利橋附近接管率較高，有效降低河川塑膠微量含量。



圖 8. 屏東基督教醫院周邊欠缺完善地下汙水處理系統

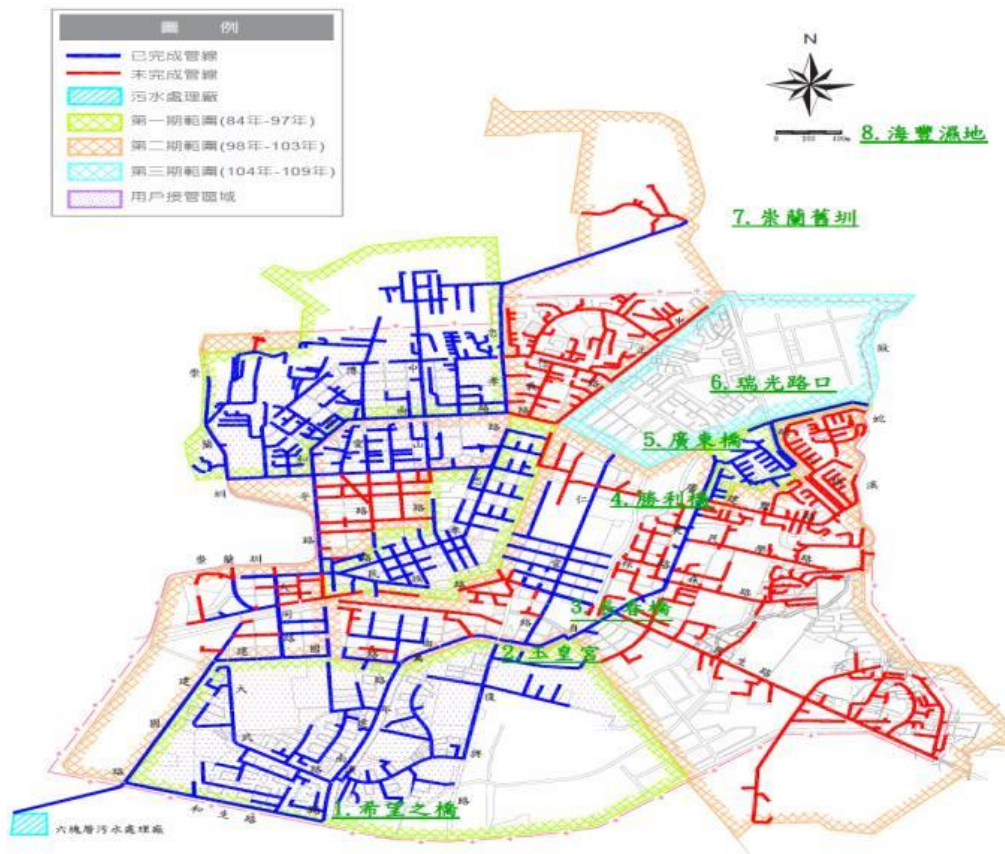


圖 9.屏東縣高屏溪流域（屏東市）污水下水道系統建設圖



圖 10.千禧公園之生態池淨水之生態工法

4.長春橋塑膠微粒數值次之(塑膠纖維數達 167 根)，推論位於『商業區』有直接關係，大馬路上車輛人來人往，機車汽車的輪胎皮會磨損，城市灰塵也會影響塑膠微粒 (Dikareva and Simon, 2019; Su et al., 2016)，導致塑膠微粒值較高，而周邊的屏東夜市，承載著大量的攤販，每天清潔劑的沖洗及塑料的使用，這些都和我們日常息息相關(如圖 11)。且長春橋水面較上游的水面寬，流速也較慢，微弱的水動力使水中的塑膠微粒更有可能在沉積物中積累。勝利橋附近河段溪水，光譜檢測結果推測，含有第三類塑膠(PVC)、第六類塑膠(PS)、第七類塑膠(PC 等)，但到了長春橋河段溪水，只剩下第七類塑膠(PC 等)，我們推論可能因為流速降低，迫使塑膠微粒有更多機會向下沉澱。



圖 11. 長春橋平日車水馬龍的街景、附近興建大型停車場(共三處分別為夜市、公園、勝利路上)

5.反觀玉皇宮塑膠微粒數值最低(塑膠纖維數僅約 30 根)，是因為從長春橋後到玉皇宮前面，總共有五個固床工(圖 12)，增加曝氣量。而 2 個箱涵(圖 13)，箱涵內有設置截流井，施設截流井可將排放至河川之生活汙水進行截流，續接入汙水下水道系統中，並引流至六塊厝水資源回收中心進行處理，水質符合放流水標準後再放流，可避免承受水體之溪水質惡化，確保水資源永續利用，且居住環境變乾淨，提升整體都市形象。而『固床工』~(水順著臺階一層層的向下流，有一個橫向鋪展的過程)，跌落的水攜帶空氣中的大量氧氣進入河流，能供給水流中的動植物和微生物提供良好的生長條件，提供水質淨化的功能，可大大降低(降解)塑膠微粒含量。



圖 12.從長春橋到玉皇宮前的水利工程→固床工



圖 13.從長春橋到玉皇宮前的水利工程→箱涵

6. **建國橋及希望之橋**水域**塑膠微粒數值偏低**(塑膠纖維數分別約 42、67 根)，因位於已完工之**萬年溪水岸空間環境改善工程**改造後之**萬年公園**下游，由抽水設備將萬年溪的水源抽取至園內，經由**過濾桶**、**沉沙池**、**漂浮植物淨化池**、**疊瀑水道**、**礫間水道**等各項水利設施(圖 14)，透過**層層的生態工法來淨化水質**，創造優質的自然生態水域，最後再回歸(入)萬年溪中，使水資源循環得以生生不息，**達到環境營造兼具水質處理的功效**。另**復興公園**設置**橡皮壩攔高水位**，將萬年溪引溪水至**公園型水域**，並**創造都市滯洪空間**(圖 15)、**營造生態淨化水道**、規劃水上運動環境及碼頭廣場、興建跨橋銜接既有道路並創造都市亮點。**建國橋及希望之橋**均鄰近於『**和生市場**』~ (屬於早市，營業時間約 2:00-8:00，為屏東市最大型果菜批發市場) 河段溪水，如圖 7 **傅立葉轉換紅外線光譜**檢測結果，推論含有多種的塑膠微粒，如飯盒、飲料杯、保麗龍製品和塑膠袋等。



圖 14.萬年溪改造工程~**萬年公園**下游多種生態工法、設施淨化水質



圖 15.萬年溪改造工程～橡皮壩工程引溪水至復興公園型水域

二、研究二：探討萬年溪取水點周遭的人口數與塑膠微粒的相關性分析(圖 16、17 及表 4)



圖 16. 萬年河流域(藍色線條) 主要流經住宅區、商業區和公園用地之分布圖



圖 17. 萬年河流域(藍色線條)以每個取水點(紅色數字)為中心 1 公里範圍的里分布圖

表 4 於各採集點周圍(方圓 1 公里內) 累積人口數及塑膠微粒數量統計

取水點	土地利用	地圖上編號	累積人口數(約)	新增人口數	塑膠微粒
海豐濕地	河川區	8	981		146
崇蘭舊圳	堤防區	7	3590	2609	83
瑞光路口	住宅區	6	21242	17652	62
廣東橋	住宅區	5	30048	8806	173
勝利橋	住宅區+公園	4	42466	12418	87
長春橋	商業區	3	58277	15811	167
玉皇宮	住宅區+公園	2	60944	2667	30
希望之橋	住宅區+公園	1	99570	38626(最高)	67

萬年公園
復興公園

結果分析與討論

由表 4 於各採集點周圍(方圓 1 公里內) 累積人口數及塑膠微粒數量統計得知:

- 1.海豐濕地塑膠微粒數值偏高(達 146 根)，我們推論海豐溼地(雖周圍人口稀少)的水是由九如鄉農、畜牧業廢水(內含塑膠肥料袋、農藥瓶罐、塑膠布等在戶外風吹日曬雨淋，塑膠會破碎劣化)隨著灌溉水滲入附近溝渠，在逕流入河川中，而九如鄉沒有汙水處理系統，所以塑膠微粒偏高。(綠色農村的循環理念，2019)
- 2.瑞光路周圍人數密集，且汙水下水道系統接管率較不高，致塑膠微粒大量聚集匯入下游。
- 3.廣東橋塑膠微粒數值最高(達 173 根)，推論位於住宅區，洗衣機是家家戶戶不可缺少的電器用品，但是它會導致數千種纖維微塑膠排放到生活廢水中，而塑料微珠 (microbeads) 柔珠顆粒添加到日常護理用品(如牙膏、洗髮水、洗面乳、化妝品)，以提高產品清潔度，與家庭排放民生用水沖入汙水系統所產生之塑膠微粒有關。又汙水下水道系統接管率不高，家庭廢水直接排放溪流中導致此處塑膠微粒濃度最高。
- 4.長春橋塑膠微粒數值次高(達 167 根)，推論位於商業區有直接關係。機車汽車輪胎在道路上滾動時，因為輪胎皮會正常的耗損，城市塵埃(如：合成鞋底等物體、人造草皮等基礎設施等)因風化、磨損而產生。也會產生塑膠微粒(Dikareva and Simon, 2019; Su et al., 2016)，導致塑膠微粒值較高，而周邊的屏東夜市，承載著大量的攤販，每天清潔劑的沖洗及塑料的使用，均和我們日常息息相關。而外賣方式快速崛起，也導致廢塑膠袋和一次性餐具增加，這些塑膠垃圾會在降解的過程中大量產生塑膠微粒。另長春橋水面較上游的水面寬，流速也較慢，微弱的水動力(流量少)，使水中的塑膠微粒更容易在沉積物中積累。
- 5.希望之橋周圍地區雖新增人口數最多，但附近有非常完善的汙水下水道系統，以及復興公園內水域面積達到 1.7 公頃，公園改造後在萬年溪設置橡皮壩攔水堰以調整水位、將萬年溪的水源溢流至園內，經由水生植物淨化水道及礫間水道等，藉由生態工法來改善水質，最後再回歸萬年溪中，達到環境營造兼具水質處理的功效。每天能淨化達 6.6 萬公噸水量，大大減少塑膠微粒的濃度。(引至：屏東縣牛稠河流域整體環境改善計畫)

三、研究三：探討水生植物能否吸附水中七大類塑膠之相關性分析

本研究針對布袋蓮、水芙蓉、銅錢草及輪傘草等四種水生植物是否能吸附塑膠微粒之假說，進行實驗設計(三重覆實驗)觀察根長、株高、全株鮮重等項量，以了解是否因微粒造成植物體內物質運輸受阻，而導致萎凋甚至死亡。受說明書頁數限制關係，僅列有明顯差異性之項量圖表。

(一)布袋蓮能否吸附水中塑膠微粒實驗

表 5. 布袋蓮吸附水中塑膠微粒在全株鮮重發育差異性比較表

布袋蓮全株鮮重(g)	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	ck
生長量 (第 10 天 - 第 1 天)	-3.11	-3.22	-3	-28.04	-12.33	-4.32	-12.12	-9.17

註：阿拉伯數字代表”第幾類”塑膠。

結果分析與討論

由表 5 圖 18 得知，布袋蓮若在水中加入塑膠微粒後，全株鮮重量驟減，且以**第四類塑膠**最為明顯，並由圖 19 發現植物體萎縮→植物體由根→莖→葉片運輸水分物質時，也連帶運輸微粒，導致輸導組織阻塞，而加速失水、枯葉萎凋現象，且在圖 20 顯微照相發現葉片輸導組織上有塑膠微粒(圖 20 中紫紅色之區塊)。顯見其抑制生長，證明布袋蓮會吸附水中塑膠微粒，達降解水中塑膠微粒效果，特別是第四類塑膠。

圖18.塑膠微粒導致布袋蓮全株鮮重驟減量(g)

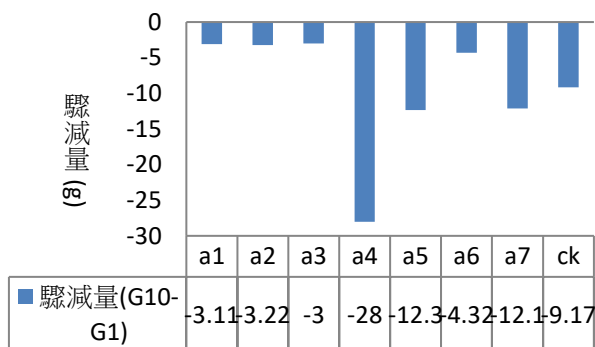


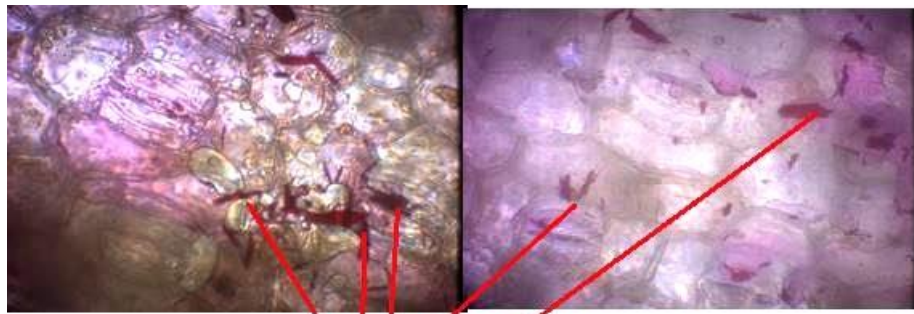
圖 19.布袋蓮實驗組吸附第四類塑膠與控制組(未置入塑膠微粒)之全株鮮重比較

第四類塑膠處理: 鮮重 (布袋蓮) 第 10 天

控制組處理: 鮮重 (布袋蓮) 第 10 天

鮮重驟減幅度最大 (達-28.04 公克)

鮮重量相差達 (-9.17 公克)



布袋蓮葉片輸導組織中發現塑膠微粒(染色後呈現)

圖 20. 顯微照相下發現布袋蓮吸附水中塑膠微粒後運輸且阻塞在葉片輸導組織中(紅紫色區塊)

(二) 水芙蓉能否吸附水中塑膠微粒實驗

表 6. 水芙蓉吸附水中塑膠微粒在全株鮮重發育差異性比較表

水芙蓉全株鮮重(g)	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	ck
生長量 (第 14 天-第 1 天)	-2.1	-2.5	-2.12	-2.1	-2.4	-2.4	-3.5	-2.33

註：阿拉伯數字代表”第幾類”塑膠。

結果分析與討論

由表 6 圖 21 得知，水芙蓉若在水中加入塑膠微粒後，三重複平均全株鮮重，且以第七類塑膠驟減量(-3.5 公克)最為明顯，相較控制組為(-2.3 公克)。並由圖 22 發現植物體萎縮→植物體由根→莖→葉片運輸水分物質時，也連帶運輸微粒，導致輸導組織阻塞，而加速失水、枯葉萎凋現象，且在圖 23 顯微照相發現葉片輸導組織上有塑膠微粒(圖 23 中黃圈內紫紅色之區塊)，顯見其抑制生長，證明水芙蓉會吸附水中塑膠微粒，達降解水中塑膠微粒效果，特別是第四類塑膠。

圖21. 塑膠微粒導致水芙蓉全株鮮重驟減量(g)

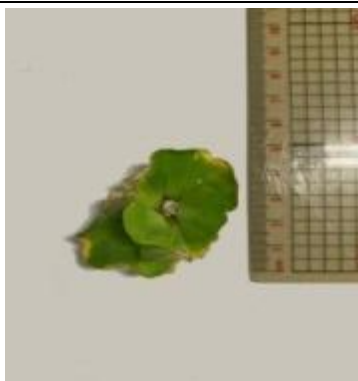
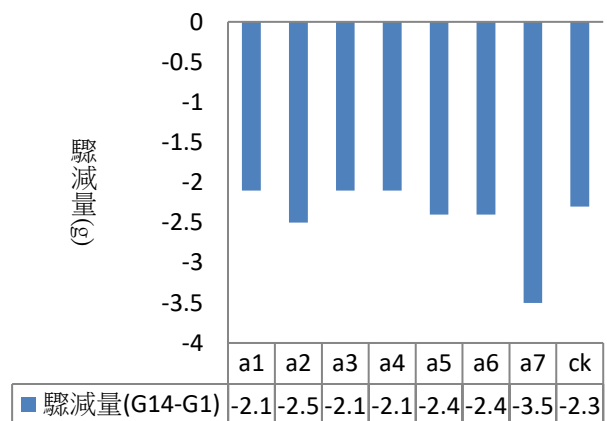


圖 22. 水芙蓉實驗組吸附第七類塑膠與控制組(未置入塑膠微粒)之全株葉片數比較

第七類塑膠處理: 鮮重 (水芙蓉) 第 14 天

控制組處理: 鮮重 (水芙蓉) 第 14 天

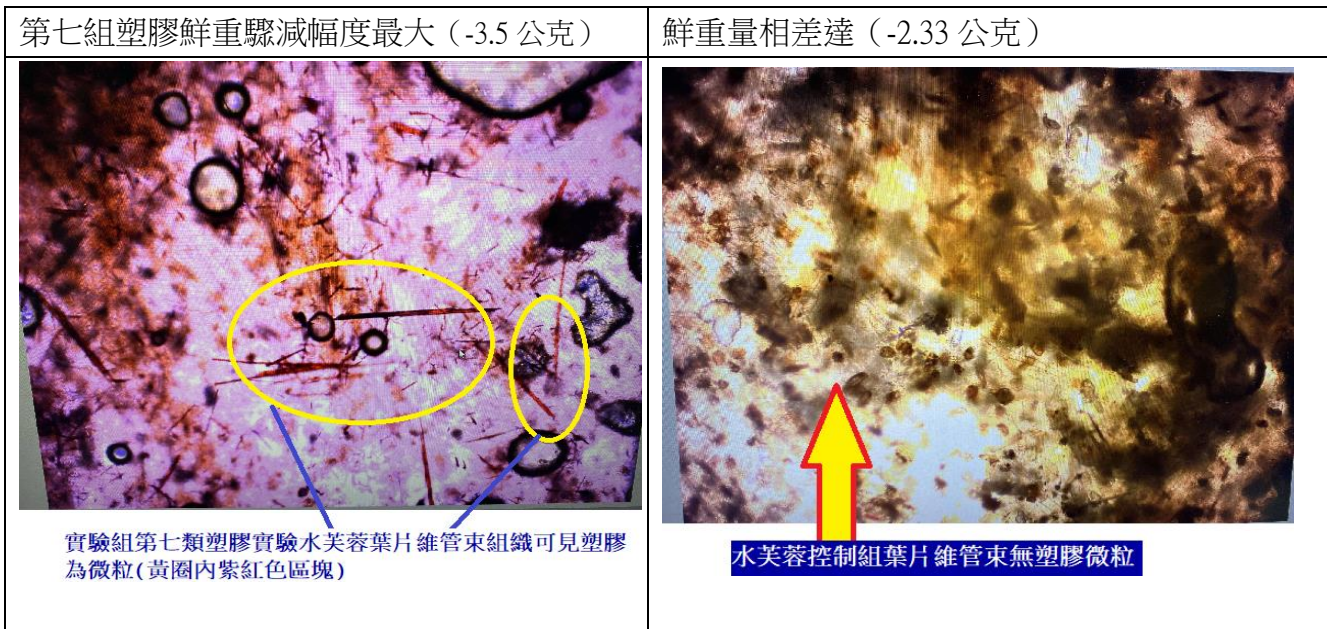


圖 23. 顯微照相下發現水芙蓉吸附水中塑膠微粒後運輸且阻塞在葉片輸導組織中(黃圈內紅紫色區塊)

(三) 銅錢草能否吸附水中塑膠微粒實驗

表 7. 銅錢草吸附水中塑膠微粒在株高生長發育差異性比較表

處理別	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	ck
銅錢草株高生長量(cm)	1.37	6	-7	1.2	6.7	1.7	2.45	-1

註：阿拉伯數字代表”第幾類”塑膠。

結果分析與討論

由表 7 圖 24 得知，銅錢草若在水中加入塑膠微粒後全株株高變化量，以**第三類塑膠驟減 7 公分**最為明顯，相較於控制組僅減少 1 公分量，並由圖 25 發現植物體萎縮→植物體由根→莖→葉片運輸水分物質時，也連帶運輸微粒，導致輸導組織阻塞，發生枯葉萎凋甚至死亡現象，且在圖 26 顯微照相發現莖部輸導組織上有塑膠微粒(紅圈中紫紅色之區塊)，對照植物體狀態，顯見其抑制生長，證明銅錢草會吸附水中塑膠微粒，達降解水中塑膠微粒效果，特別是第三類塑膠。

圖24.塑膠微粒影響銅錢草株高生長量(cm)

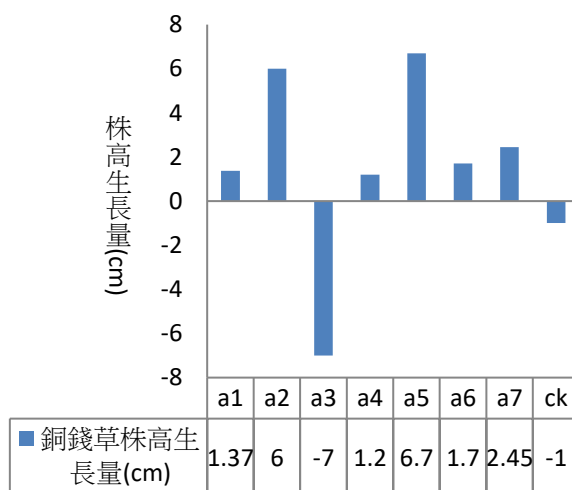




圖 25.銅錢草實驗組吸附第三、五類塑膠與控制組(未置入塑膠微粒)實驗第 22 天株高比較

處理別: 第三類塑膠株高	處理別: 第五類塑膠株高	處理別: 控制組株高
三株銅錢草，死亡剩一株，平均株高減少 7 公分	三株銅錢草，死亡剩一株，平均株高增加 6.7 公分	三株銅錢草，死亡剩一株，平均株高減少 1 公分

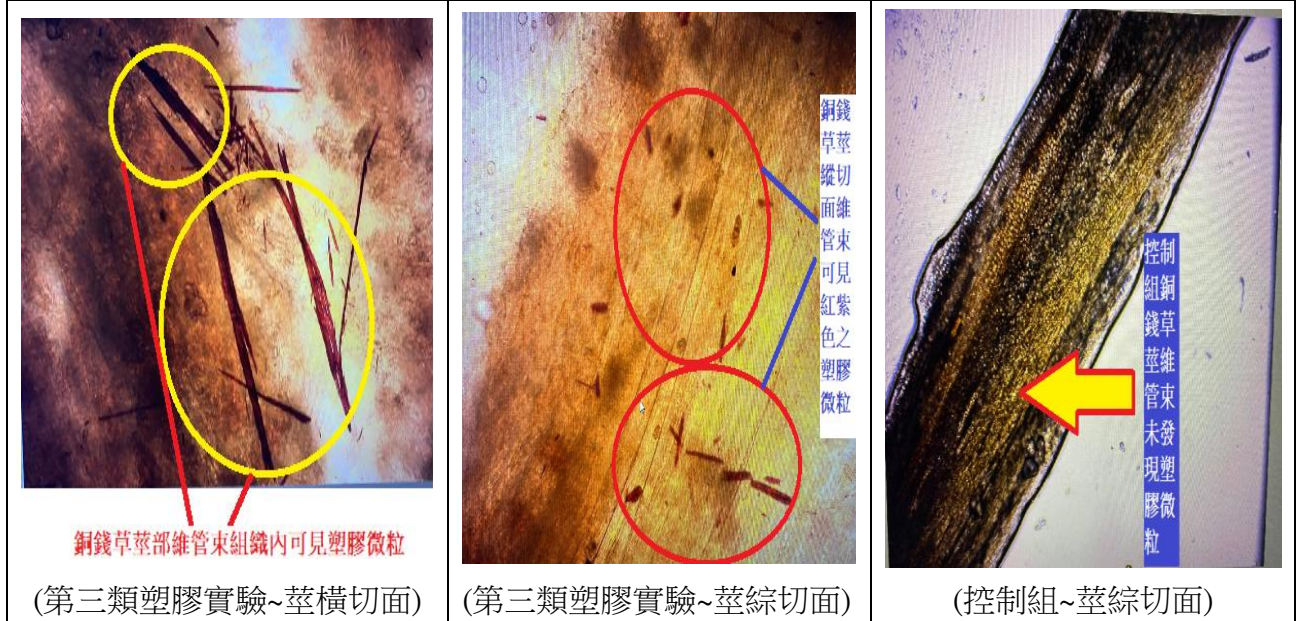


圖 26. 顯微照相下發現銅錢草吸附水中塑膠微粒後運輸且阻塞在莖部輸導組織中(黃圈內紅紫色區塊)

(四) 輪傘草能否吸附水中塑膠微粒實驗

表 8. 輪傘草吸附水中塑膠微粒在全株鮮重生長發育差異性比較表

輪傘草全株鮮重(g)	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	ck
生長量 (第 22 天-第 1 天)	1.3	3.5	*	2.5	1	1.5	3	2.7

註：阿拉伯數字代表”第幾類”塑膠。

結果分析與討論

由表 8 圖 27 得知，輪傘草若在水中加入塑膠微粒後全株鮮重變化量，以**第三類塑膠**最為明顯（三重複均死亡，以 0 計算），相較於控制組平均增加 2.7 公克量，並由圖 28 發現植物體萎縮→乃因根部吸附塑膠微粒導致輸導組織阻塞，逐漸發生枯葉萎凋甚至死亡現象，且在圖 29 顯微照相發現根部輸導組織上有塑膠微粒（紅圈中紫紅色之區塊），顯見其抑制生長，證明輪傘草會吸附水中塑膠微粒，達降解水中塑膠微粒效果，特別是第三類塑膠。

圖27.塑膠微粒導致輪傘草全株鮮重變化量 (g)

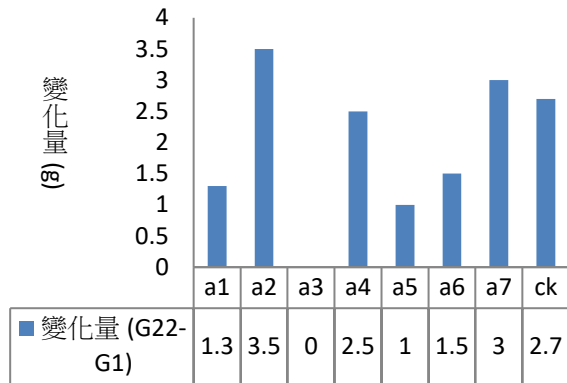


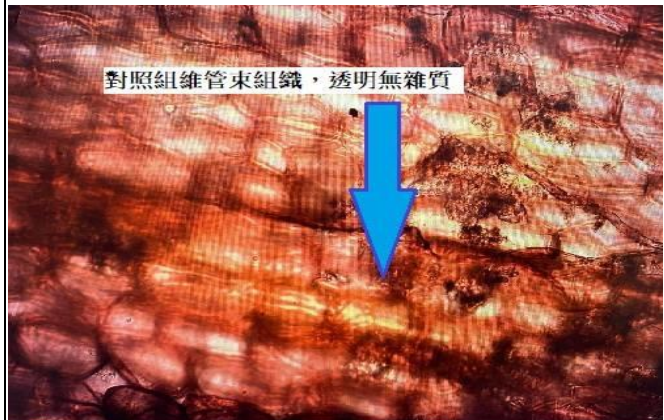
圖 28.輪傘草實驗組吸附第三類塑膠與控制組(未置入塑膠微粒)之全株鮮重比較

第三類塑膠處理: 鮮重 (輪傘草) 於第 20 天時死亡(終止調查實驗) →以 0 計重

控制組處理: 鮮重 (輪傘草) 第 22 天鮮重量相差達 (2.7 公克)



輪傘草根維管束組織 吸附塑膠微粒狀態圖(紅圈內紫紅色區塊)



對照組維管束組織，透明無雜質

圖 29 左圖 顯微照相下發現輪傘草吸附水中塑膠微粒後阻塞在根部輸導組織中(紅圈處紅紫色區塊)
右圖 控制組顯微照相下發現輪傘草根維管束透明無雜質

四、研究四：探討萬年溪中塑膠微粒對水蚤心跳數、存活率、活動力、繁衍力之影響

實驗一：各種不同環境水質對水蚤各項特性之影響，擇取研究一中萬年溪塑膠微粒含量『高、中、低』共三個取樣點原水及對照組(純水)進行 10 重複實驗，進行調查 10 天後水蚤心跳數、存活率、活動力、繁衍力之差異性比較(表 9、10)。

表 9. 取樣萬年溪溪水對水蚤心跳數、存活率、活動力之影響比較

樣本	觀察項目		第1天	第4天	第7天	第10天
控制組 (純水~ 無食物)	每分鐘心跳數(10 隻平均值)		276.1	296.2	326.8	305.7
	存活率%		80	80	80	70
	活動力(cm/min) (10 隻平均值)	日	23.61	18.04	19.70	17.92
		夜	32.83	36.12	36.02	37.72
廣東橋 (微粒濃 度高)	每分鐘心跳數(10 隻平均值)		183.6	199.7	210.6	180.4
	存活率%		100	100	80	70
	活動力(cm/min) (10 隻平均值)	日	30.55	24.79	19.29	21.56
		夜	36.50	40.50	43.87	44.38
勝利橋 (微粒濃 度中等)	每分鐘心跳數(10 隻平均值)		220.9	240.5	190.4	210.8
	存活率%		100	90	90	80
	活動力(cm/min) (10 隻平均值)	日	31.69	25.27	20.09	23.10
		夜	38.93	41.07	40.17	42.99
玉皇宮 (微粒濃 度低)	每分鐘心跳數(10 隻平均值)		261.0	220.4	234.8	210.8
	存活率%		100	100	100	100
	活動力(cm/min) (10 隻平均值)	日	32.55	30	21.83	33.96
		夜	36.52	40.23	38.19	45.63

註:存活率%=存活的水蚤數/原有水蚤隻數，四捨五入後取整數。

結果分析與討論

由實驗一進行為期 10 天觀察溪水對水蚤心跳數、存活率及活動力之影響比較(表 9)：

1. 每分鐘心跳數比較上：塑膠微粒濃度愈高，導致水蚤心跳數下降率愈明顯。其中以**廣東橋**(微粒濃度最高者)每分鐘 180.4 次/分鐘最低，反觀控制組(純水)心跳數仍保持正常狀態維持在平均每分鐘 305.7 次/分鐘。
2. 在**存活率%**方面比較：實驗組與控制組(純水~無投餌料餵食)無太大差別(約 70~80%)，唯**玉皇宮**水樣存活率最高達 100%，推測與此水質中有較多營養物質(如藻類)，可供水蚤攝食，維持其生存。
3. 在**活動力(cm/min)**方面比較：
在白天有光時或夜晚無光時，仍以**玉皇宮**水樣活動力白天最高達 33.96(cm/min)、夜晚則為 45.63(cm/min)，推論與水中有豐富食物有關，反觀控制組(純水無任何營養物條件)，

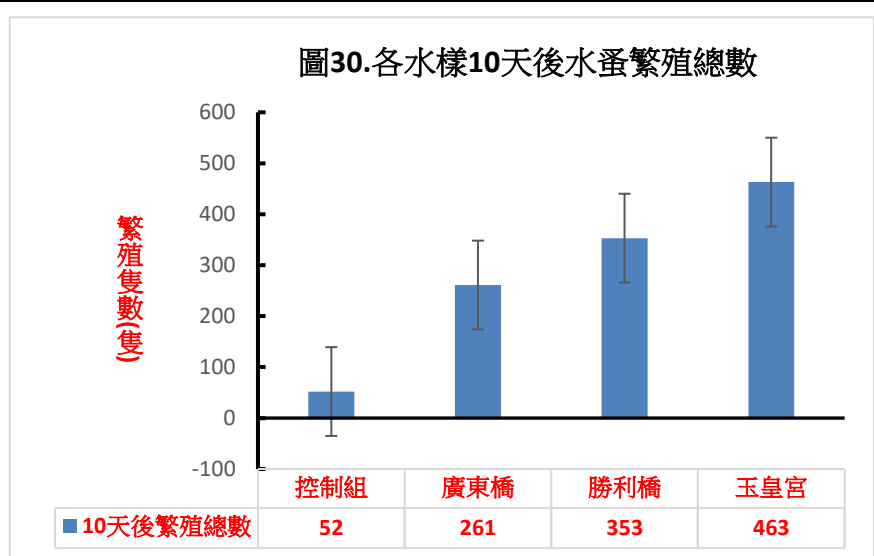
無攝入食物情況下，活動力越來越差，且為各處理中最差，第 10 天時白天活動力僅達 17.92(cm/min)、夜晚則為 37.72(cm/min)。
 另一重大發現~無論任何一種處理，夜間(無光)活動力均優於白天(有光)條件下。

表 10. 取樣萬年溪溪水對水蚤繁衍力(生殖狀況)之影響

天數 生殖(隻)	天數										總計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
控制組	5	4	1	0	0	5	14	12	8	3	52
廣東橋	7	0	0	0	0	12	7	76	75	84	261
勝利橋	4	1	7	1	2	16	9	78	111	124	353
玉皇宮	11	0	1	2	5	96	37	105	110	96	463

結果分析與討論

由表 10 及圖 30 可知在各種取樣溪水的水蚤繁衍力，皆比控制組好，且有顯著性差異。依照研究一量測之溪水塑膠微粒含量，由少至多依序為玉皇宮>勝利橋>廣東橋，這和繁衍出來的水蚤數目，由多至少為玉皇宮>勝利橋>廣東橋，呈現正相關，此與理論上符合。



實驗二：暴露在不同塑膠微粒環境中對大型蚤各項生理影響實驗（三重複實驗取平均值）

本實驗先採用預備實驗，即拍攝未取食、取食小球藻及濾食塑膠微粒後透過富士顯微鏡觀察比對水蚤體內消化道狀態，來驗證水蚤會濾食塑膠微粒之可能性假說。



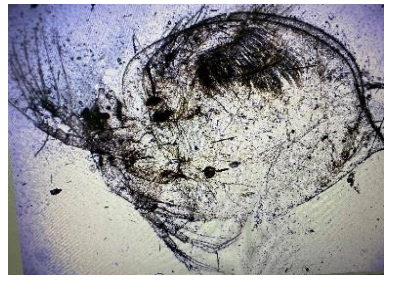
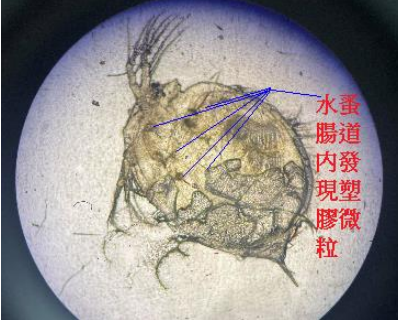

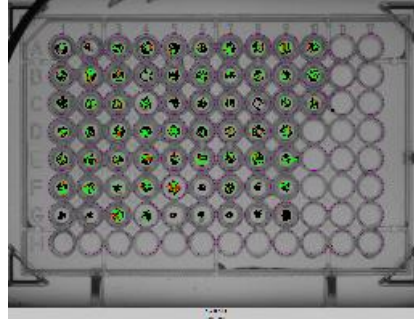
		
<p>圖 31.水蚤未濾食食物腸道狀態</p>	<p>圖 32.水蚤濾食小球藻後腸道有球藻位置(箭頭處)</p>	<p>圖 33.水蚤有濾食塑膠微粒狀態圖(染色前)</p>
		
<p>圖 34.水蚤有濾食塑膠微粒狀態圖(尼羅紅染色後)</p>	<p>圖 35.水蚤心跳數計量示意圖</p>	<p>圖 36.利用斑馬魚行為觀察系統 觀察塑膠微粒對養殖第10天後水蚤活動力</p>

表 11. 不同塑膠微粒環境對水蚤心跳數、存活率、活動力之影響比較

樣本環境	濃度	觀察項目	第1天	第4天	第7天	第10天
控制組 (無塑膠微粒)	0	每分鐘心跳數 (10 隻平均值)	265.6	250.9	255.3	274.2
		存活率%	100	100	100	100
		活動力(cm/min) (10 隻平均值)	日 25.46 夜 24.98	23.92 31.75	18.17 36.47	20.08 40.95
塑膠微粒 (PVC)	0.01 mg/L	每分鐘心跳數 (10 隻平均值)	170.7	183.6	220.3	198.4
		存活率%	100	100	90	90
		活動力(cm/min) (10 隻平均值)	日 35.92 夜 32.58	23.29 36.22	23.56 37.39	20.17 38.16
	0.1 mg/L	每分鐘心跳數 (10 隻平均值)	219.2	230.0	195.7	228.7
		存活率%	100	100	90	90
		活動力(cm/min) (10 隻平均值)	日 33.91 夜 30.10	25.14 37.23	22.38 43.69	19.33 42.49

塑膠微粒 (PS)	0.01 mg/L	每分鐘心跳數 (10 隻平均值)		264.5	271.0	256.0	249.8
		存活率%		100	100	100	100
		活動力(cm/min) (10 隻平均值)	日	26.45	25.84	24.52	20.25
	夜		24.16	33.24	34.94	34.81	
	0.1 mg/L	每分鐘心跳數 (10 隻平均值)		250.1	235.8	276.2	280.3
		存活率%		90	90	90	90
活動力(cm/min) (10 隻平均值)		日	19.06	25.94	24.03	21.06	
	夜	22.58	31.27	39.60	35.39		
塑膠微粒 (PC)	0.01 mg/L	每分鐘心跳數 (10 隻平均值)		275.9	271.7	287.8	270.1
		存活率%		100	90	90	80
		活動力(cm/min) (10 隻平均值)	日	20.14	28.54	26.17	19.67
	夜		23.81	31.86	40.56	38.26	
	0.1 mg/L	每分鐘心跳數 (10 隻平均值)		282.0	293.7	294.1	291.8
		存活率%		100	100	100	100
活動力(cm/min) (10 隻平均值)		日	29.59	21.75	24.61	22.09	
	夜	28.86	31.28	39.14	32.84		
塑膠微粒 (HDPE)	0.01 mg/L	每分鐘心跳數 (10 隻平均值)		214.9	237.3	221.3	217.6
		存活率%		100	100	100	100
		活動力(cm/min) (10 隻平均值)	日	28.40	21.07	20.42	18.41
	夜		30.76	32.77	36.78	36.20	
	0.1 mg/L	每分鐘心跳數 (10 隻平均值)		241.9	237.3	242.6	206.8
		存活率%		100	100	100	100
活動力(cm/min) (10 隻平均值)		日	37.80	34.17	22.36	21.12	
	夜	32.39	37.07	35.82	39.01		
塑膠微粒 (LDPE)	0.01 mg/L	每分鐘心跳數 (10 隻平均值)		236.7	234.4	216.2	237.5
		存活率%		100	100	100	90
		活動力(cm/min) (10 隻平均值)	日	36.08	41.25	30.01	27.63
	夜		26.79	40.61	34.74	37.21	
	0.1 mg/L	每分鐘心跳數 (10 隻平均值)		205.8	217.6	221.8	220.9
		存活率%		100	100	90	90
活動力(cm/min) (10 隻平均值)		日	33.24	29.82	31.09	25.93	
	夜	30.41	40.73	40.92	42.64		

註:存活率%=存活的水蚤數/原有水蚤隻數，四捨五入後取整數。

結果分析與討論

根據黑潮基金會 2019 年對臺灣周遭的塑粒濃度的調查，八掌溪是嚴重受污染溪流，塑膠含量為 0.01mg/L，因此，我們選用塑膠含量為 0.01mg/L 和 0.1mg/L，若台灣海域的塑膠排放量持續增長，環境將愈來愈接近本實驗所設定的 0.1mg/L 環境污染濃度值，則會對蚤類族群造成影響且破壞生態平衡。

由實驗二分為無塑膠微粒環境的對照組和兩種不同塑膠微粒濃度的塑粒環境組，分別為 0.01 mg/L、0.1 mg/L 塑膠微粒濃度，並置於 250 mL 血清瓶中培養，環境中皆含有 200mL 氣曝水，每 3 日餵食綠水 1mL 並更新水體環境。每組放入 10 隻大型蚤，控制光週期為 16 hr 光照/ 8 hr 黑暗下。進行為期 10 天觀察溪水對水蚤心跳數、存活率及活動力之影響比較(表 11)：

- 1.在**每分鐘心跳數**比較上：若以**控制組** 274.2(下/分)為衡量標準，就同種塑膠微粒而言，並無濃度愈高，水蚤心跳數下降率越多現象，但從各樣本中可發現，除了**PC 塑膠**微粒環境，心跳數仍維持正常外，餘其他**塑膠環境**下的水蚤，心跳(搏)數**普遍較控制組少**，且以**塑膠微粒(PVC) 0.01 mg/L**環境下**198.4**(下/分)最低，其次為塑膠微粒(HDPE) 0.1 mg/L 為 206.8(下/分)，推論塑膠微粒環境的確會導致水蚤心跳數減少。
- 2.在**存活率%**方面比較：控制組(純水~無投塑料) 存活率最高達 100%，實驗組(各種不同塑膠微粒)以塑膠微粒 PC (聚碳酸酯) 0.01 mg/L 濃度存活率 80%最低，其次為 PVC (聚氯乙烯)、PS(聚苯乙烯)、LDPE (低密度聚乙烯)達 90%，推測 PVC 製成需要添加許多塑化劑，塑化劑本身就很容易影響生物體出現焦躁不安、過動等現象。此與 Zhang 等人(2019)透過蛋白質組分析，發現聚苯乙烯塑膠微粒會增加大型蚤細胞合成的次數並減少能量的儲存，進而導致大型蚤存活率和繁殖力下降之結果雷同。
- 3.在**活動力(cm/min)**方面比較：在白天有光時，控制組水樣活動力達 20.08(cm/min)，比控制組低者有 HDPE(高密度聚乙烯) 濃度 0.01 mg/L 時，活動力僅 18.41(cm/min)及 PC(聚碳酸酯) 濃度 0.01 mg/L 時，活動力為 19.67(cm/min)，但彼此間相差不多。夜晚時控制組活動力為 40.95 (cm/min)，PC(聚碳酸酯)濃度 0.1 mg/L 時，活動力 32.84(cm/min)最低，其次為 PS(聚苯乙烯) 濃度 0.01 mg/L 時，活動力 34.84(cm/min)，表示夜晚塑膠微粒環境會迫使水蚤活動力有明顯下降趨勢。

同實驗一發現~無論任何一種處理，夜間(無光)活動力均優於白天(有光)條件下。

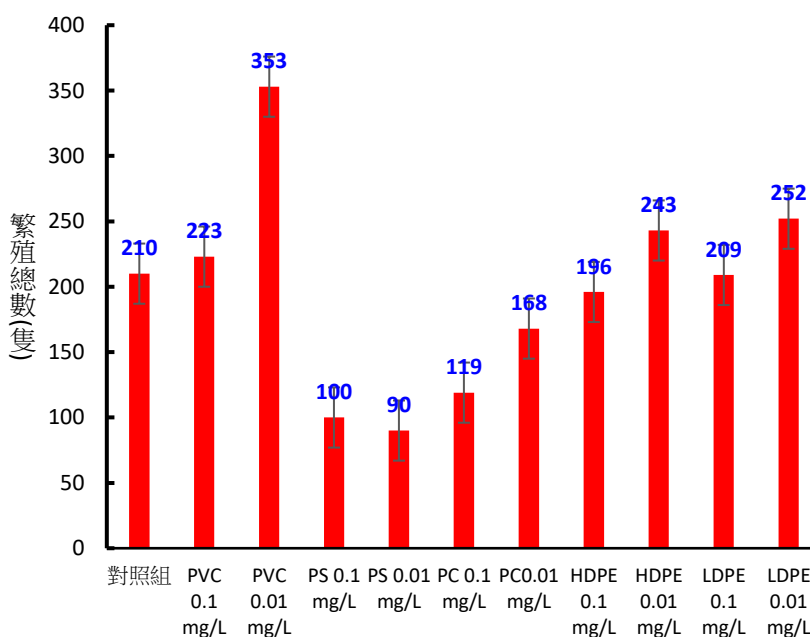
表 12. 不同塑膠微粒環境對水蚤繁衍力(生殖狀況)之影響

天數		天數										總計
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
生殖 (隻)		0	0	0	1	2	19	5	23	101	59	210
對照組		0	0	0	1	2	19	5	23	101	59	210
PVC	0.1 mg/L	0	0	0	0	0	0	0	36	76	111	223
	0.01 mg/L	0	0	0	0	1	0	15	57	88	193	353
PS	0.1 mg/L	0	0	0	0	0	2	1	19	52	26	100
	0.01 mg/L	0	0	0	0	0	0	6	21	41	22	90
PC	0.1 mg/L	0	0	0	0	0	0	0	33	59	27	119
	0.01 mg/L	0	0	0	0	0	0	22	43	77	26	168
HDPE	0.1 mg/L	0	0	0	0	0	0	1	27	74	94	196
	0.01 mg/L	0	0	0	0	0	0	0	43	92	108	243
LDPE	0.1 mg/L	0	0	0	0	0	0	7	43	64	95	209
	0.01 mg/L	0	0	0	0	0	0	0	29	45	178	252

結果分析與討論

由表 12 及圖 37 可知在各種不同塑膠微粒及濃度下，水蚤繁衍力影響，PS(聚苯乙烯)兩種濃度繁殖總數 90~100 隻、PC(聚碳酸酯) 0.1 mg/L 繁殖總數 119 隻皆比控制組繁殖總數 210 隻為低，且有顯著性差異。此與(楊雅雯，2020)研究 PS 塑膠奈粒對延緩第一代水蚤子代產出時間和總子代數量減少之研究雷同。並推論因 PC 通常可能溶出雙酚 A，而雙酚 A 會造成生殖功能下降此與結果表上相符合。

圖37.不同塑膠微粒對水蚤繁衍力影響



陸、結論

一、研究一：萬年溪之塑膠微粒量及種類

(一) 萬年溪各採樣點流速、濁度、表層塑膠微粒數量及光譜推估塑膠微粒種類(表 13)

表 13.萬年溪各採樣點流速；濁度、表層塑膠微粒數量及纖維顏色比較

採樣橋名稱	流速(m/s)	濁度(NTU)	塑膠纖維數(根)	光譜推估塑膠微粒種類
海豐濕地	5	9.71	146	光譜的 PEAK 太小
崇蘭舊圳	5	11.16	83	第三類(PVC)、第六類(PS)、第七類塑膠(PC 等)
瑞光路口	6.5	10.47	62	第三類(PVC)、第六類(PS)、第七類塑膠 (PC 等)
廣東橋	2.5	10.18	173	第三類(PVC)、第六類(PS)、第七類塑膠 (PC 等)
勝利橋	1.5	8.92	87	第三類(PVC)、第六類(PS)、第七類塑膠(PC 等)
長春橋	0.5	7.40	167	第七類塑膠(PC 等)
玉皇宮	0.5	7.60	30	第三類(PVC)、第六類(PS)、第七類塑膠 (PC 等)
建國橋	0.5	6.64	42	第六類(PS)、第七類塑膠(PC 等)
希望之橋	0.5	3.71	67	第二類(HDPE)、第四類(LDPE)、第六類(PS)、第七類塑膠(PC 等)

(二) 各採集點的塑膠微粒數量統計及內含塑膠類別(表 14)

表 14. 於各採集點的塑膠微粒數量統計及內含塑膠類別

採樣橋名稱	塑膠纖維數(根)	推測有可能的塑膠標號
海豐濕地	146	光譜的 PEAK 太小 可能是背景值
崇蘭舊圳	83	第三類塑膠(PVC)、第六類塑膠(PS)、第七類塑膠(PC 等)
瑞光路口	62	第三類塑膠(PVC)、第六類塑膠(PS)、第七類塑膠(PC 等)
廣東橋	173	第三類塑膠(PVC)、第六類塑膠(PS)、第七類塑膠(PC 等)
勝利橋	87	第三類塑膠(PVC)、第六類塑膠(PS)、第七類塑膠(PC 等)
長春橋	167	第七類塑膠(PC 等)
玉皇宮	30	第三類塑膠(PVC)、第六類塑膠(PS)、第七類塑膠(PC 等)
建國橋	42	第六類塑膠(PS)、第七類塑膠(PC 等)
希望之橋	67	第二類塑膠(HDPE)、第四類塑膠(LDPE)、第六類塑膠(PS)、第七類塑膠(PC 等)

二、研究二：探討萬年溪取水點周遭的人口數與塑膠微粒的相關性分析

- 1.海豐濕地水域塑膠微粒數值排名第 3，由九如鄉農、畜牧業廢水(內含塑膠廢料，塑膠會破碎劣化)隨著灌溉水後逕流入河川中，且鄉內沒有汙水處理系統，所以塑膠微粒偏高。
- 2.廣東橋水域塑膠微粒數值最高，推論位於『住宅區』，與家庭排放民生用水(汙水)有關，易導致溪水中塑膠微粒含量高，且周圍的汙水處理系統接管率非常低。
- 3.長春橋塑膠微粒數值次高，推論位於商業區有直接關係。汽、機車輪胎因輪胎皮會耗損，城市塵埃等因風化、磨損而產生塑膠微粒，而周邊的屏東夜市之清潔劑的沖洗及塑料的使用，導致廢塑膠垃圾會在降解的過程中大量產生塑膠微粒。
- 4.勝利橋塑膠微粒數值有驟減，推論應與圖 10『千禧公園』之生態工法引流至生態池淨化水質之效能有關，且汙水下水道系統工程在勝利橋附近接管率較高，有效降低河川塑膠微量含量。

三、研究三：探討水生植物能否吸附水中七大類塑膠之相關性分析

- 1.布袋蓮若在水中加入塑膠微粒後，全株鮮重量驟減，發現葉片輸導組織上有塑膠微粒，證明布袋蓮會可降解水中塑膠微粒效果，特別是第四類塑膠。
- 2.水芙蓉在水中加入塑膠微粒後，全株鮮重以第七類塑膠驟減量(-3.5 公克)最為明顯。
- 3.銅錢草在水中加入塑膠微粒後全株株高變化量，以第三類塑膠驟減 7 公分最為明顯。
- 4.輪傘草在水中加入塑膠微粒後全株鮮重變化量，以第三類塑膠最為明顯，相較於控制組則平均增加 2.7 公克量。

四、研究四：探討萬年溪中塑膠微粒對水蚤心跳數、存活率、活動力、繁衍力之影響

(一)實驗一：各種不同環境水質對水蚤各項特性之影響

- 1.各種不同環境水質對水蚤各項特性之影響每分鐘心跳數比較上：溪水中塑膠微粒濃度愈高(廣東橋溪水)，導致水蚤心跳數下降率愈明顯。
- 2.存活率%方面比較：玉皇宮水樣存活率最高達 100%，推測與此水質中有較多營養物質(如藻類)，可供水蚤攝食，維持其生存。
- 3.在活動力(cm/min)方面比較：白天有光時或夜晚無光時，以玉皇宮水樣活動力最高)，推論與水中有豐富食物有關，反觀控制組，無攝入食物情況下，活動力越來越差，且為各處理中最差。
→另一重大發現~無論任何一種處理，夜間(無光)活動力均優於白天(有光)條件下。
- 4.溪水塑膠微粒含量，玉皇宮>勝利橋>廣東橋，這和繁衍出來的水蚤數目，由多至少為玉皇宮>勝利橋>廣東橋，呈現正相關，此與理論上符合。

(二)實驗二：暴露在不同塑膠微粒環境中對大型蚤各項生理影響實驗

- 1.每分鐘心跳數比較上：從各樣本中可發現，除了 PC 塑膠微粒環境，心跳數仍維持正常外，餘其他塑膠環境下的水蚤，心跳數普遍較控制組少，且以塑膠微粒(PVC) 0.01 mg/L 環境下 198.4 (下/分)最低，推論塑膠微粒環境的確會導致水蚤心跳數減少。
- 2.在存活率%方面比較：實驗組以塑膠微粒 PC (聚碳酸酯) 0.01 mg/L 濃度存活率 80%最低，塑化劑本身就容易影響生物體出現焦躁不安、過動等現象。
- 3.在活動力方面比較：在白天有光時，控制組水樣活動力達 20.08(cm/min)，比控制組低者有 HDPE(高密度聚乙烯) 濃度 0.01 mg/L 時，活動力僅 18.41(cm/min)及 PC(聚碳酸酯) 濃度 0.01 mg/L 時，活動力為 19.67(cm/min)，但彼此間相差不多。夜晚時控制組活動力為 40.95 (cm/min)，PC(聚碳酸酯)濃度 0.1 mg/L 時，32.84(cm/min)最低，其次為 PS(聚苯乙

烯) 濃度 0.01 mg/L 時，活動力 34.84(cm/min)，表示夜晚塑膠微粒環境會迫使水蚤活動力有明顯下降趨勢。

4. 在各種不同塑膠微粒及濃度下之水蚤繁衍力影響，PS(聚苯乙烯)繁殖總數 90~100 隻、PC(聚碳酸酯)繁殖總數 119 隻皆比控制組繁殖總數 210 隻為低，且有顯著性差異。此與前人研究 PS 塑膠奈粒對延緩第一代水蚤子代產出時間和總子代數量減少之研究雷同。

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，我們很感謝屏東大學(細胞及分子生物實驗室)商借我們光譜儀，及提供我們水蚤和斑馬魚行為觀察系統及測量水蚤心跳軟體。因為在國中端要取得這些儀器確實很困難，還好屏東大學不吝幫忙，對於我們國中生想做科展給予莫大的支持。

二、研究概念及方法限制

我們做科展的歷程中，多多少少都會遭遇到很多知識不足之處，雖然會請教專家學者(水利局、環保局)，但是對於地球科學、生物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，建議未來可進行更廣泛的探究。

三、未來展望

研究過程中，因為我們取水時是枯水期，是否會因枯水期而使塑膠微粒量變多?未來我們考慮將取水時間拉長，做看看枯水期及豐水期的比較，再探討二者之間的差異，是我們近程目標。

中程目標：本研究重大發現~生態工法的確對於減少塑膠微粒有莫大的幫助，若我們在溪流中種植適合的水生植物(如水芙蓉)，應可以有效減少塑膠微粒。最後，希望能找出有效且環保能降低塑膠微粒數值的方法，減少因文明進步而產生的環境汙染問題。雖然台灣在 2018 年 8 月 1 日禁止販售含有塑膠柔珠的洗面乳、牙膏和磨砂膏等個人清潔用品，卻還是有大量的塑膠微粒存於河口和海洋當中。這些塑膠微粒可能源自於輪胎、衣物裡的合成纖維，或是工業排放，隨著洋流在全世界蔓延後，除了對海洋生物造成威脅，也會存於我們所食用的海鮮當中，傷害人體健康，成為名符其實的「隱形殺手」。

柒、參考文獻資料

1. 探討活動五 心搏 · 取自 <https://slidesplayer.com/slide/11042703/>
2. 環境檢驗所(2020 年1 月4 日) 水中微型塑膠檢測方法-熱觸法 (NIEA M909.00C) [公告] · 取自 <https://www.epa.gov.tw/niea/6BEE72C0B3545B27>
3. 環境檢驗所 (2004 年 12 月 27 日) 河川、湖泊及水庫採樣通則 (NIEA W104.51C) [公告] · 取自 <https://www.epa.gov.tw/niea/7AB3A823E6E36A4B>
4. Lingshi, Y. Xiaofeng, W . Chunyan , D. Jin, J. Lixue, W. Y, Z. Zhihui, Hu. Shuping, Hu, Zhiqiao, Feng. Zhenyu, Z. Yuannan, L. Qi, G. (2020). Comparison of the abundance of microplastics between rural and urban areas: A case study from East Dongting Lake. *Chemosphere*, 244, 125486.
5. Dikareva, N., Simon, K.S. (2019). Microplastic pollution in streams spanning an urbanization gradient. *Environmental Pollution*, 250, 292-299
6. Su, L. Xue, Y. Li, L. Yang, D. Kolandhasamy, P. Li, D. Shi, H. (2016). Microplastics in Taihu Lake, China. *Environmental Pollution*, 216, 711-719.
7. 賴韻如(1994) · 環境因子對水蚤影響之研究 · 全國中小學科展作品。
8. 羅芝瓴;梁筑庭;宮昕儀(2020) · 塑膠微粒對大型蚤生殖的影響 · 全國中小學科展作品。
9. 屏東縣牛稠河流域整體環境改善計畫 · 取自 <https://formosarace.blogspot.com/2021/04/>
10. 楊雅雯(2020) · 塑膠奈粒對水蚤能量分配之影響與其生殖毒性 · 國立交通大學論文。
11. 綠色農村的循環理念/農村綠學苑培訓營-台中|高雄|台東場(2019-10-24) · 主婦聯盟環境保護基金會 · 取自 <https://www.huf.org.tw/>
12. 魯皓平 (2021-04-20) · 塑膠微粒從哪裡來？研究證實：它已成了水循環的一部分 · 遠見雜誌網 · 取自 <https://www.gvm.com.tw/article/79064>

【評語】 030506

【優點】

1. 研究主題具鄉土性及與環境相關，為延續性的實驗。該設計合理、充分，施作細心，牽涉多層面的知識與切入。
2. 科學方法的使用，具成熟的概念(加上屏東大學之儀器設備支持)。
3. 研究有將構想具體化，完整作出實驗與分析，生物反應觀察是研究特色。
4. 研究結果與推論合理(人類活動造成塑膠微粒，排入河川)。
5. 問題回答切合主題，且有抓住重點。

【建議】

1. 量度數據的確定性，統計有效數字的呈現，可以再更精準。
2. 可多思考與理解量度(例如光譜)的學理與實際應用的結合。
3. 變因可有不同的探討(實驗目前只著重在枯水期，實用性有限)。

作品簡報

科 別：地球科學

組 別：國中組

作品名稱：

「塑」人之亂-探討萬年溪塑膠微粒及人口數的關係



前言

近幾年全國學生科展研究塑膠微粒部分，大多只針對海洋生物體內的塑膠微粒量，而黑潮等非官方組織，大多都在沿海地區做大型塑膠微粒研究，尚未關心溪流中的塑膠微粒量，所以我們想從源頭減塑做起。

去年(第60屆科展)我們嘗試用螢光染色法來找屏東溪流中塑膠微粒量，對於定量部分，我們以Image J 來定量。

今年進行延伸性實驗，想用最基礎的方式來定量定性改良，**熱觸法**是一個非常實用且簡單的方式，而定性部分，我們想借助『**拉曼光譜法**』，更進階能將河水中的塑膠微粒分析出哪類塑膠污染較嚴重？

並結合地理資訊圖資雲服務平台(TGOS)，得知**溪流周邊單位面積人口數**，進而探討周邊人口生活型態(住宅區、商業區、工業區)對塑膠微粒累積的可能性及公共設施是否會影響塑膠微粒量？

另國內外罕見**水生植物**是否具有可**吸附塑膠微粒**能力之研究？對植物生長是否有影響？若可以吸附，是否可以用來當**攔塑**的方法？

而**環境生態指標生物~水蚤**，在塑膠微粒中的繁衍力、心跳、存活率及活動力是否會受塑膠微粒影響？均為我們想探究之目標。

研究架構

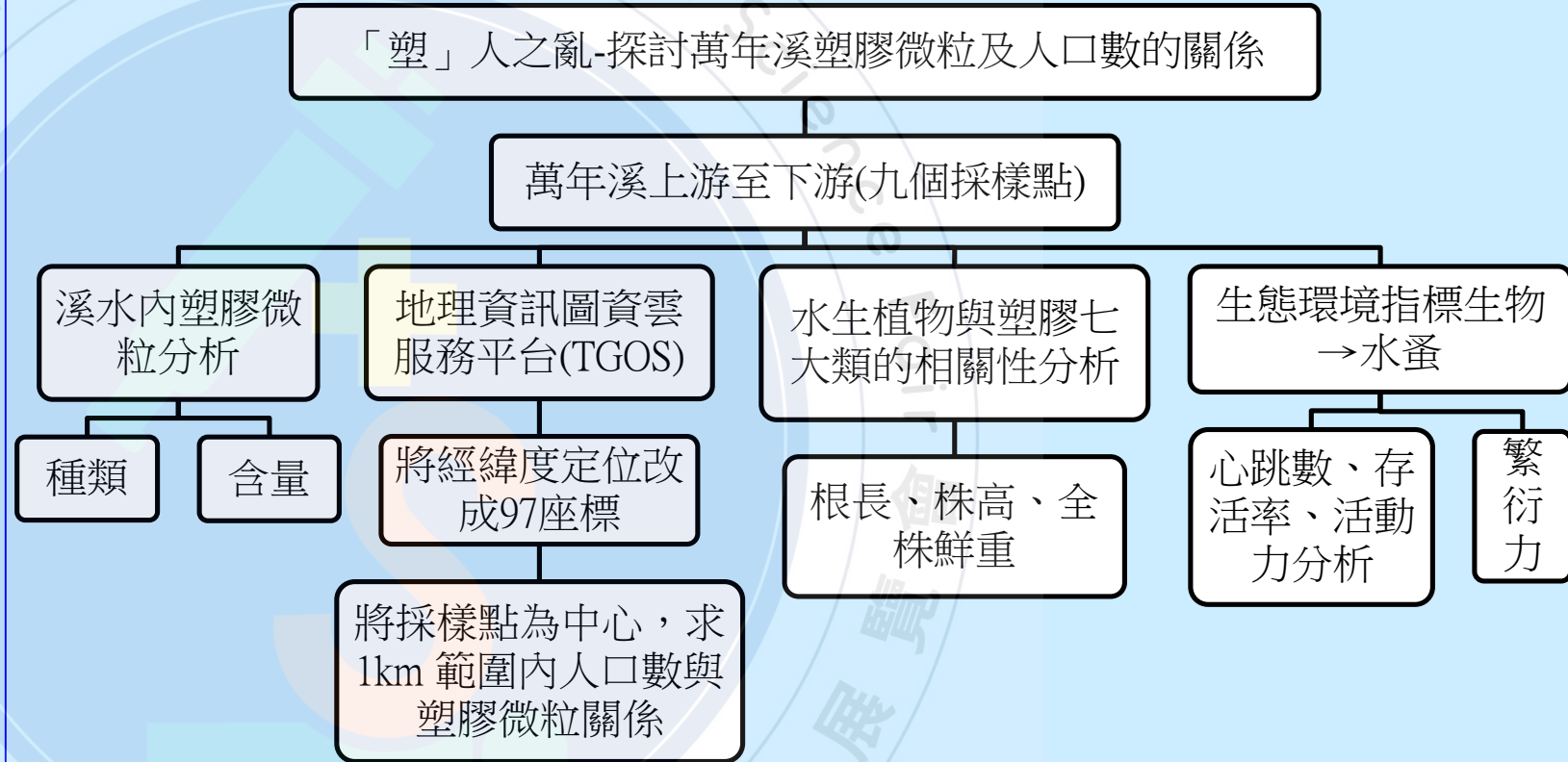


圖1.研究架構圖

研究方法:

- 研究一:探討萬年溪之塑膠微粒含量及種類
首先在萬年溪上、中、下游進行9處取水，**取水點是依土地都市計畫分區為主要比較，從農業區到一邊未開發工業區一邊住宅區，進而公園綠地前後，再到住宅區及商業區**，進行塑膠微粒之分析，進而了解萬年溪塑膠微粒之污染狀況。
- 研究二:探討萬年溪取水點周遭的人口數與塑膠微粒的相關性分析
將9個取水點的**經緯度資料**，轉換為97座標，利用TGOS系統，將萬年溪取水點周遭的人口數及塑膠微粒含量結合，探討人類活動是否與塑膠微粒有相關性。
- 研究三:探討水生植物與塑膠七大類的相關性分析
擇取萬年溪中常見且繁殖力極強的水芙蓉、銅錢草、輪傘草及布袋蓮等四種水生植物，探討塑膠微粒在溪流中是否會影響水生植物生長發育及暴露在不同塑膠微粒環境中對水生植物之影響
- 研究四:探討萬年溪中不同環境水質及塑膠微粒對水蚤心跳數、存活率、活動力、繁衍力之影響



表1.萬年溪不同採樣點之流速與濁度值

採樣點	座標		流速(m/s)	濁度(NTU)
海豐濕地	N 22.7072	E120.5065	5	9.71
崇蘭舊圳	N 22.6964432	E120.5011908	5	11.16
瑞光路口	N 22.6994	E120.4928	6.5	10.47
廣東橋	N 22.6810490	E120.5011390	2.5	10.18
勝利橋	N 22.6693696	E120.4927703	1.5	8.92
長春橋	N 22.6691351	E120.4947791	0.5	7.40
玉皇宮	N 22.6665972	E120.4929494	0.5	7.60
建國橋	N 22.664697	E120.483303	0.5	6.64
希望之橋	N 22.654311	E120.478935	0.5	3.71

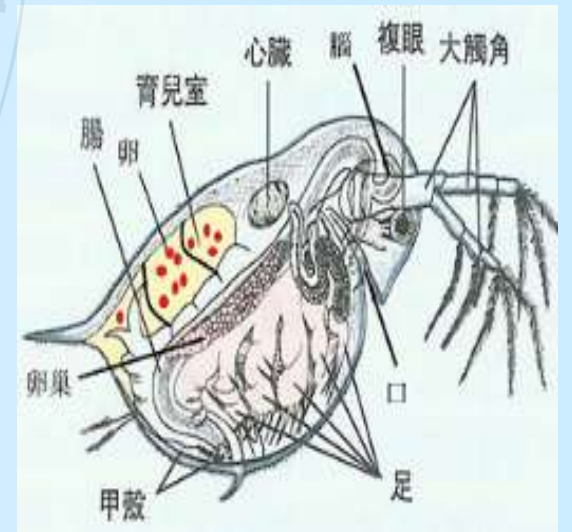


圖3.屏東市萬年溪河道取水點(共九處)分布圖

圖4.水蚤構造模式圖

研究結果與討論：

研究一：探討萬年溪之塑膠微粒數量及種類

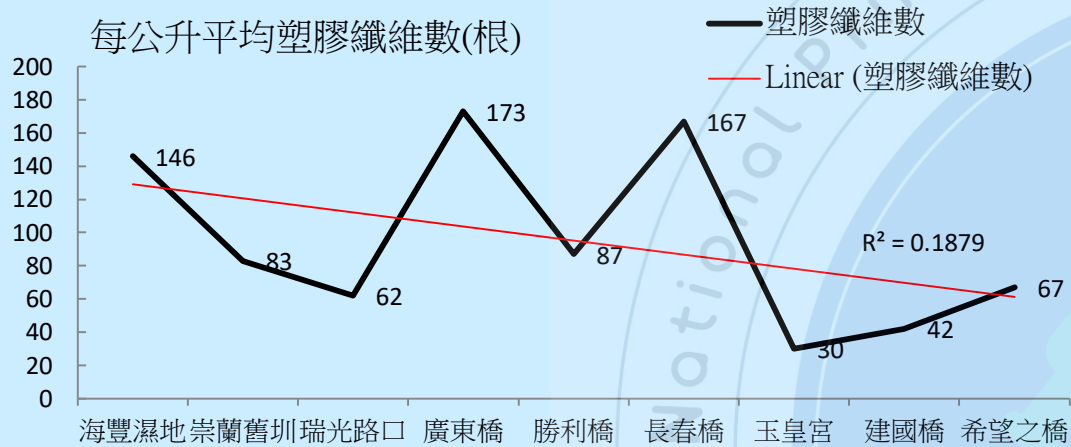


圖5. 各採集點的塑膠微粒根數

結果分析與討論

1. 勝利橋附近河段溪水，由光譜檢測結果推測，含有**第三類塑膠(PVC)**、**第六類塑膠(PS)**、**第七類塑膠(PC等)**，但到了**長春橋**河段溪水，水面較上游的水面寬，流速也較慢，微弱的水動力使水中的塑膠微粒更有可能在沉積物中積累，所以**只剩下第七類塑膠(PC等)**，我們推論**可能因為流速降低，迫使塑膠微粒有更多機會向下沉澱。**
2. **希望之橋**鄰近於『和生市場』~（為屏東市最大型果菜批發市場）河段溪水，由光譜檢測結果，推論含有多種的塑膠微粒，如飯盒、飲料杯、保麗龍製品和塑膠袋，這些都是屬於**第二類、第四類塑膠。**

採樣點	海豐濕地	崇蘭舊圳
研判之塑膠標號	光譜的PEAK太小可能是背景值	第三類、第六類、第七類塑膠
光譜		
採樣點	瑞光路口	廣東橋
研判之塑膠標號	第三類、第六類、第七類塑膠	第三類、第六類、第七類塑膠
光譜		
採樣點	勝利橋	長春橋
研判之塑膠標號	第三類、第六類、第七類塑膠	第七類塑膠
光譜		
採樣點	玉皇宮	建國橋
研判之塑膠標號	第三類、第六類、第七類塑膠	第六類、第七類塑膠
光譜		
採樣點	希望之橋	
研判之塑膠標號	第二類、第四類、第六類、第七類塑膠	
光譜		

圖7. 屏東市萬年溪各取樣點溪水測出之光譜結果及推測可能之塑膠標號

研究二：探討萬年溪取水點周遭的人口數與塑膠微粒的相關性分析(重大發現)



圖17. 萬年溪流域(藍色線條)以每個取水點(紅色數字)為中心1公里範圍的里分布圖

表4 於各採集點周圍(方圓1公里內) 累積人口數及塑膠微粒數量統計(新表)

採樣點	土地利用	地圖上編號	累積人口數(約)	新增人口數	人口密度(排名) (人數/平方公里)	塑膠微粒(排名)
海豐濕地	河川區	8	981		6.202346	146(3)
崇蘭舊圳	堤防區	7	3590	2609	8.090547	83
瑞光路口	住宅區	6	21242	17652	42.39077 (1)	62
廣東橋	住宅區	5	30048	8806	21.02698	173 (1)
勝利橋	住宅區+千禧公園	4	42466	12418	23.70617	87
長春橋	商業區	3	58277	15811	25.60487 (3)	167 (2)
玉皇宮	住宅區+萬年公園	2	60944	2667	4.499463	30
希望之橋	住宅區+復興公園	1	99570	38626(最高)	36.47341 (2)	67

結果分析與討論

- 編號8：海豐濕地水域塑膠微粒數值偏高，我們推論海豐溼地(雖周圍人口稀少)的水是由九如鄉農畜牧業廢水(內含塑膠肥料袋、農藥瓶罐、塑膠布等在戶外風吹日曬雨淋，塑膠會破碎劣化)隨著灌溉水滲入附近溝渠，在逕流入河川中，而九如鄉沒有汙水處理系統，所以塑膠微粒偏高。(綠色農村的循環理念，2019)
- 編號6：瑞光路口水域人口密度居第1高，排放之民生廢水量可觀，加上汙水下水道系統接管率不高，直接排放溪流中導致此處塑膠微粒濃度最高，導致編號5廣東橋水域塑膠微粒量高居第1，所幸，編號4：勝利橋水域塑膠微粒數值有驟減，推論與『千禧公園』之生態工法引流至生態池淨化水質之效能有關，且汙水下水道系統工程在勝利橋附近接管率較高，有效降低河川塑膠微量含量。
- 編號3：雖長春橋水域人口密度排名第3，且位居夜市等商業區，致塑膠微粒量高居第2，但至編號2：玉皇宮前水域，經五個固床工，增加曝氣量，供給水生動植物和微生物良好生長條件，降解塑膠微粒含量；2個箱涵內設置截流井，將生活汙水進行截流，續接入汙水下水道系統引流至六塊厝水資源回收中心進行處理，並經萬年公園疊瀑水道、礫間水道等各項淨水設施，避免溪水水質惡化。
- 編號1：希望之橋水域雖人口密度排名第2，但因復興公園前端水域建置橡皮壩攔水堰、溢流至公園後，經由水生植物淨化水道及礫間水道等水利設施有效淨化水質，塑膠無微粒量偏低。



圖9.屏東縣高屏河流域（屏東市）污水下水道系統建設圖



圖16. 萬年溪流域(藍色線條) 主要流經住宅區、商業區和公園用地之分布圖



圖10.千禧公園之生態池淨水之生態工法



圖11. 長春橋平日車水馬龍的街景、附近興建大型停車場(共三處分別為夜市、公園、勝利路上)、屏東夜市



圖12.從長春橋到玉皇宮前的水利工程→固床工

圖13.從長春橋到玉皇宮前的水利工程→箱涵



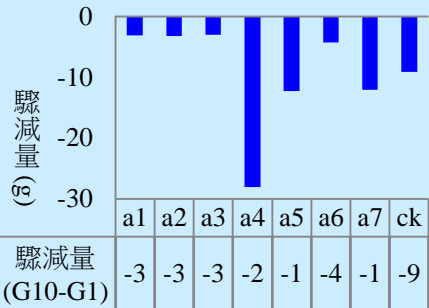
圖14.萬年溪改造工程～萬年公園下游多種生態工法、設施淨化水質

圖15.萬年溪改造工程～橡皮壩工程引溪水至復興公園型水域

研究三：探討水生植物能否吸附水中七大類塑膠之相關性分析(重大發現)

結果分析與討論(以下均為三重複)

圖18.塑膠微粒導致布袋蓮全株鮮重驟減量(g)

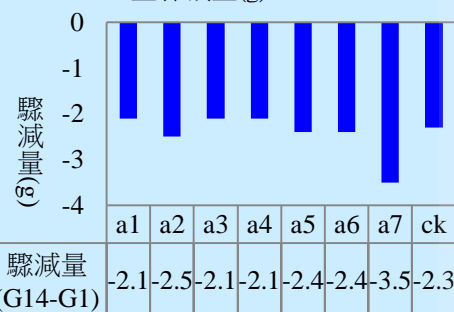


布袋蓮若在水中加入塑膠微粒後全株鮮重量驟減，以**第四類塑膠**最為明顯。

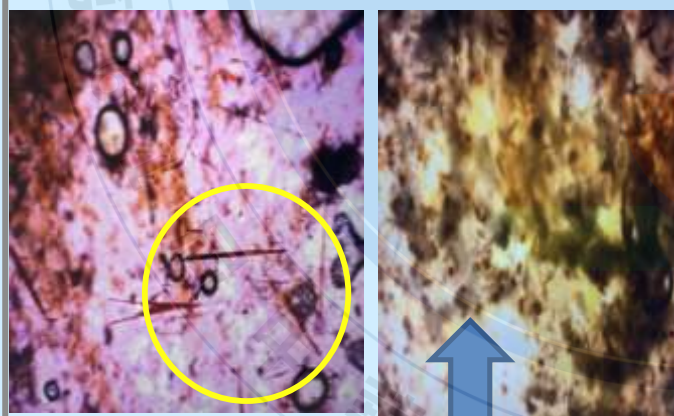


圖20.顯微照相下發現布袋蓮吸附水中塑膠微粒後運輸，且阻塞在葉片輸導組織中(尼羅紅染色)

圖21.塑膠微粒導致水芙蓉全株鮮重驟減量(g)



水芙蓉若在水中加入塑膠微粒後，平均全株鮮重量驟減，以**第七類塑膠**最為明顯。

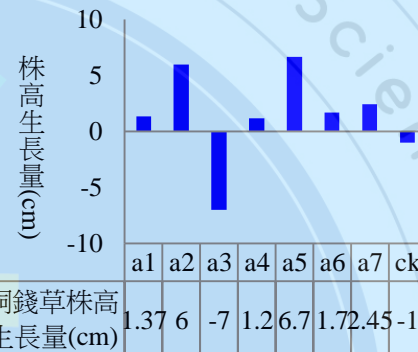


控制組葉片維管束組織，未發現塑膠微粒

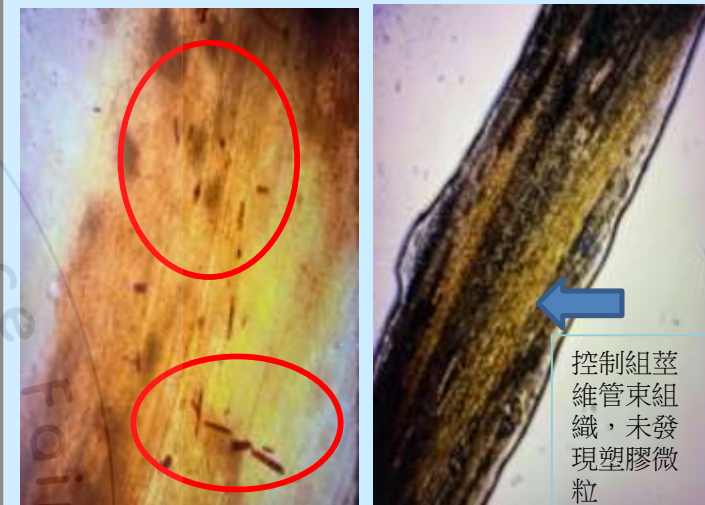
圖23.顯微照相下發現水芙蓉吸附水中塑膠微粒後運輸且阻塞在葉片輸導組織中(尼羅紅染色)

結果分析與討論(以下均為三重複)

圖24.塑膠微粒影響銅錢草株高生長量(cm)



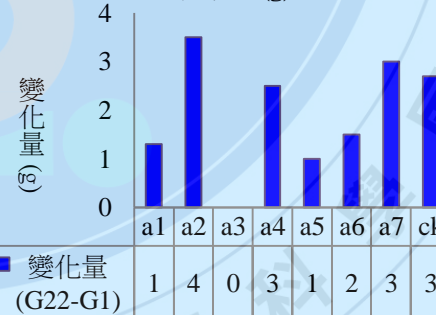
銅錢草若在水中加入塑膠微粒後，全株株高變化量，且以**第三類塑膠**最為明顯。



控制組莖維管束組織，未發現塑膠微粒

圖26.顯微照相下發現銅錢草吸附水中塑膠微粒後運輸且阻塞在莖部輸導組織中(尼羅紅染色)

圖27.塑膠微粒導致輪傘草全株鮮重變化量(g)



輪傘草若在水中加入塑膠微粒後，平均全株鮮重量變化量，以**第七類塑膠**最為明顯。



根部維管束組織，吸附塑膠微粒狀態圖

控制組根部維管束組織，透明無雜質

圖29.顯微照相下發現水芙蓉吸附水中塑膠微粒後運輸且阻塞在葉片輸導組織中(尼羅紅染色)

研究四：探討萬年溪中塑膠微粒對水蚤心跳、存活率、活動力、繁衍力之影響(重要發現)

結果分析與討論

由實驗一可知在各種取樣溪水的水蚤繁衍力，皆比控制組好，且有**顯著性差異**。依照研究一量測之溪水塑膠微粒含量，由少至多依序為**玉皇宮 > 勝利橋 > 廣東橋**，這和繁衍出來的水蚤數目，由多至少為**玉皇宮 > 勝利橋 > 廣東橋**，呈現**正相關**，此與理論上符合。

由實驗二可知在各種不同塑膠微粒及濃度下，水蚤繁衍力影響，**PS(聚苯乙烯)兩種濃度繁殖總數90~100隻**、**PC(聚碳酸酯) 0.1 mg/L繁殖總數119隻**皆比控制組繁殖總數210隻為低，且有**顯著性差異**。此與(楊雅雱, 2020)研究PS塑膠奈粒對延緩第一代水蚤子代產出時間和總子代數量減少之研究雷同。並推論因PC通常可能溶出雙酚A，而雙酚A會造成**生殖功能下降**此與結果表上相符合。

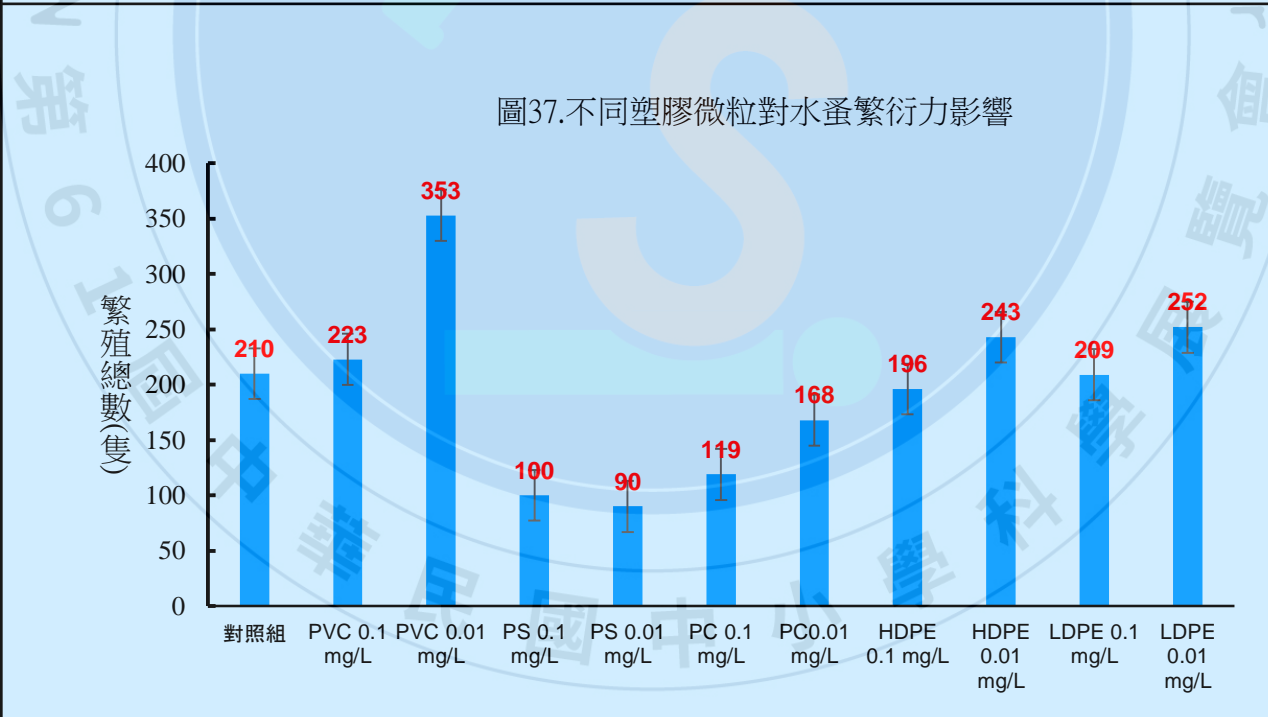
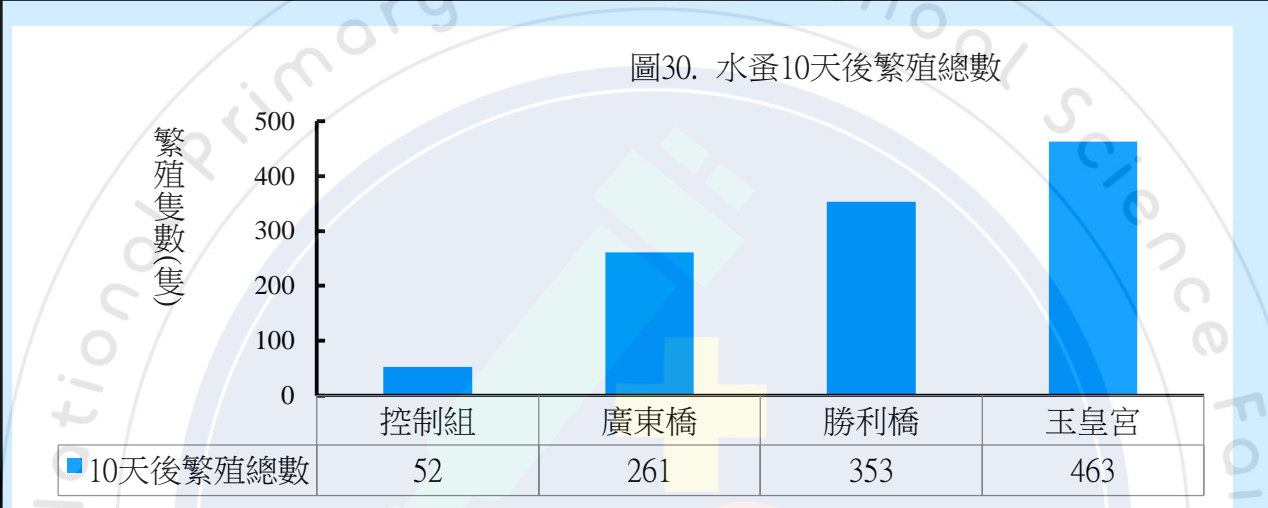


圖31.水蚤未濾食食物腸道狀態



圖32.水蚤濾食小球藻後腸道有球藻位置(箭頭處)



圖34.水蚤有濾食塑膠微粒狀態圖(尼羅紅染色後)



圖36.利用斑馬魚行為觀察系統觀察塑膠微粒對養殖第10天後水蚤活動力

結論：

研究一：萬年溪之塑膠微粒量及種類

表13.萬年溪各採樣點流速；濁度、表層塑膠微粒數量及纖維顏色比較

採樣點	流速 (m/s)	濁度 (NTU)	塑膠纖維數 (根)	光譜推估塑膠微粒種類
海豐濕地	5	9.71	146	光譜的PEAK太小
崇蘭舊圳	5	11.16	83	第三類(PVC)、第六類(PS)、第七類塑膠(PC等)
瑞光路口	6.5	10.47	62	第三類(PVC)、第六類(PS)、第七類塑膠(PC等)
廣東橋	2.5	10.18	173	第三類(PVC)、第六類(PS)、第七類塑膠(PC等)
勝利橋	1.5	8.92	87	第三類(PVC)、第六類(PS)、第七類塑膠(PC等)
長春橋	0.5	7.40	167	第七類塑膠(PC等)
玉皇宮	0.5	7.60	30	第三類(PVC)、第六類(PS)、第七類塑膠(PC等)
建國橋	0.5	6.64	42	第六類(PS)、第七類塑膠(PC等)
希望之橋	0.5	3.71	67	第二類(HDPE)、第四類(LDPE)、第六類(PS)、第七類塑膠(PC等)

研究二：探討萬年溪取水點周遭的人口數與塑膠微粒的相關性分析

採樣點	土地利用	地圖上編號	累積人口數(約)	新增人口數	人口密度(排名) (人數/平方公里)	塑膠微粒(排名)
海豐濕地	河川區	8	981		6.202346	146
崇蘭舊圳	堤防區	7	3590	2609	8.090547	83
瑞光路口	住宅區	6	21242	17652	42.39077 (1)	62
廣東橋	住宅區	5	30048	8806	21.02698	173 (1)
勝利橋	住宅區+千禧公園	4	42466	12418	23.70617	87
長春橋	商業區	3	58277	15811	25.60487 (3)	167 (2)
玉皇宮	住宅區+萬年公園	2	60944	2667	4.499463	30
希望之橋	住宅區+復興公園	1	99570	38626(最高)	36.47341 (2)	67

1. 編號8：海豐濕地水域塑膠微粒數值偏高，我們推論海豐溼地(雖周圍人口稀少)的水是由九如鄉農、畜牧業廢水(內含塑膠肥料袋、農藥瓶罐、塑膠布等在戶外風吹日曬雨淋，塑膠會破碎劣化)隨著灌溉水滲入附近溝渠，在逕流入河川中，而九如鄉沒有汙水處理系統，所以塑膠微粒偏高。(綠色農村的循環理念，2019)
2. 編號6：瑞光路口水域人口密度居第1高，排放之民生廢水量可觀，加上汙水下水道系統接管率不高，直接排放溪流中導致此處塑膠微粒濃度最高，導致編號5廣東橋水域塑膠微粒量高居第1，所幸，編號4：勝利橋水域塑膠微粒數值有驟減，推論與『千禧公園』之生態工法引流至生態池淨化水質之效能有關，且汙水下水道系統工程在勝利橋附近接管率較高，有效降低河川塑膠微量含量。
3. 編號3：雖長春橋水域人口密度排名第3，且位居夜市等商業區，致塑膠微粒量高居第2，但至編號2：玉皇宮前水域，經五個固床工，增加曝氣量，供給水生動植物和微生物良好生長條件，降解塑膠微粒含量；2個箱涵內設置截流井，將生活汙水進行截流，續接入汙水下水道系統引流至六塊厝水資源回收中心進行處理，並經萬年公園疊瀑水道、礫間水道等各項淨水設施，避免溪水質惡化。
4. 編號1：希望之橋水域雖人口密度排名第2，但因復興公園前端水域建置橡皮壩攔水堰、溢流至公園後，經由水生植物淨化水道及礫間水道等水利設施有效淨化水質，塑膠無微粒量偏低。

結論：

研究三：探討水生植物能否吸附水中七大類塑膠之相關性分析

- 1.布袋蓮若在水中加入塑膠微粒後，全株**鮮重量**驟減，發現葉片輸導組織上有塑膠微粒，證明布袋蓮會可降解水中塑膠微粒效果，特別是**第四類 (LDPE) 塑膠**。
- 2.水芙蓉在水中加入塑膠微粒後，全株**鮮重**以**第七類(PC等) 塑膠**驟減量最為明顯。
- 3.銅錢草在水中加入塑膠微粒後全株**株高**變化量，以**第三類(PVC) 塑膠**驟減最為明顯。
- 4.輪傘草在水中加入塑膠微粒後全株**鮮重**變化量，以**第三類(PVC) 塑膠**增加最為明顯。

表2. 七大類塑膠樣品及常見用圖表

塑膠名稱	學名	常見用途
第三類塑膠	聚氯乙烯(PVC)	保鮮膜、塑膠盒、水管
第四類塑膠	低密度聚乙烯(LDPE)	一般塑膠袋、環保保鮮膜
第七類塑膠	其他類(美耐皿、PC 聚碳酸酯等)	美耐皿、運動水壺、餐具

研究四：探討萬年溪中塑膠微粒對水蚤心跳數、存活率、活動力、繁衍力之影響

(一)實驗一：各種不同環境水質對水蚤各項特性之影響

1. 溪水中塑膠微粒濃度愈高(廣東橋溪水)，導致水蚤心跳數下降率愈明顯。
2. **存活率%**比較：玉皇宮水樣存活率最高達100%，推測與此水質中有較多營養物質(如藻類)，可供水蚤攝食，維持其生存。
3. 在**活動力(cm/min)**比較：白天有光時或夜晚無光時，以玉皇宮水樣活動力最高，推論與水中有豐富食物有關，反觀控制組，無攝入食物情況下，活動力越來越差，且為各處理中最差。
→**另一重大發現**~無論任何一種處理，夜間(無光)活動力均優於白天(有光)條件下。
4. 溪水塑膠微粒含量和繁衍出來的水蚤數目，由多至少為玉皇宮 > 勝利橋 > 廣東橋，呈現正相關，此與理論上符合。

(二)實驗二：暴露在不同塑膠微粒環境中對大型蚤各項生理影響實驗

1. **每分鐘心跳數**比較上：從各樣本中可發現，除了**PC塑膠**微粒環境，心跳數仍維持正常外，餘其他**塑膠環境**下的水蚤，心跳數**普遍較控制組**少，推論塑膠微粒環境的確會導致水蚤心跳數減少。
2. 在**存活率%**比較：實驗組以塑膠微粒PC (聚碳酸酯) 0.01 mg/L 濃度存活率80%最低，塑化劑本身就on易影響生物體出現焦躁不安、過動等現象。
3. 在**活動力**比較：表示夜晚塑膠微粒環境會迫使水蚤活動力有明顯下降趨勢。
4. 在各種不同塑膠微粒及濃度下之水蚤繁衍力影響，PS(聚苯乙烯)繁殖總數90~100隻、PC(聚碳酸酯)繁殖總數119隻皆比控制組繁殖總數210隻為低，且有顯著性差異。此與前人研究PS塑膠奈粒對延緩第一代水蚤子代產出時間和總子代數量減少之研究雷同。

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，我們很感謝屏東大學(細胞及分子生物實驗室)商借我們光譜儀，及提供我們水蚤和斑馬魚行為觀察系統及**測量水蚤心跳軟體**。因為在國中端要取得這些儀器確實很困難，還好屏東大學不吝幫忙，對於核心學校的我們~國中生提供科展最大的支持。

二、研究概念及方法限制

我們做科展的歷程中，多多少少都會遭遇到很多知識不足之處，雖然會請教相關專家學者(水利局、環保局)，但是對於地球科學、生物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，建議未來可進行更廣泛的探究。

三、未來展望

研究過程中，因為我們**取水時是枯水期**，是否會因枯水期而使塑膠微粒量變多?未來我們考慮將取水時間拉長，做看看**枯水期及豐水期的比較**，再探討二者之間的差異，是我們近程目標。

中程目標：本研究**重大發現~水生植物及政府建置各種水利生態工法**的確對於**減解塑膠微粒**均有大大的幫助，若我們在溪流中種植適合的水生植物(如水芙蓉等)，確實可以有效減少塑膠微粒，並進而降低海洋塑膠微粒之汙染，在生物放大作用下對生態系食物鏈之各角色，可達**逐級降低吸附量之效果**。

參考文獻資料

1. Lingshi, Y. Xiaofeng, W. Chunyan, D. Jin, J. Lixue, W. Y, Z. Zhihui, Hu. Shuping, Hu, Zhiqiao, Feng. Zhenyu, Z. Yuannan, L. Qi, G. (2020). Comparison of the abundance of microplastics between rural and urban areas: A case study from East Dongting Lake. *Chemosphere*, 244, 125486.
2. 楊雅雱(2020) · 塑膠奈粒對水蚤能量分配之影響與其生殖毒性 · 國立交通大學論文。
3. 綠色農村的循環理念/農村綠學苑培訓營-台中|高雄|台東場(2019-10-24) · 主婦聯盟環境保護基金會 · 取自<https://www.huf.org.tw/>