

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生物科

第三名

030315

白裡透紅的秘密－搖蚊類畸形與體內塑膠微粒
之探討

學校名稱：龍騰學校財團法人新北市林口康橋國際高
級中等學校

作者： 國一 陳宥澧	指導老師： 張又元 宋家安
-------------------	-----------------------------

關鍵詞：紅蟲、塑膠微粒、類畸形

摘要

繼去年搖蚊生態研究之後，發現紅蟲有頰畸形以及巢穴組成有塑膠微粒。為了探討塑膠微粒與頰畸型的關係，本研究調查南北五處不同溪流的生態環境，檢測各處紅蟲頰畸形比例與巢穴和紅蟲體內塑膠微粒的數量，發現紅蟲體內和巢穴中的塑膠微粒有相關性，頰畸形率與塑膠微粒數量也有相關性；接著針對同一水域不同棲地採樣三處，調查其水質和底泥狀況，紅蟲體內塑膠微粒數量和頰畸形依舊有相關性。最後，採集陽明山成蟲回家產卵，人工養殖於溫泉、純水和排水溝三種水質中，發現即使不同水質，餵食塑膠微粒後，紅蟲頰畸形比例都有不等程度的增加。紅蟲常被廣泛作為水質汙染指標，利用本研究的觀測方法，也可以作為環境塑膠微粒監測的參考。

壹、研究動機

本研究從 107 年開始至今，持續對陽明山國家公園的前山公園和北投公園的溫泉溪流內的紅蟲進行生態與環境觀察，並發現紅蟲營巢時會利用塑膠微粒當作材料。黑潮海洋文化基金會在 108 年 1 月公布了牠們調查全台的河川出海口，發現水質全部含有塑膠微粒，而且這一兩年來許多報導中也指出人類活動少的地區其降下的雨水亦有塑膠微粒的存在，因此水環境裡應該都已經有塑膠微粒的存在。自然環境受到塑膠微粒的影響越來越受重視。我去年科展研究發現紅蟲會利用塑膠纖維來築巢，也發現紅蟲的頰常常出現變異，令我感到好奇，想要進一步瞭解紅蟲築巢行為受塑膠微粒的影響以及頰的變異情況。

貳、研究目的

- 一、觀察紅蟲在不同棲地環境種類的差異
- 二、探討不同棲地紅蟲頰的畸形種類與比例
- 三、探討不同棲地紅蟲巢穴與體內塑膠微粒的數量與關係
- 四、探討同一水域不同棲區紅蟲頰畸形與體內塑膠微粒數量的差異
- 五、探討不同人工飼養環境下同一種類紅蟲頰畸形的差異

參、研究材料、設備器材及樣本

一、材料

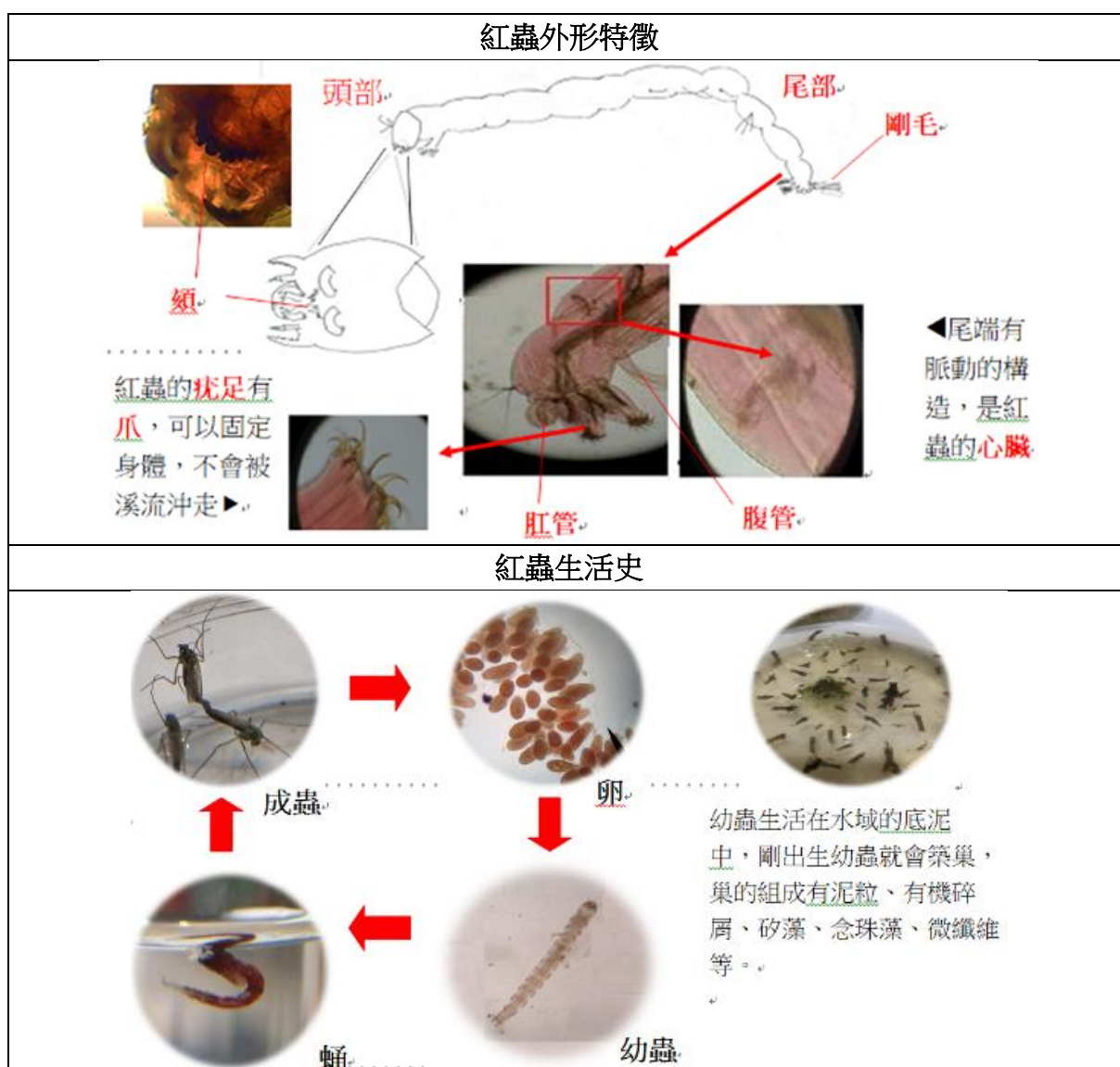
飼養用乾燥藻粉、尼羅紅染劑、玻璃滴管、醫療用針筒、培養皿、雞蛋盒、冰塊、濾紙、直徑九公分的玻璃皿、冰醋酸、酒精、玻片、二甲苯、NaOH 食鹽水、玻璃培養皿、雙氧水、寶特瓶(600CC 容量)、冰桶、泰山純水等。

二、器材及設備

解剖顯微鏡、數位相機、RJ C-Mount 鏡頭轉接環、筆記型電腦、自製飼養觀察組、恆溫乾浴器、水質檢測試劑包、濾光片、自組負壓過濾器和藍光螢光照射器，如下說明：

	◀自組負壓過濾器 設備說明：利用真空機、布氏燒杯和燒瓶組裝「負壓過濾器」將溶解紅蟲後的液體滴在過濾漏斗內的過濾紙上，利用抽氣機在吸濾瓶中形成負壓力，進行抽濾以加速過濾效果。	
		設備說明： 利用「藍光螢光照射器」，以藍光做激發光源，能夠將尼羅紅染色後的紅蟲體內塑膠微粒清楚顯示。
▲利用發光二極體組裝藍光光源	▲透過藍光發射光源觀察顯微鏡下的樣本	

三、研究樣本



肆、研究過程與方法

本研究在過去曾鑑定出野外粗鉅搖蚊族群的頗有畸形發生的現象，當時並未深入探討；另外，也發現紅蟲會利用環境中的塑膠微粒營巢。根據國內外的研究報導，在人類與各種生物生活的水環境、大氣中或民生製品均有塑膠微粒的存在。因此本研究想要瞭解頗畸形和塑膠微粒的關係。

一、觀察紅蟲在不同棲地環境種類的差異

搖蚊幼蟲俗稱紅蟲，是一種重要的生物資源，分布廣泛且數量較大，其生物量常占水域底棲動物總量的 50% ~90%。蟲體營養豐富含高蛋白質，是多種經濟水生動物如鯉、鯽、鯪、鱖、青魚、黃鱔、泥鰱、河蟹、蟹、龜等的優良天然餌料。六零年代台灣是出口鰻苗大國，便是餵食台北士林三角渡基隆河和淡水河一帶的野生採集紅蟲，是當時最佳蛋白質和鐵質的來源。而且不會引起飼養池的水質污染；殘存於飼養池中的紅蟲也不會對養殖對象產生危害，甚至因為牠大量攝取水體中的有機碎屑，還具有淨化水質的作用。

紅蟲由於主要是以水底有機物碎屑為食，且攝食量相當可觀，因而在加速水體物質循環中的有機物礦化作用和消除有機物污染方面具有顯著作用。又因種類豐富、生長期短、繁殖力強、個體眾多，加上不同種類對水域生境要求不同，從而成為監測水體環境和污染狀況的優良指示生物，在生態學和環境科學領域中得到廣泛的應用。

採集點的選擇有兩個原則: 1.環境安全和容易採集，2.族群量大和穩定。雖然許多水溝或小溪都有紅蟲，但是下雨後整個族群就被沖走了，恢復時，不知是否為同一種類。從文獻資料知道台北士林的三角渡曾經是盛產紅蟲的大本營，於是去當地詢問里長耆老，才知因為環境汙染以及下水道工程，過往的紅蟲採集場全都消失了，三角渡已經沒有人採集。於是我們探詢賣魚餌飼料的廠商，經過多方打聽得知，高屏溪中下游支流或引水溝渠仍有少數地點盛產紅蟲。這些溪流或引水溝渠流經人口稠密的鄉鎮、魚鰲豬養殖場、農場或農地，沿途排入溪溝內的廢水含有肥料或排泄物等豐富的有機質，提供紅蟲成長的重要食物來源，加上地勢平緩且水勢緩和，適合紅蟲族巢成長。從國外文獻我也知道頗畸形和底泥中的有機物質有很重要的關係。所以我決定選擇屏東彭厝溪和番仔寮溪排水做為另一個採集實驗地點。

(一)採集地點勘查

表 1 紅蟲採集地點勘查表

		
前山公園溫泉溪	北投公園北投溪	北投公園蓮花池
陽明山前山公園，位於仰德大道旁，公園內設有觀光花園、游泳池及公共溫泉浴室。由溫泉浴室流出來的水匯集處，有許多紅蟲聚集。	北投公園是臺灣第一座露天溫泉公園，在 107 年前經過大幅整治，溪旁築起圍堤，溪流型態改變後，無法靠近溪邊採集，只剩下親水區一處可以採集紅蟲。	北投公園其內的蓮花池，底泥肥沃，蓮花長得非常好。因其底泥較多，或上面溫泉留下來的有機質較多，所以池中也有不少紅蟲。
		
A 番仔寮溪排水中上游	B 番仔寮溪排水中下游	C 番仔寮溪排水下游
番仔寮溪排水位於台灣憑東北部，起自長治鄉屏 25 線高朗橋，沿著九如鄉和屏東市的交界走，流入武洛溪，最後進入高屏溪水系。沿途流經人口稠密的鄉鎮，四周也有農場、農地以及魚鰲養殖場。採集地中游段，溝內水體色澤偏暗，底泥為深黑色，聞起來味道有濃濃的異味，表示富含有機物質。採集地的下游，一邊是農地、一邊是屏東機場。排水溝沿途都有大型排水管或是農地渠道匯入。		
		

(二) 採集方法

搖蚊的採集方法，依照棲地環境分為二部份，即小溪流及大河川。一般小溪流以大湯匙直接採集搖蚊，並收集附近的石頭、葉子等上有搖蚊的物品(圖 1)；大河川則需要篩泥過濾網和大盆子，人下到排水溝中，挖取底泥來過濾出紅蟲(圖 1)。



圖 1 採集現場示例圖

(三) 紅蟲品種鑑定

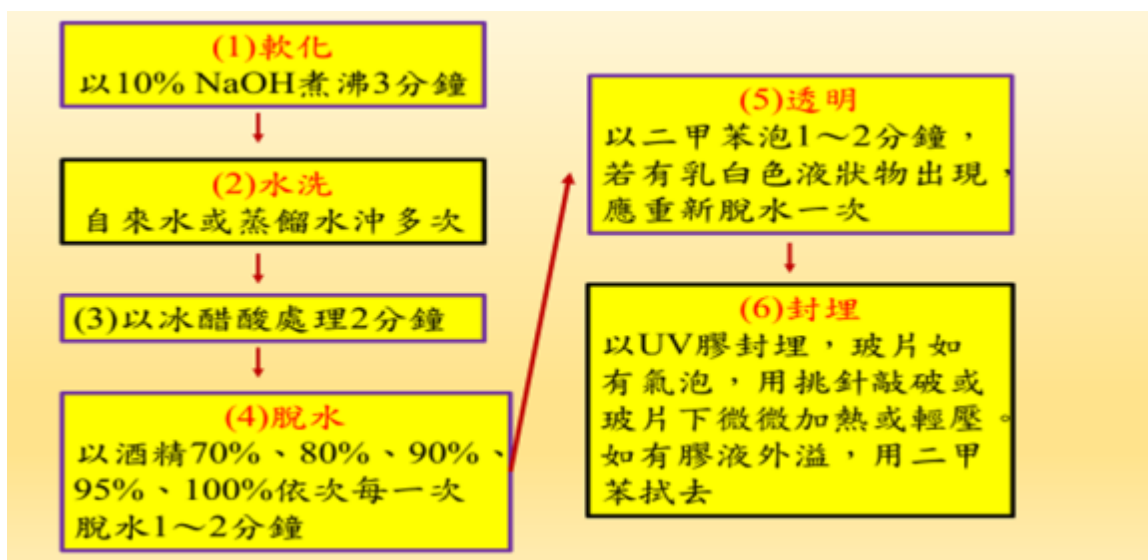
每個地區隨機挑選出三隻紅蟲，置入 95%酒精固定，送到農業委員會特有生物研究保育中心及基龍米克斯生物科技股份有限公司檢驗單位協助做 DNA 鑑定。

二、探討不同棲地紅蟲類的畸形種類與比例

(一) 樣本採集：每次實驗取前山溫泉溪、北投溪、北投公園蓮花池、彭厝溪及番仔寮溪排水的紅蟲各 10 隻，作成實驗觀察玻片，放置於顯微鏡下觀察拍照，紀錄頰畸形發生的比例。

(二) 製作觀察玻片：方法如下(表 2)：

表 2 觀察玻片製程



(三) 頰畸形種類與紀錄：紀錄紅蟲頰畸

形方式是將標本放在解剖顯微鏡下觀察並記錄每一隻紅蟲的頰在左小側齒、左大側齒、中間齒、右大側齒和右小側齒的畸形狀況(圖 2)。

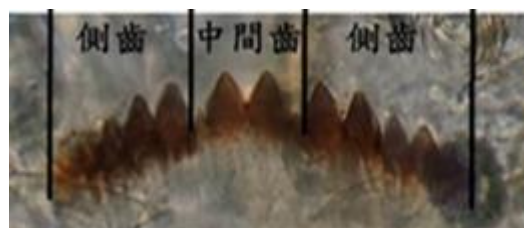


圖 2 頰的型態與相對位置名稱

三、探討不同棲地紅蟲巢穴與體內塑膠微粒的數量與關係

觀察野外搖蚊營巢發現有塑膠纖維的存在，在實驗室觀察時也曾發現搖蚊幼蟲會取塑膠微粒做為巢穴的材料。因此聯想到搖蚊是否會攝取塑膠微粒？如果無法消化吸收，是否會吐出體外？體內是否也有塑膠微粒的存在？因此設計實驗來觀察紅蟲體內的塑膠微粒數量。另外，意外捕捉到三隻成蟲，用相同染色方法檢測其體內是否有塑膠微粒。

首先採集野外棲地的底泥、水質，利用光學顯微鏡觀察，發現有些樣本有藍色或紅色微

纖維，也有樣本出現透明纖維。利用丙酮溶解法測試，有部分微纖維會溶解。但在高倍率顯微鏡下操作，因丙酮揮發快，會造成液體流動難以紀錄影像，因此查詢文獻後，根據原理設計尼羅紅染色法來記錄塑膠微粒出現頻率。

尼羅紅染色法檢驗塑膠微粒的步驟是每次取 10 個樣本打碎後利用 30%雙氧水分解，60℃ 48 小時，每 2 小時搖晃一次(夜間則停止搖晃)。加入 4 倍飽和食鹽水常溫靜置 12 小時。以 95%酒精配置尼羅紅染劑濃度(1 μg/ml)，染色比例(1ml:1 μl)，常溫用手搖晃 30 分鐘。1.2 μm 濾紙負壓過濾過濾完的濾紙反面置入玻璃培養皿。45℃烘乾 20 分鐘(圖 3)。每一組實驗均做一個空白對照組，避免實驗用具、藥品因空氣中的塑膠微粒產生干擾或誤判。

觀察塑膠微粒的方式是利用 426nm 的藍光照射尼羅紅染色後的濾紙樣本，激發樣本中的塑膠微粒產生螢光顯色，使用顯微鏡搭配澄黃色濾光片觀察，塑膠微粒會呈現橘黃或紅色螢光，然後計算數量(圖 3)。

我意外採集到三隻成蟲，也將其用同樣方式，檢測其體內是否有塑膠微粒。

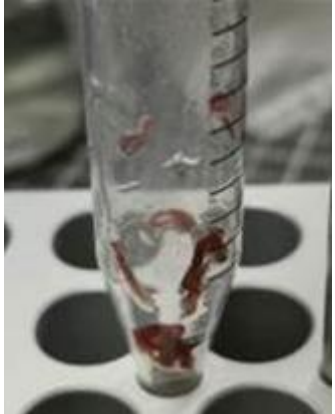
		
1.選取 10 隻樣本	2.加入 H ₂ O ₂	3.在 60℃加熱 48 小時
		
4.等待 48 小時	5.使用負壓過濾取得待觀測樣本	6.透過藍光發射光源觀察顯微鏡下的樣本

圖 3 尼羅紅染色法檢驗塑膠微粒的步驟

四、探討同一水域不同樣區紅蟲類畸形與體內塑膠微粒數量的差異

不同溪流，生態環境差異相當巨大，變因很難控制來做比較，而單一水域雖然也會受水體內漂浮物逐漸沉積以及水文型態改變而略有差異，但是這樣的差異比較容易控制環境變因並進一步分析紅蟲在同一水域不同區塊棲地類畸形的差異。番仔寮溪排水上游部分起源於人口稠密的小鄉鎮，中游區段四周為農田與農場，下游為農田和空軍基地機場。我的三個採集點在中游段取兩處，一處靠近上游、一處靠近下游，相距約 0.3 公里，下游距離中游大約 2.5 公里，本研究將此水流區段作為變因，觀察流經特地區段之前後，底棲生態改變的狀況，以此做為觀察該區段人為活動對於生態環境干擾的進一步探討。

(一)同一水域不同樣區棲地的水質和底泥比較

- 1.選取三段番仔寮溪排水做為採樣區：兩段在中游，依照農地和農場位置前和後(標示為中上游和中下游)以及下游段共三地。我們將此三處的水質和底泥送農委會農改場土壤保育研究室檢測底泥以及水質成分。
- 2.最後比較三段樣區的水質和底泥並進行分析。

(二)同一水域不同樣區棲地中紅蟲類畸形的差異

- 1.在採集溪水和底泥的相同地點，每樣區隨機採集二十隻四齡的紅蟲做成觀察標本。
- 2.最後計算紅蟲類畸形比例。

(三)同一水域不同樣區棲地中紅蟲體內塑膠微粒的差異

- 1.選取番仔寮溪排水中下游水域三個樣區，每樣區隨機採集十隻四齡的紅蟲樣本，用尼羅紅染色
2. 紀錄紅蟲體內塑膠微粒數量。

五、探討不同人工飼養環境下同一種類紅蟲類畸形的差異

從同一水域中不同區段的調查結果中，本研究發現水體和底泥本身的檢驗值都沒有重金屬污染的現象，只有電導度出現明顯差異，可是類畸型的比例在不同區段差異很大，推測影響電導度的因素中有重要的干擾因子。從紅蟲鑑定結果來看，這三區段的紅蟲有兩個種類，物種也成為可能的影響因子之一。為了確定塑膠微粒是否還是影響紅蟲類的

畸形因素，因此本研究設計使用單一蟲種作為實驗，去除底泥來降低裡面成分的干擾，在控制不同水質以及食團中有無添加塑膠微粒兩大變因下，探討塑膠微粒對紅蟲類畸形的影響。

實驗前要先瞭解前山公園搖蚊的卵是否可以順利在其他水質中孵化與成長，如果能夠順利孵化成長，便可得知單一蟲種在不同水質下類的畸形率，這個數據可以做為每種水質人工養殖餵食塑膠微粒實驗組的標準對照。

(一)不同水質紅蟲類畸形的差異

1. 水源採集: 前往前山公園溫泉水(以下稱溫泉水)和番仔寮溪排水中下段(以下稱溪排水)用小寶特瓶(600cc 容量) 取得溪水各四瓶，立即置於內含冰塊的冰桶中，回家後立即冷藏。冷藏可以降低水中細菌增生和物質腐化的速度。另外在超市購買泰山純水(以下稱純水)，作為比較的對照組。
2. 水源處理: 從純水、溫泉水和溪排水的寶特瓶中抽取 200cc，放置於玻璃杯中，置於室溫等待回溫，亦等待水中漂浮物質沉澱。回溫後，用玻璃滴管取出上方澄清液 150CC，注入直徑九公分的玻璃皿中，水深約 2~2.5cm，每種水質各裝一個玻璃皿。
3. 食團準備: 因為綠藻粉比重小，會浮在水面上。為了避免剛孵化的紅蟲無法獲取食物，將一克綠藻粉加一點該組的實驗水做成綠藻粉食團(圖 4)。
4. 餵食: 每一玻璃皿放置一團卵塊。隔天後放置一個綠藻粉食團，隨著紅蟲攝食狀況每兩到三天補充一次 0.5~1 克。每天觀察水位是否下降，適時補充水分。
5. 飼養至四齡後，隨機採取二十隻，看類的畸形率。

(二)餵食含塑膠微粒的食團，觀察紅蟲類畸形的差異

1. 從上一實驗可以得知前山公園搖蚊產的卵也可順利在其他水質(純水和溪排水)孵化，並得到每種水質人工養殖的基礎類畸形率。同上一實驗裝置三組水，各兩個玻璃皿。
2. 為了避免購買的塑膠微粒含有其他化學雜質或塑化劑，我去藥房購買包裝註明無毒、無塑化劑字樣的醫療用針筒(圖 4)，先用泰山純水清洗乾淨後的刀片，然後刮針筒表面，得到寬 0.5~1mm、長 1~3mm 的塑膠微粒。
3. 塑膠微粒也會漂浮在水面上，所以將塑膠微粒和綠藻粉用一點該組的實驗水做成綠藻

塑膠微粒食團，每一克綠藻粉搭配 0.5 克塑膠微粒(圖 4)。

4. 每一玻璃皿放置一團卵塊，隔天後放置綠藻塑膠微粒食團。視攝食狀況補充。
5. 將幼蟲飼養至四齡，隨機採取二十隻，看頰的畸形率。

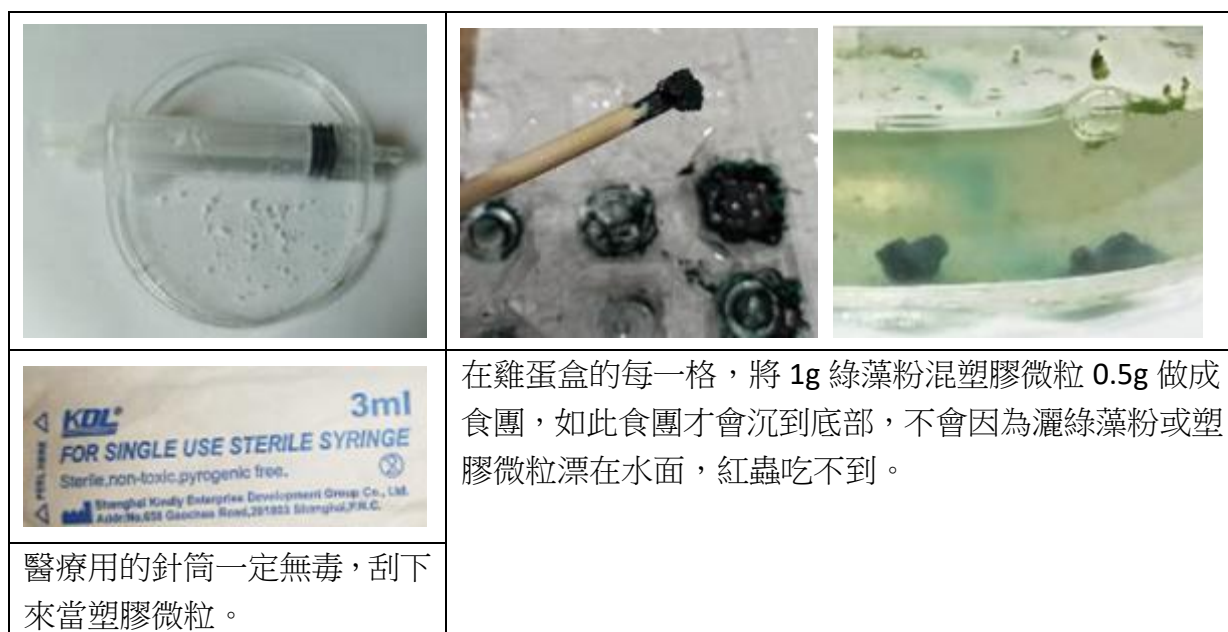


圖 4 人工飼養實驗相關材料與器材示意圖

伍、實驗結果

一、觀察紅蟲在不同棲地環境種類的差異

本研究採集了四地七處不同棲地，發現紅蟲的種類都不一樣。除了南部明顯人為干擾的溪流，陽明山前山公園以及北投溪的天然硫磺泉水也有紅蟲的蹤跡。研究調查的紅蟲種類如下：

前山公園：粗鉸搖蚊 *Chironomus crassiforceps* (Kieffer, 1916)

北投公園：素搖蚊屬 *Polypedilum* sp.

北投公園內蓮花池：黃羽搖蚊 *Chironomus flaviplumus* Tokunaga, 1940

屏東彭厝溪：薩摩亞搖蚊 *Chironomus samoensis*

番仔寮溪排水中上游 *Chironomus cloacalis*

番仔寮溪排水中下游：鹽埕搖蚊 *Chironomus circumdatus*

番仔寮溪排水下游 *Chironomus cloacalis*

表 3 紅蟲在不同棲地環境種採集結果和環境資料

溪流 檢測項目	陽明山溫泉溪流	北投溪	北投公園蓮花池	彭厝溪中上游
水溫	31℃	27℃	25℃	26℃
pH 值	2.3~5	3~4	4~4.6	7.2~7.6
濁度	40~100 JTU	0~40 JTU	0 JTU	0~40 JTU
水流狀況	水流湍急，有多處形成淤泥	水流湍急，彎角有泥砂淤積	微水流擾動的睡蓮池的溢水口	水流緩，水淺處淤泥多
底泥	白色，泥沙居多	鐵鏽灰色，砂石居多	灰綠色，泥沙居多	黑色，泥沙居多
氣味	硫磺味	硫磺味	無味	腐臭味
水生生物	紅蟲、渦蟲	紅蟲、蝌蚪	紅蟲、水蠶、蝌蚪	紅蟲、水生渦蟲
底泥中生物	矽藻、念珠藻、纖毛蟲、桿菌	原生動物、矽藻、真菌、纖毛蟲	矽藻、水生真菌、原生生物	矽藻、草履蟲、四角盤星藻

(註: pH 值是用試紙對照色卡；濁度是用沙奇盤，色卡分為 0,40,100JTU，數字越高越濁)

二、探討不同棲地紅蟲類的畸形種類與比例

不同棲地紅蟲類的畸形種類中，側齒異常(融合齒和缺齒)最多，中間齒異常最少。

紅蟲體內累積塑膠微粒最嚴重是彭厝溪，紅蟲類畸形的比例也最高。

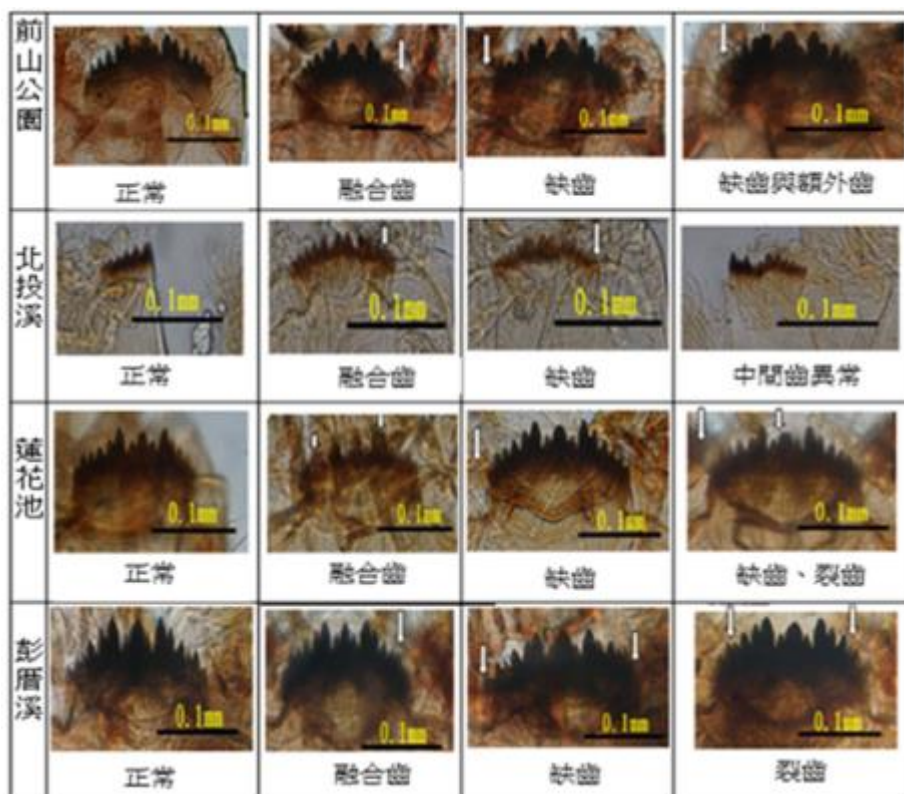


圖 5 各地紅蟲類的畸形種類

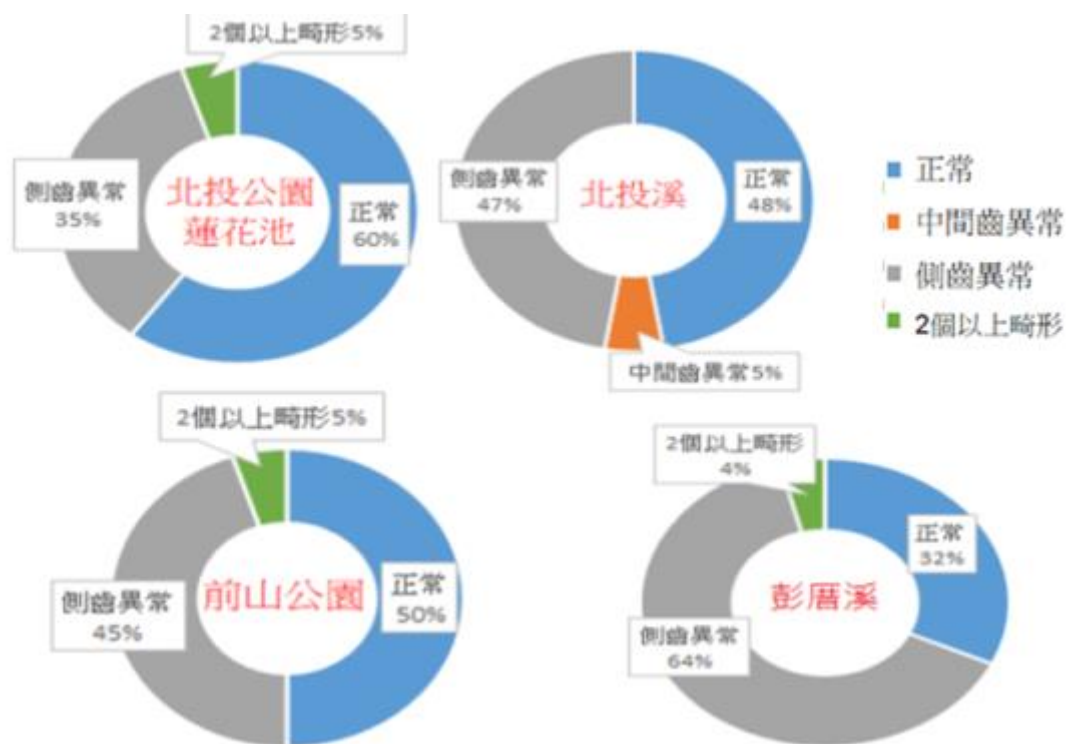


圖 6 各採樣點紅蟲類畸形發生頻率圖

三、探討不同棲地紅蟲巢穴與體內塑膠微粒的數量與關係

塑膠微粒存在紅蟲集中的數量多寡排列是彭厝溪>北投溪>陽明山前山公園溫泉溪>北投公園蓮花池。南北這兩大區域，有明顯的落差，南部巢穴和蟲體內的塑膠微粒都明顯多於北部。根據結果表示南部塑膠微粒汙染相對比較嚴重，北部即使在陽明山國家公園內，也是會被塑膠微粒汙染。

表 4 紅蟲體內塑膠微粒測定結果

單位：顆/隻

採樣點	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	平均	標準差
前山公園	0.4	0.3	0.2	0.7	0.5	0.9	0.4	1	0.3	0.5	0.52	0.27
北投溪	1	1.5	1.4	2.5	1.8	1.2	1.4	0.5	1.9	2.2	1.54	0.59
蓮花池	0.6	1.2	0.8	1	1.2	0.5	0.8	1.4	0.2	0.4	0.81	0.39
彭厝溪	5	5.3	3.1	5.7	2.9	4.6	3.1	5.5	4.7	5.3	4.52	1.08

表 5 紅蟲巢內塑膠微粒測定結果

單位：顆/個

採樣點	A	B	C	D	E	平均	標準差
前山公園	2	5	4	2	1	2.8	1.64
北投溪	3	6	2	4	5	4	1.58
蓮花池	0	2	1	0	1	0.8	0.83
彭厝溪	9	8	15	7	10	9.8	3.11

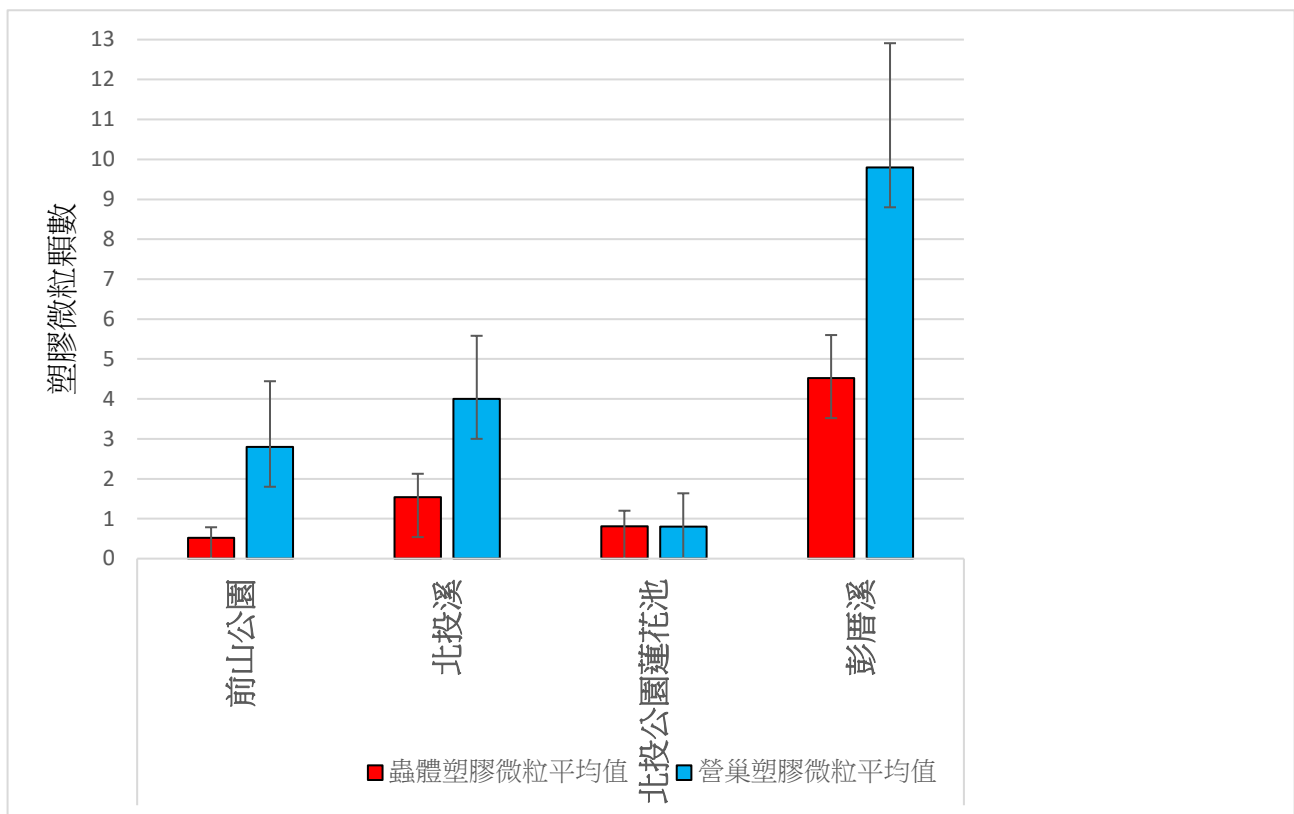


圖 7 蟲體與蟲巢塑膠微粒平均值

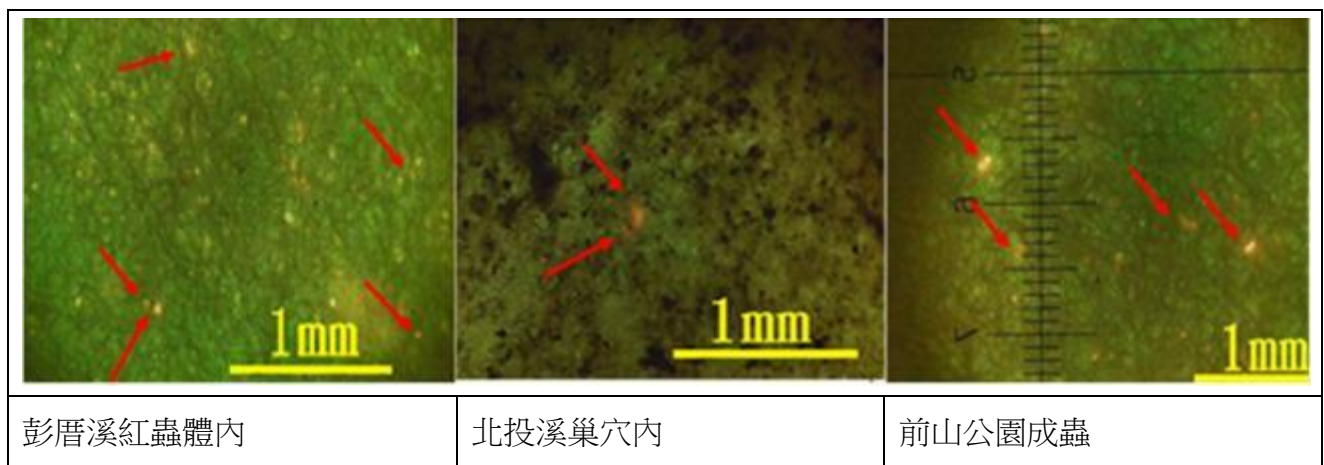


圖 8 各地紅蟲體內和巢內的螢光反應

有趣的是，搖蚊成蟲並不會進食，體內卻也有塑膠微粒。這個現象值得未來繼續探討。

四、探討同一水域不同樣區紅蟲類畸形與體內塑膠微粒數量的差異

(一) 同一水域不同區塊棲地的水質和底泥比較

根據研究結果不論水體或是土壤，重金屬都符合政府法規規定的濃度或未檢出，表示上游或是沿途農地並未有重金屬污染。除了電導度外，其他因素差異不大。

表 6 同一水域不同區塊棲地的水質和底泥檢測紀錄

水質	PH	電導度 (uS/cm)	銅 (ppm)	鋅 (ppm)	鎘 (ppm)	鎳 (ppm)	鉻 (ppm)	鉛 (ppm)	
飲用水監測標準值			0.5	2.5	0.0025	0.05	0.025	0.005	
A 區中上	8	106	0.01	0.2	ND	0.01	ND	ND	
B 區中下	8	100	0.01	0.07	ND	ND	ND	0.01	
C 區下	7.8	799	0.01	0.09	ND	ND	ND	ND	
底泥	PH	電導度 (1:5)(mS/cm)	銅 (ppm)	鋅 (ppm)	鎘 (ppm)	鎳 (ppm)	鉻 (ppm)	鉛 (ppm)	有機質 (%)
農地監測標準值			120	260	2.5	130	175	300	
A 區中上	7	0.55	0.3	31.4	0.01	2.3	ND	0.1	20.1
B 區中下	6.8	2.38	2.3	135.5	0.11	7.5	0.1	0.1	13.5
C 區下	7.2	1.54	0.3	144.8	0.04	12.1	0.1	0.1	16.1

(二)紅蟲種類差異與自然環境下頰畸形比例

1. 經檢驗單位協助鑑定三段樣區的紅蟲：中上段 A 區是 *Chironomus cloacalis*、中下段 B 區是 *Chironomus circumdatus*、下段 C 區是 *Chironomus cloacalis*，紅蟲種類雖然不同種，但是都是搖蚊屬。
2. 頰畸形率 A 區是 $2/13=0.15$ 、B 區是 $13/20=0.65$ 、C 區是 $3/12=0.25$ ，中下段 B 區水域的紅蟲頰畸形比例最高，下段 C 區水域的紅蟲頰畸形次之，中上段 A 區水域的紅蟲頰畸形最輕微。B 區水域的紅蟲頰畸形比例最高，下方區段水域的紅蟲頰畸形次之，中上區段水域的紅蟲頰畸形最輕微。

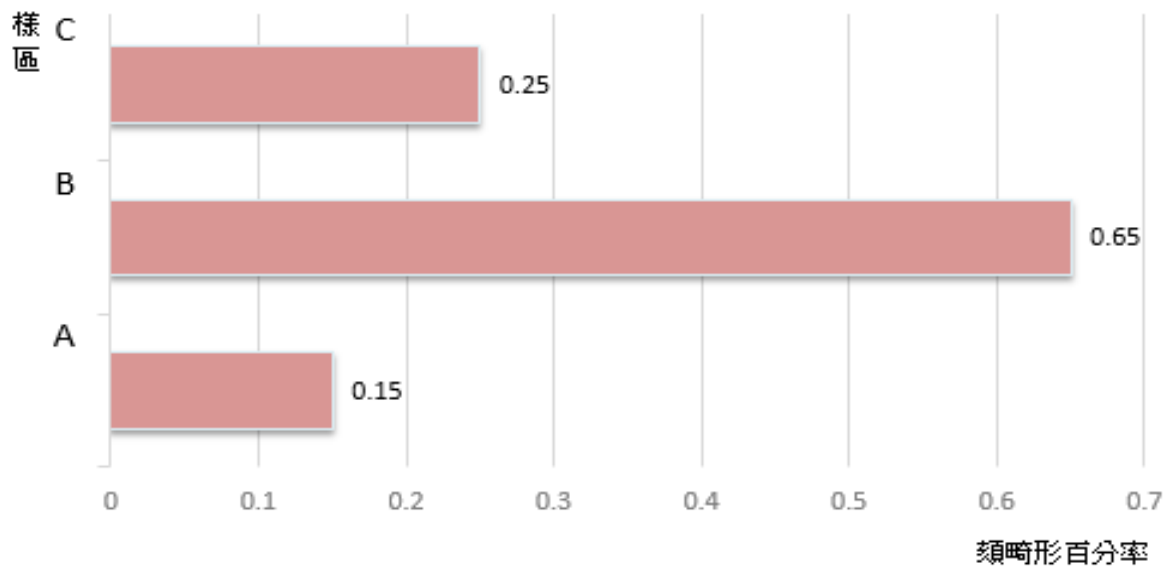


圖 9 同一水域不同區塊棲地中紅蟲類畸形百分率

(三) 同一水域不同區塊棲地紅蟲體內塑膠微粒差異

中段流域 B 區紅蟲體內的塑膠微粒明顯比下游多很多，此原因值得探討。

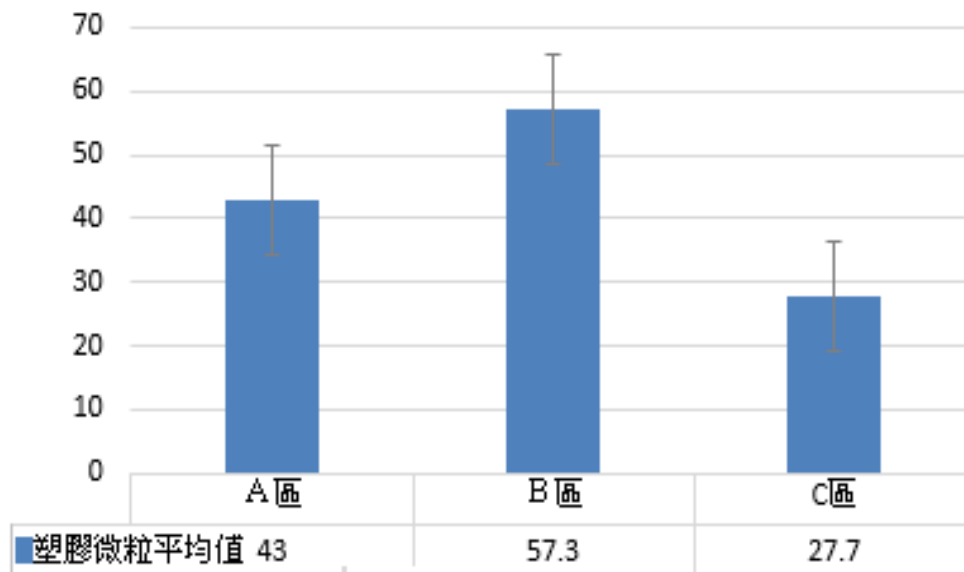


圖 10 同一水域不同樣區棲地紅蟲體內塑膠微粒差異

五、探討不同人工飼養環境下同一種類紅蟲類畸形的差異

從數據上來看，有添加塑膠微粒的組別，比沒有添加的，確實會增加畸形的比例。

	無塑膠微粒	有塑膠微粒	增加
排水溝	37.5%	40%	2.5%
純水	16.7%	35.7%	19%
溫泉水	14.3%	22.2%	8%

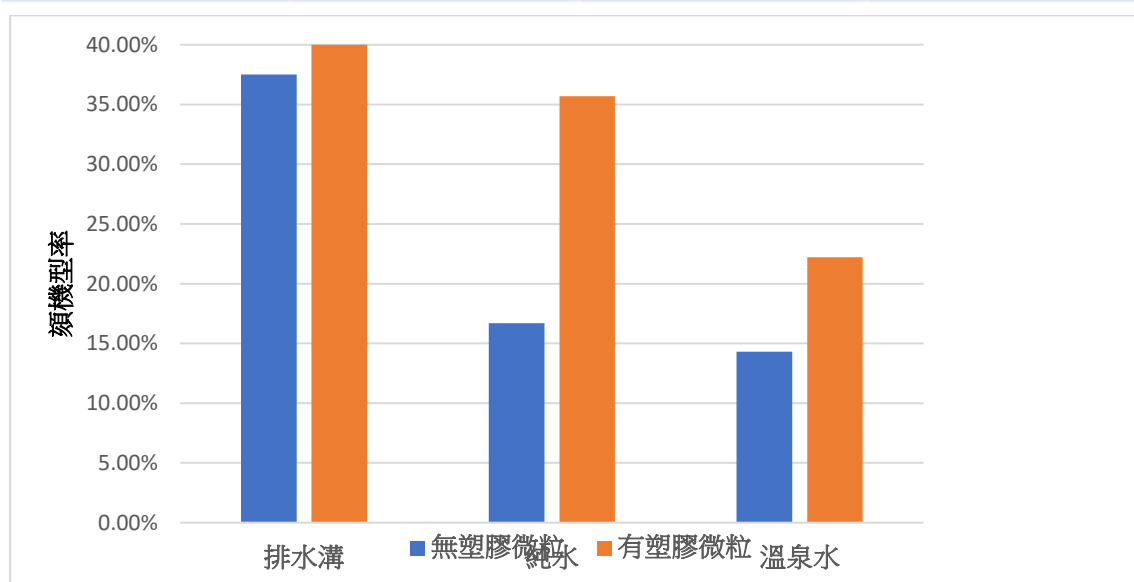


圖 11 同一種類紅蟲在不同人工飼養環境下頰畸形的百分比

陸、討論

一、觀察紅蟲在不同棲地環境種類的差異

本研究發現紅蟲種類很多，分布在各式的水域，在汙染環境下，搖蚊屬是優勢族群。高屏溪支流這隻 *Chironomus sulfurosus* 在台灣尚未被登錄過，屬於新登錄種。北投溪是素搖蚊屬(*Polypedilum* sp.) 下的一種，NSBI 資料庫內沒有種類的紀錄，推論可能是新品種。以上兩個尚未在台灣登錄的物種，需要請昆蟲分類專家進一步鑑定。

本研究五個發現紅蟲聚集的地點均是人工溪流，前山公園與北投公園有休閒親水功能、屏東番仔寮溪排水和彭厝溪為鄉鎮、花卉農業與畜牧業廢水排汙功能。但前兩者因地質與溫泉特性富含硫磺質，測量 pH 值為 2.3-4，屬於酸性水質，而後者則是因為人類活動干擾產生低氧環境，測量 pH 值為 7.4-8.0，屬於偏鹼性水質。前兩者因地質環境特

殊，前山公園的底泥中礦物土色白質輕具硫磺味，北投公園底泥礦物土有輕微天然放射性但會隨 pH 值升高減低活性，底泥礦物土中含砷與鉛。屏東溪流底泥中富含有機質和高電導度，表示有人為干擾。

已知紅蟲類的脫殼變化是由賀爾蒙變化所啟動，環境中的物理變化、化學或放射性物質等等均可能干擾到紅蟲的生長，進而導致紅蟲類畸形的發生，例如水溫水流的變化、重金屬汙染、天然放射性地質、或塑化劑和農藥等環境賀爾蒙的影響。

為了蒐集更多紅蟲樣本，我特別打聽到販售觀賞魚餌料的廠商，請牠指導我去撈彭厝溪和番仔寮溪排水內的紅蟲，接下來設計更多實驗以了解環境汙染，特別是塑膠微粒對紅蟲類的影響令我感到好奇。

二、探討不同棲地紅蟲類的畸形種類與比例

因為紅蟲的類有明顯色深的鋸齒狀特徵，我可以很容易的利用顯微鏡觀察搖蚊幼蟲的口器內的類，經比對書籍檢索表的描述，辨別出紅蟲是哪一屬。我自己初步鑑定前山公園、北投公園蓮花池和屏東彭厝溪是屬於搖蚊屬 (*Chironomus* sp.) 的物種，而北投公園北投溪採集到的則是素搖蚊屬 (*Polypedilum* sp.)。

為了進一步分辨紅蟲是哪一種或是誤判導致分析錯誤，我上網找尋檢測 DNA 的方法，找到行政院農業委員會特有生物研究保育中心及基龍米克斯生物科技公司協助我利用 DNA 條碼與 NCBI 資料庫比對來鑑定物種，確認前山公園為粗鉗搖蚊 *Chironomus crassiforceps*，而北投公園是素搖蚊屬 (*Polypedilum* sp.) 下的一種，但是臺灣已登錄的素搖蚊屬有 14 種，DNA 都不吻合，所以北投公園的搖蚊種類可能還沒有被登錄。高屏溪支流的物種為 *Chironomus sulfurosus*，此種第一次在台灣被採集與紀錄，很可能是臺灣新紀錄種。

本研究發現搖蚊屬與素搖蚊屬的區別(圖 12)如下：

1. 搖蚊屬中間齒為中間有 1 個較大齒突，兩邊各 1 較小齒凸，側齒組成為內側齒有 1 大 1 小齒凸和外側齒有 4 個逐漸縮小的小齒凸。
2. 素搖蚊屬中間齒有 2 個大齒凸和左右邊緣各有 1 小齒凸，側齒組成為左右各有 6 個齒凸往邊緣。

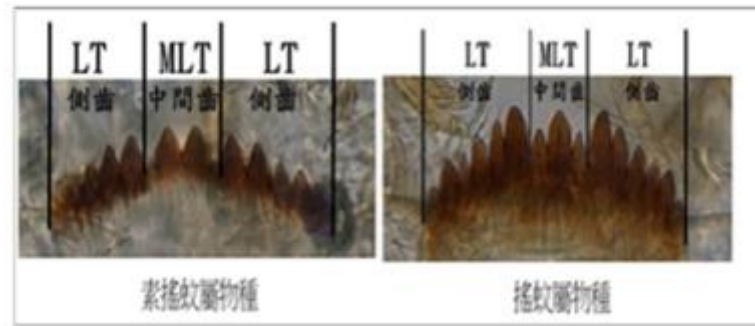


圖 12 不同屬的類型態與排列

從我的觀察發現紅蟲類的變異相當常見，主要發生在側齒區，最常見的是缺齒、融合齒、裂齒，另外還有比較少見的中間齒分叉、多餘齒、側齒形變等等。目前還查不到書籍或文獻對這樣的現象有進一步說明差異的原因。我們的樣本數太小，也無法做歸類。

三、探討不同棲地紅蟲巢穴與體內塑膠微粒的數量與關係

黑潮海洋文化基金會在 108 年 1 月公布了牠們調查全台的河川出海口，發現水質全部含有塑膠微粒，而且這一兩年來許多報導中也指出人類活動少的地區其降下的雨水亦有塑膠微粒的存在，因此水環境裡甚至大氣中應該都已有塑膠微粒的存在。

彭厝溪和番仔寮溪排水流經人口稠密的鄉鎮和農田農場等人為干擾比較明顯的地區，紅蟲體內塑膠微粒較多，以及在北投公園蓮花池和前山公園內採集到的紅蟲體內塑膠微粒確實明顯偏低於南部的紅蟲，這樣的發現符合我的常理認知。

可是，在北投公園北投溪的紅蟲族群體內塑膠微粒數量卻明顯比陽明山前山公園溪流和北投公園蓮花池高出許多。我一開始無法理解為何會有如此大的差異，於是仔細回到北投公園去觀察環境，是否有其他我遺漏掉的影響因素。最後，我在北投溪邊親水區的告示牌中(圖 13)，找到答案。



圖 13 北投溪邊親水區告示牌

台北市政府公園管理處的告示牌顯示出該溪流會有上游溫泉泡湯區的汙水匯入，可

想而知會帶入許多人造纖維或塑膠微粒進入溪中，自然紅蟲體內的塑膠微粒數量會比前山公園溫泉溪或是北投公園蓮花池內的紅蟲體內的塑膠微粒明顯增加許多。

去年科展，本研究發現紅蟲的巢穴內有人造纖維。我很好奇紅蟲如何選擇營巢的材料。但是許多微粒無法辨識是天然結晶或是塑膠微粒，後來翻查文獻資料後，我採用了尼羅紅染色法，以尼羅紅染劑染色樣本，並改良光源激發，塑膠微粒會產生螢光進行塑膠微粒檢測，因此可以順利檢測出紅蟲巢穴與體內塑膠微粒的數量。

我的研究呈現巢穴的塑膠微粒數和紅蟲體內的微粒數有正相關性，也就是說巢穴塑膠微粒越多，蟲體內也會比較多。巢穴的檢測方法也比溶解紅蟲簡單、快速許多。將來想觀測水域或底泥被塑膠微粒汙染的狀況時，研究人員不用再犧牲紅蟲的生命，只要檢測巢穴，便可以大略估計紅蟲攝取塑膠微粒量。

四、探討同一水域不同樣區紅蟲類畸形與體內塑膠微粒數量的差異

土壤有機質泛指土壤中以各種形式存在的含碳有機化合物，是衡量土壤肥力的重要指標之一。不僅是植物營養的重要來源，也是微生物生活和活動的能源。根據文獻得知在土壤方面，大於 $4\text{mS}/\text{cm}$ 時，便可判斷牠是鹽土，若低於 $2\text{mS}/\text{cm}$ 時便知道牠屬貧瘠的土壤，本研究三處樣區的有機質含量比例都非常高，都屬於相當肥沃的土壤。

檢測中的「電導度」表示可溶性鹽類存在於水體或土壤中的濃度，為水中所有離子綜合導電程度的指標。牠就像人體受感染或是發炎反應會發燒一樣，雖然無法直接告訴我們是甚麼原因，但是可以告訴我們水質或是土壤出現狀況了，是判斷水質和土壤優劣最基本、簡單和快速的篩檢工具。本研究番仔寮溪排水中上游 A 區和中下游 B 區相距約 0.3 公里，水體的檢測數據相差不大；下游 C 區距離中游大約 2.5 公里，水的電導度突然高升起來，表示有突發的可溶性鹽類物質被引入水中，可能是附近農地在施肥或是其他因素，需要長期監測才知是持續還是暫時性干擾。底泥則是中下游 B 和下游 C 較高，可能原因為中長期農作物施肥被雨水沖刷或引道排放至此排水溝，導致含離子性物質沉積下來的結果。底泥的電導度在下游 C 比中下游 B 低。

研究發現番仔寮溪(圖 14)排水下游 C 區紅蟲體內的塑膠微粒同樣出現明顯比中下游 B 區少很多，可能原因為中游直接承接上游的社區以及中游段的農業活動，比較會有塑膠微粒和有機物質的產生，流經中游段就逐漸沉積在底泥中，進而被紅蟲給吞食入體內。



圖 14 番仔寮溪排水樣區設置空照圖

進入下游段前有個大轉彎，塑膠微粒和其他漂浮物很容易在該處進一步沉積，而且下游處一邊是農地，另一邊空軍基地機場，人口活動以及農地工作都比中上游少，自然紅蟲體內塑膠微粒就明顯減少。

不論水體或是土壤，重金屬都符合政府法規規定的濃度或未檢出，表示上游或是沿路農地並未有重金屬汙染。

五、探討不同人工飼養環境下同一種類紅蟲類畸形的差異

前山公園溫泉溪內的紅蟲「粗鉗搖蚊 *Chironomus crassiforceps*」對於生長環境適應力很強，在我設計的三個不同環境中，即使在差異很大，紅蟲都可以成長至四齡。

三個不同水質的人工養殖的畸形率和文獻相比，都略為偏高。前山公園溫泉水的類畸形率最低，可能和此物種本來就長期在這種溫泉溪流中生活，體內可能已經演化出適應溫泉溪流的水質和溫度，所以在自然養殖下，畸形率最低。純水環境下養殖，本來干擾應該最少，可是對於該物種而言，可能和牠長期演化過來的身體生理機能不同，因而產生些微的生存壓力，所以畸形率也略高。番仔寮溪排水的畸形率最高，可以推測該處水質對此種紅蟲刺激最大。

人工養殖的環境下，前山公園溫泉和番仔寮溪排水的紅蟲畸形率比其自然環境採集，都明顯下降，溫泉水從 50%降至 14.3%，番仔寮溪排水從 65%降至 37.5%，由此可見，不僅是水質，底泥也是相當重要的影響因素。

我使用人工養殖的方法發現，提供綠藻粉給紅蟲，幼蟲在築巢時，會就地取材，使

用其周圍的東西為材料，不論可食用的綠藻或不可食用塑膠微粒，只要大小相近的都會取來使用。不同材料的環境，築巢所需的時間都差不多，大約兩三小時內就可以完成。可見紅蟲並不會太在乎人工製造還是天然的最好，只要大小型態合適都會採用。

觀察紅蟲生長過程，我在顯微鏡下有看到幼蟲吐出顆粒狀物質。我不知道紅蟲體內的塑膠顆粒是不是本來就會像牛一樣反芻、將不消化的塑膠微粒吐出，還是因為被顯微鏡玻片壓迫所限制。因為搖蚊破蛹羽化變為成蟲後，是不會再進食的，所以檢測成蟲體內是否有塑膠微粒，就可以知道紅蟲是否無法完全吐出塑膠微粒。結果，在成蟲的體內均有明顯塑膠微粒的存在。表示在搖蚊幼蟲食入塑膠微粒後，會逐漸累積體內的塑膠微粒數量，量太大會導致死亡，少量的話則在羽化後仍會累積在成蟲體內。

搖蚊幼蟲為水生昆蟲，是許多水生動物的食物，搖蚊成蟲羽化脫離河川底棲生態系，成為陸棲或是兩棲動物的食物，同時也將塑膠微粒的循環重新帶回陸域生態系(圖 15)。跨生態系的污染累積現象，一般以為會在比較高階的食物鏈才發生，例如人吃魚。

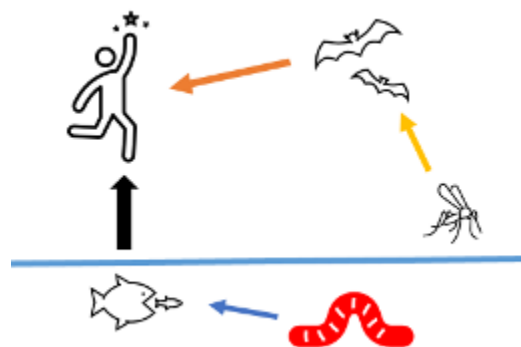


圖 15 紅蟲體內塑膠微粒的食物鏈循環圖

然而本研究也在搖蚊成蟲體內發現不少塑膠微粒，提供一個確切的證據證明跨水域陸域生態系的食物鏈可能在很前端就已經發生。藉由搖蚊的變態與食物鏈的關係，人為活動產生的塑膠微粒會在不同的水生和陸生生態系中雙重累積循環，加速回應到人類身上。

柒、結論

一、觀察紅蟲在不同棲地環境種類的差異

採集紅蟲的方法是要先找到有搖蚊群聚的地方，且需符合兩大要件: 1. 採集地點方便、安全，2. 族群夠大、穩定。因為可能要反覆採集，才不會大雨過後該族群被沖走，出現短暫消失，恢復時不知道是否為原來同一品種。

雖然很多水溝溪流都有紅蟲，經過到處探查後，找到下列七個地點。首先需檢測紅蟲類的型態，於是將採集到的紅蟲送去做 DNA 鑑定，確認七處採集點有六個不同種類的紅蟲，除了北投溪素搖蚊屬 *Polypedilum* sp. 類的型態明顯和其他六處不一樣外，其他六處型態都大同小異。列舉如下：

前山公園: 粗鉸搖蚊 *Chironomus crassiforceps*

北投溪: 素搖蚊屬 *Polypedilum* sp.

北投公園內蓮花池: 黃羽搖蚊 *Chironomus flaviplumus*

屏東彭厝溪: 薩摩亞搖蚊 *Chironomus samoensis*

番仔寮溪排水中上游 *Chironomus cloacalis*

番仔寮溪排水中下游 *Chironomus circumdatus*

番仔寮溪排水下游 *Chironomus cloacalis*

二、探討不同棲地紅蟲類的畸形種類與比例

這七處的紅蟲類畸形型態大同小異，導致這些形態上差異的原因目前未知，我們的樣本數也無法解釋。類畸形比例也隨著種類和環境不同，而有所差異。從大環境的差異來看，環境人為干擾或是水質味道越重的地方，畸形率越高。不同棲地紅蟲類的畸形比率列舉如下：

前山公園: 粗鉸搖蚊 *Chironomus crassiforceps* 50%

北投溪: 素搖蚊屬 *Polypedilum* sp. 53%

北投公園內蓮花池: 黃羽搖蚊 *Chironomus flaviplumus* 40%

屏東彭厝溪: 薩摩亞搖蚊 *Chironomus samoensis* 68%

番仔寮溪排水中上游 *Chironomus cloacalis* 15%

番仔寮溪排水中下游 *Chironomus circumdatus* 65%

番仔寮溪排水下游 *Chironomus cloacalis* 25%

三、探討不同棲地紅蟲巢穴與體內塑膠微粒的數量與關係

塑膠微粒存在紅蟲巢穴中的數量多寡排列依序是彭厝溪、北投溪、前山公園、北投公園蓮花池。南北兩大區域，有明顯的落差，南部巢穴和蟲體內的塑膠微粒都明顯多於北部。根據結果表示北部即使在陽明山國家公園內，也被塑膠微粒汙染，因此人類活動多的地方，塑膠微粒也比較多。

因為巢穴的塑膠微粒數和紅蟲體內的微粒數有相關性，未來想研究環境被塑膠微粒汙染的狀況時，只要檢測巢穴，便可以大略估計紅蟲攝取塑膠微粒量。

四、探討同一水域不同樣區紅蟲類畸形與體內塑膠微粒數量的差異

根據研究結果顯示：A 區番仔寮溪排水中上游 *Chironomus cloacalis* 類畸形率 15%、B 區番仔寮溪排水中下游 *Chironomus circumdatus* 類畸形率 65%以及 C 區番仔寮溪排水下游 *Chironomus cloacalis* 類畸形率 25%。

同一溪溝的實驗結果從生態學的角度來看，含有兩層的意義，種間的耐受度差異及不同環境因子作用下競爭能力的差異：

不同環境因子作用下競爭能力：A 與 C 區的紅蟲是同一種類 *Chironomus cloacalis*，B 區是另一種 *Chironomus circumdatus*，表示 *Chironomus cloacalis* 適應環境的能力比較廣。B 區的導電度高、銅含量較高及塑膠微粒多，對紅蟲來說這兩個因素是造成牠們生存壓力的原因。*Chironomus cloacalis* 無法耐受中下 B 區的干擾壓力而僅剩耐受力強的 *Chironomus circumdatus* 成為優勢族群。A 和 C 區底泥導電度差異很大，畸形率也有明顯差距，表示同一物種對於不同環境的敏感度也不同。

種間的耐受度差異：A 和 C 區的環境壓力比較低，種間生存競爭的結果，競爭能力較強的 *Chironomus cloacalis* 反而成為優勢物種。中下游 B 區和下游的底泥導電度比較接近，但 BC 區類畸形比例卻差距很大，表示不同物種對相同環境的敏感度不一樣。

五、探討不同人工飼養環境下同一種類紅蟲類畸形的差異

塑膠粒餵食的實驗的結果顯示，在良好的實驗控制下，塑膠微粒確實是造成頰畸形的因素之一。

溫泉水和純水水質對紅蟲的刺激小,所以添加塑膠微粒後的影響效果就比較明顯
溪溝水本身對紅蟲刺激太大,影響遠大於塑膠微粒,所以有無加塑膠微粒對頰畸形差異就不明顯。

捌、建議與未來展望

影響頰畸形率的因子相當多，甚至彼此干擾影響。目前收集到的環境因子無法單獨判定紅蟲頰畸形率的絕對原因。根據本研究兩年的經驗，已經對紅蟲的採集和養殖操作非常熟悉，因此未來可以針對問題設計實驗。

塑膠微粒在巢穴和紅蟲體內的數量有正相關性。如果要研究某水域是否有塑膠微粒污染，不須犧牲紅蟲生命，只要檢測巢穴就可以得到初步的結果。

同一水域的實驗結果從生態學的角度來看，含有兩層的意義，種間的耐受度差異及不同環境因子作用下競爭能力的差異。紅蟲不同種之間頰畸形比率有所不同，未來在探討干擾因子時，需要測試不同品種，找出對於該干擾因子最敏感的族群。

根據塑膠粒餵食的實驗結果顯示，在良好的實驗控制下，塑膠微粒確實是造成紅蟲頰畸形的因素之一並且在已經受到其他因素污染的環境中，塑膠微粒讓搖蚊幼蟲的生長及蛻皮更加不穩定。至於塑膠微粒如何影響頰畸形的機制，需要再進一步探討。

研究中設計發展的尼羅紅螢光激發塑膠微粒檢測法，在操作方法與器材取得上相當容易，也能同時檢測棲息環境與指標生物，對日漸形成風潮的公民科學家提供了有效的檢測方法，可以應用在監測與評估生活環境塑膠微粒污染現況。

玖、參考資料及其他

- 一、 王俊才與王新華（民 100）。中國北方搖蚊幼蟲。北京：中國言實出版社。
- 二、 陳柄翰等（民 108）「塑」不及防—牡蠣中微塑膠與環境及養殖方式的影響。2019 全國科學探究競賽。新竹市。
- 三、 財團法人黑潮海洋文教基金會（民 108）。臺灣沿海海水表層塑膠微粒初步調查報告。
- 四、 行政院環保署環境檢驗所（民 108）。國內自來水、海水、沙灘砂礫與貝類中微型塑膠之現況調查。中華民國環境工程學會電子報 108 年第一期
- 五、 倪郁涵（2013）。溪流生態系中搖蚊系統發生多樣性與環境之關係（碩士論文）。國立中興大學，台中市。
- 六、 林明翰等（民 108）。海洋塑食文化。中華民國第 59 屆科學展覽會。台東縣。
- 七、 Incidence of mentum deformities in midge larvae from Northern Nova Scotia, Canada. *Hydrobiologia* (2006) 563:277 – 287
- 八、 Frequency of mentum deformity in *Chironomus sancticarloi* in a laboratory culture. *An Interdisciplinary Journal of Applied Science* Apr 01, 2019

拾、附件

一、養殖方式初探

為了了解塑膠微粒是否可以作為巢穴的使用，我做了個初探實驗。此研究採用提供紅蟲相似顆粒大小、不同成分的材質做為營巢的組成成分，試圖瞭解紅蟲對底泥粒徑、材質等等是否有選擇性，進一步探討築巢的材料與紅蟲生存、生長的影響。分別以總量一克的綠藻粉、塑膠粉、蛋殼粉，均勻散佈加入觀察箱中。每個觀察箱放入二十隻紅蟲，然後每一小時觀察一次，觀看紅蟲何時作成巢穴、巢穴大小差異以及紅蟲在巢穴中搖擺活動的狀況，作為後續實驗的參考。

實驗結果發現，大約二~三小時就可以看到巢的雛型，半天後，綠藻粉和蛋殼粉都很成功的形成巢穴，一天後，兩組在提供綠藻粉為食物後，都可存活的很好。但是塑膠微粒組就不行，大約一天內全部死亡。有可能塑膠微粒太多，或是塑膠微粒還有有毒成分，所以我們改變實驗方式。採用本文內的醫用塑膠針筒以及搭配綠藻粉的方式。

表：營巢實驗結果圖

		
綠藻粉一天內就有很多巢形成	塑膠微粒紅蟲全都死亡，也沒有巢的形狀產生	紅蟲也會用蛋殼粉來築巢

二、採集搖蚊卵塊

(一)發現搖蚊成蟲的習性：本來我都是上學前的凌晨或是下課後的傍晚去陽明山前山公園觀察，那時搖蚊比較常婚飛，我打算來收集牠們產下的卵塊。我在前山公園溫泉溪流觀察很久，都找不到在溪邊的卵塊，而且婚飛中的搖蚊也很難捕捉到，每次都只有兩三隻。有一天假日中午去陽明山玩，順便再去看一下搖蚊，意外發現溪中石頭上有許多搖

蚊成蟲聚集，後來幾次也是特地中午過後去觀察，才發現中午天氣比較熱，搖蚊成蟲多停在溪邊或是溪流中的石頭休息。這時就很容易捕捉大量的成蟲。於是我計畫採集成蟲回去產卵。

(二)捕捉方法: 想了很多方法，用盒子裝，但是石頭形狀太彎曲，搖蚊都從旁邊飛走。後來採用夾鏈袋，可以很容易採集到搖蚊成蟲，每袋大約都有三四十隻。將採集到的搖蚊成蟲分成兩組，一組暫時不給水，一組用針筒注射純水，結果四小時後，在缺水的环境，只產下零星個位數的卵塊，在有水的環境下，很快就會產卵，三、四小時內就有十多個卵塊產生。原本沒給水的那組，加入水後，一兩小時也產下很多卵塊。



用針筒注射水至捕捉搖蚊成蟲的透明袋中



有水的卵

缺水時產的乾卵

採集回來的搖蚊成蟲

【評語】 030315

本研究作為一個持續性的研究，現象確立與假說驗證的研究皆有進行，完成度高，針對去年所發現的昆蟲類畸形找到可能的原因，研究成果證明塑膠微粒是一個環境的重要隱憂，建議學生可以讓餵食塑膠微粒而產生類畸形的紅蟲養大，觀測其下一代類畸形產生的比例是否高於上一代，以驗證塑膠微粒是否會造成基因缺陷導致類畸形。

摘要

去年搖蚊生態研究發現紅蟲有頰畸形以及巢穴組成有塑膠微粒。為了探討塑膠微粒與頰畸型的關係，本研究調查南北五處不同溪流的生態環境，檢測出各處紅蟲體內和巢穴的塑膠微粒有相關性，頰畸形率與塑膠微粒數量也有相關性；接著限縮範圍在同一溪流不同棲地採樣三處，發現紅蟲體內塑膠微粒數和頰畸形率依舊有相關性。最後，採集陽明山成蟲回家產卵，人工養殖於溫泉、純水和排水溝三種水質中，發現即使不同水質，餵食塑膠微粒後，紅蟲頰畸形比例都有不等程度的增加，確認塑膠微粒對於頰畸形有因果關係。紅蟲常被廣泛作為水質汙染指標，利用本研究的觀測方法，也可以作為環境塑膠微粒監測的參考。

壹、研究動機

自然環境受到塑膠微粒的影響越來越受重視。去年科展研究我發現紅蟲會利用塑膠纖維來築巢，也發現紅蟲的頰常常出現變異，我很好奇，想要進一步瞭解紅蟲體內受塑膠微粒的影響以及頰的變異情況。

貳、研究目的

- 一、觀察紅蟲在不同棲地環境種類的差異
- 二、探討不同棲地紅蟲頰的畸形種類與比例
- 三、探討不同棲地紅蟲巢穴與體內塑膠微粒的數量與關係
- 四、探討同一水域不同樣區紅蟲頰畸形與體內塑膠微粒數量的差異
- 五、探討不同人工飼養環境下同一種類紅蟲頰畸形的差異

參、研究器材與樣本

- 一、材料：飼養用乾燥藻粉、尼羅紅染劑、玻璃滴管、醫用針筒、雞蛋盒、冰塊、濾紙、九公分玻璃皿、冰醋酸、酒精、玻片、二甲苯、NaOH食鹽水、雙氧水、寶特瓶、冰桶、泰山純水等。
- 二、器材及設備：數位相機、筆記型電腦、自製飼養觀察組、恆溫乾浴器、水質檢測試劑包、濾光片、解剖顯微鏡連結自組藍光螢光照射器和負壓過濾器(圖1)，如下說明：



利用發光二極體組裝藍光光源



自組藍光發射光源組裝於顯微鏡下，激發被尼羅紅染色的塑膠微粒



自組負壓過濾器，利用抽氣機在吸濾瓶中形成負壓，加速過濾效果。

圖1 自組器材設備說明圖

三、研究樣本：

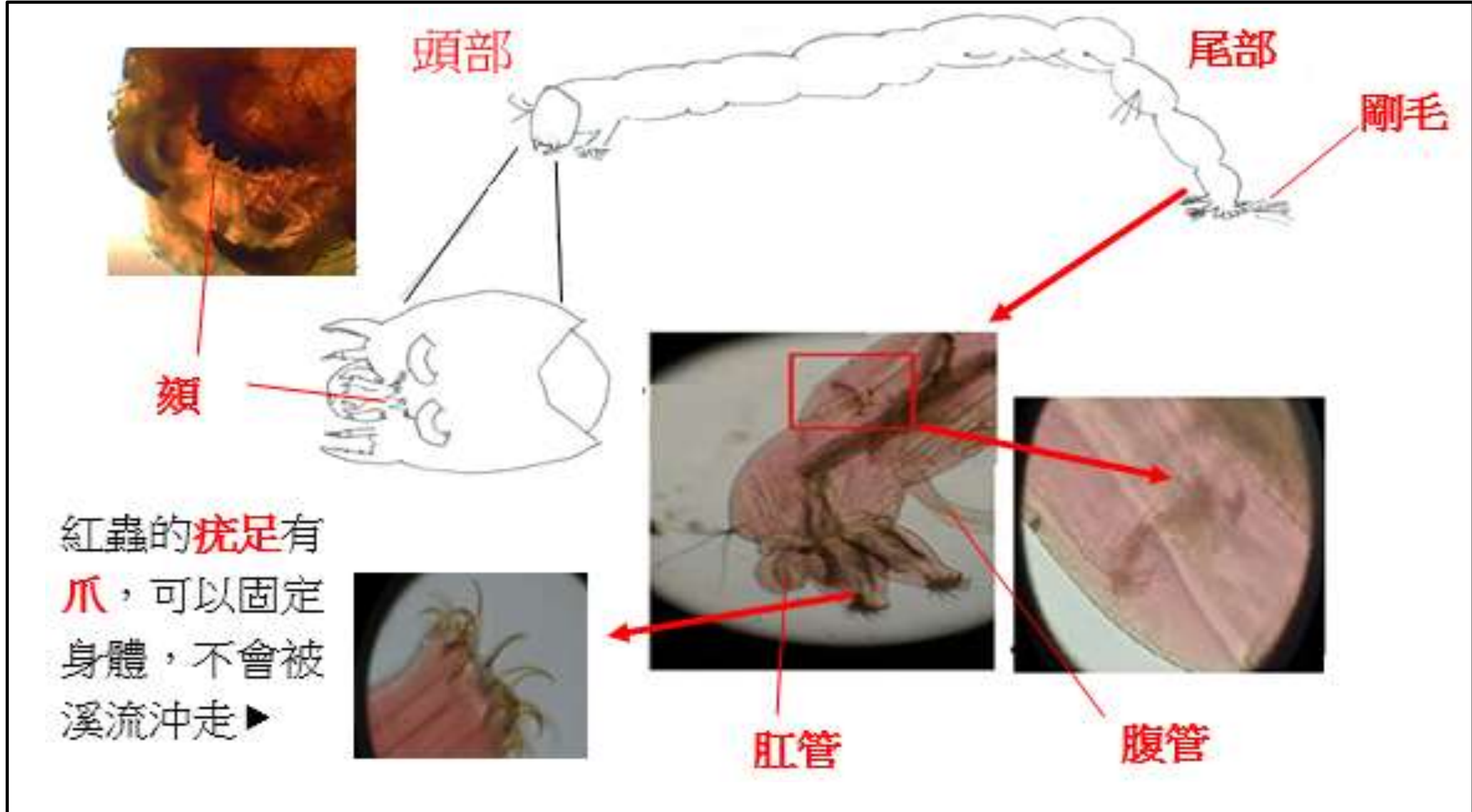


圖2 紅蟲外形特徵



圖3 紅蟲生活史

肆、研究過程與方法

調查地點與採集紅蟲



葉子上的巢穴



石頭上的巢穴



步驟 1：撥泥採集



步驟 2：去土脫巢



步驟 3：施壓浮現



步驟 4：紅蟲收成

圖5 大水域採集流程圖

採集搖蚊成蟲和卵塊



成蟲產卵於袋內水中



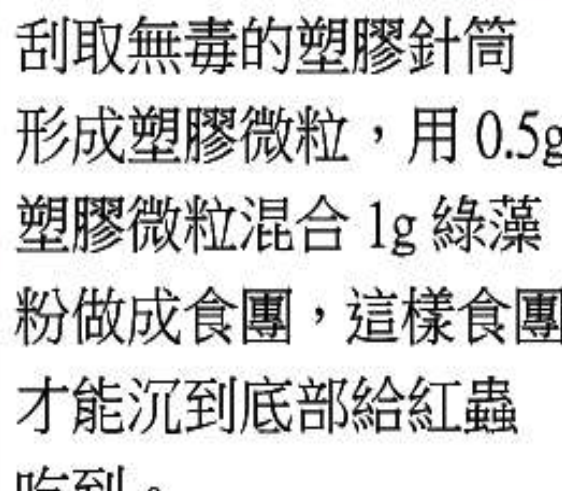
缺水時產的乾卵

圖6 採集和誘發產卵示意圖

人工飼養



混合食團



刮取無毒的塑膠針筒形成塑膠微粒，用 0.5g 塑膠微粒混合 1g 綠藻粉做成食團，這樣食團才能沉到底部給紅蟲吃到。

圖7 人工飼養餵食方式示意圖

檢驗塑膠微粒

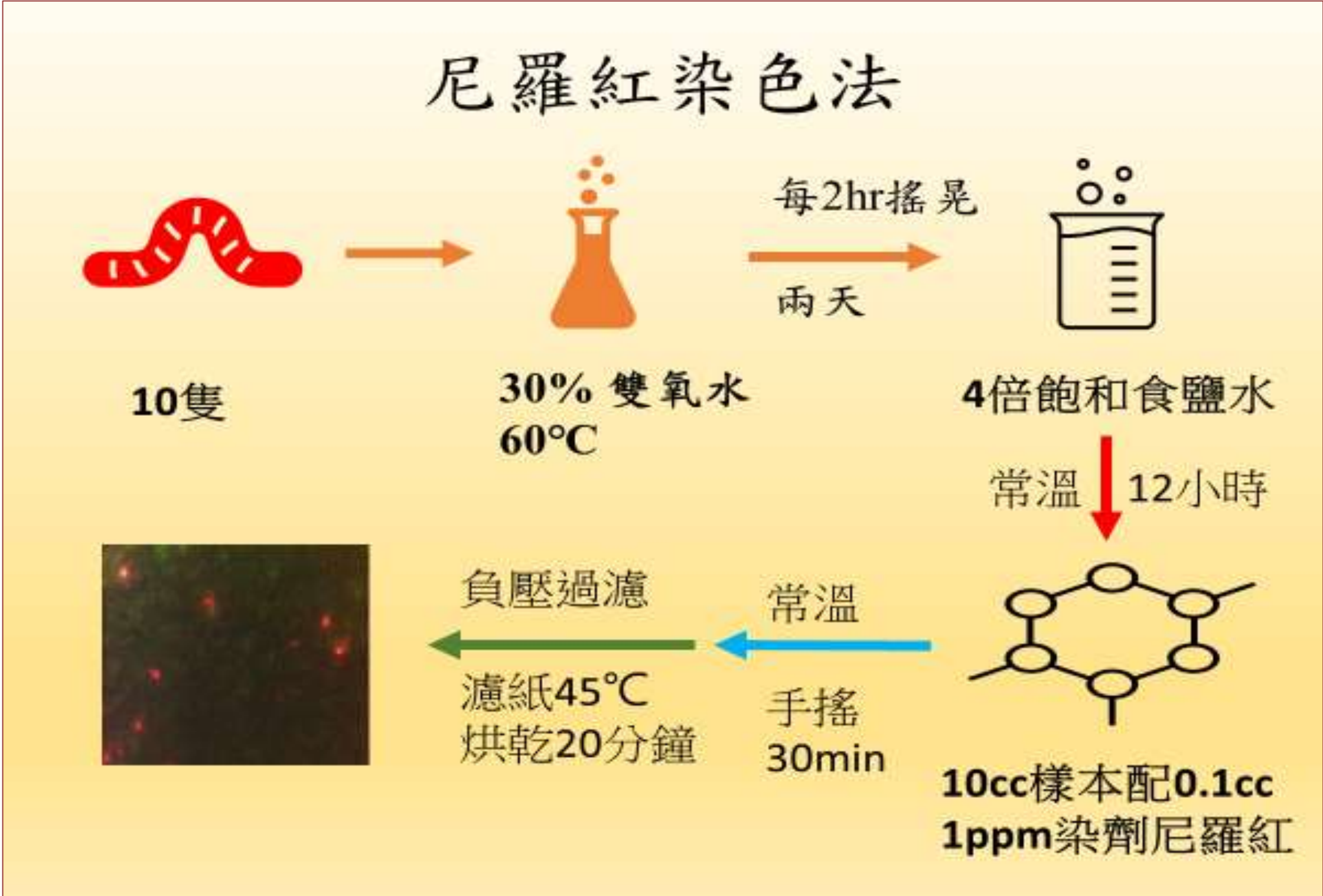


圖8 尼羅紅染色法檢驗塑膠微粒的步驟圖

判斷頰的型態

側齒 中間齒 側齒	粗鉞搖蚊 <i>Chironomus crassiforceps</i>	
素搖蚊屬物種	素搖蚊屬 <i>Polypedium</i> sp.	
側齒 中間齒 側齒	黃羽搖蚊 <i>Chironomus flavipilum</i>	
搖蚊屬物種	硫磺搖蚊 <i>Chironomus sulfurosus</i>	

圖9 不同屬的頰型態與排列

伍、實驗結果

一、觀察紅蟲在不同棲地環境種類的差異

表1 不同棲地環境調查與採集結果表

檢測項目	陽明山前山公園溫泉溪流	北投溪	北投公園蓮花池	彭厝溪、番仔寮溪排水
現場相片				
水溫	31℃	27℃	25℃	26℃
pH值	2.3~5	3~4	6~7	7.2~7.6
濁度	40~100 JTU	0~40 JTU	0 JTU	0~40 JTU
底泥	白色，泥沙居多	鐵鏽灰色，砂石居多	灰綠色，泥沙居多	黑色，泥沙居多
氣味	硫磺味	硫磺味	無味	腐臭味
紅蟲種類	搖蚊屬	素搖蚊屬	搖蚊屬	搖蚊屬



圖10 番仔寮溪排水流域衛星圖

研究結果：

- 本研究採集了三地五處不同棲息地，發現紅蟲的種類都不一樣，在汙染環境下，搖蚊屬是優勢種。
- 高屏溪支流這隻*Chironomus sulfurous*在台灣尚未被登錄過，屬於新登錄種。
- 北投溪是素搖蚊屬 (*Polypedilum* sp.) 下的一種，NCBI資料庫內沒有種類的紀錄，可能是新品種。

二、探討不同棲地紅蟲類的畸形種類與比例

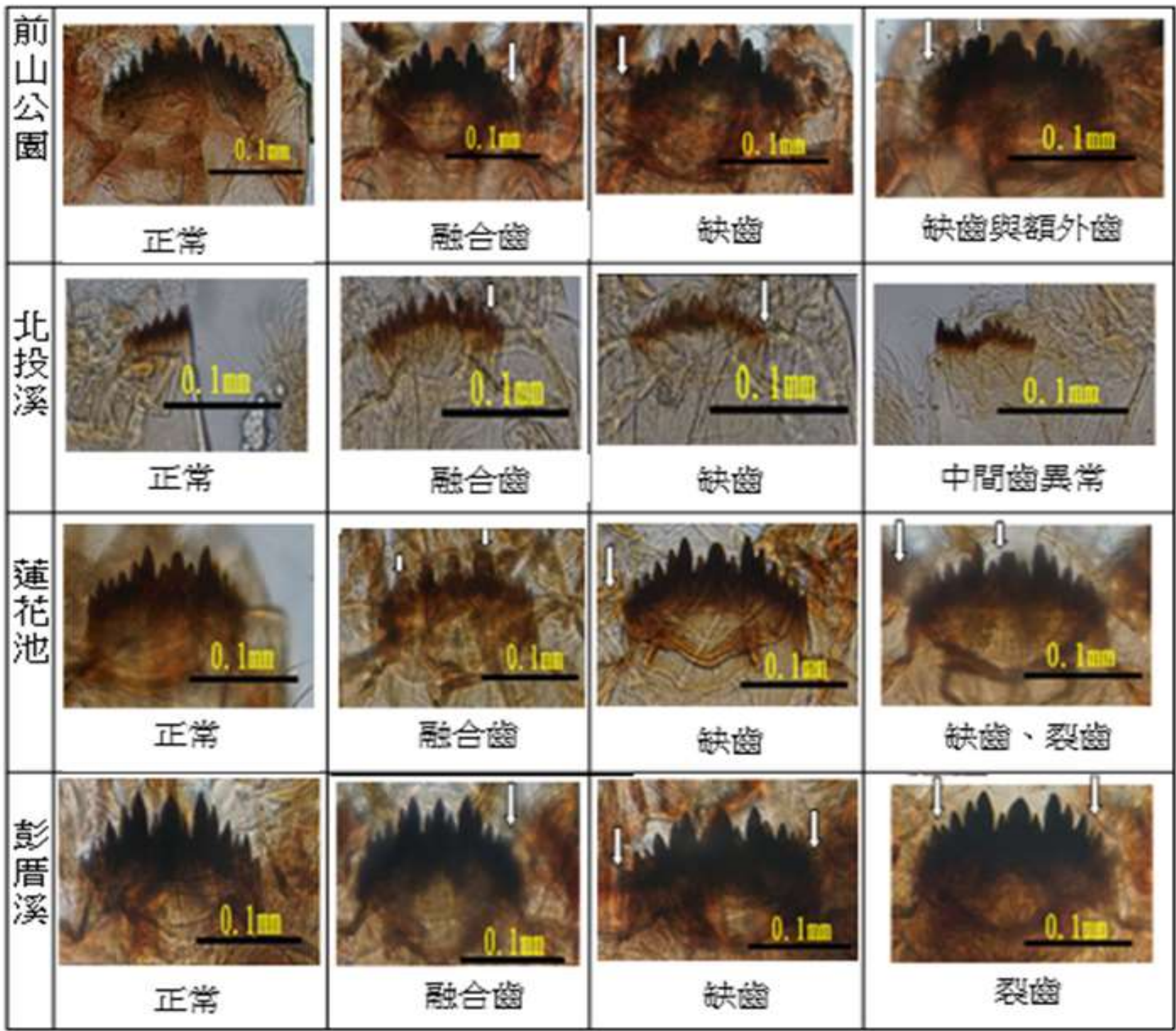


圖11 各地紅蟲類的畸形種類

研究結果：

- 從各地點的採樣觀察分析，不同地點的紅蟲，類畸形的發生頻率不同。
- 不同地點和不同種類類畸形的不同，值得進一步探討到底是哪一種因素影響類的畸形？

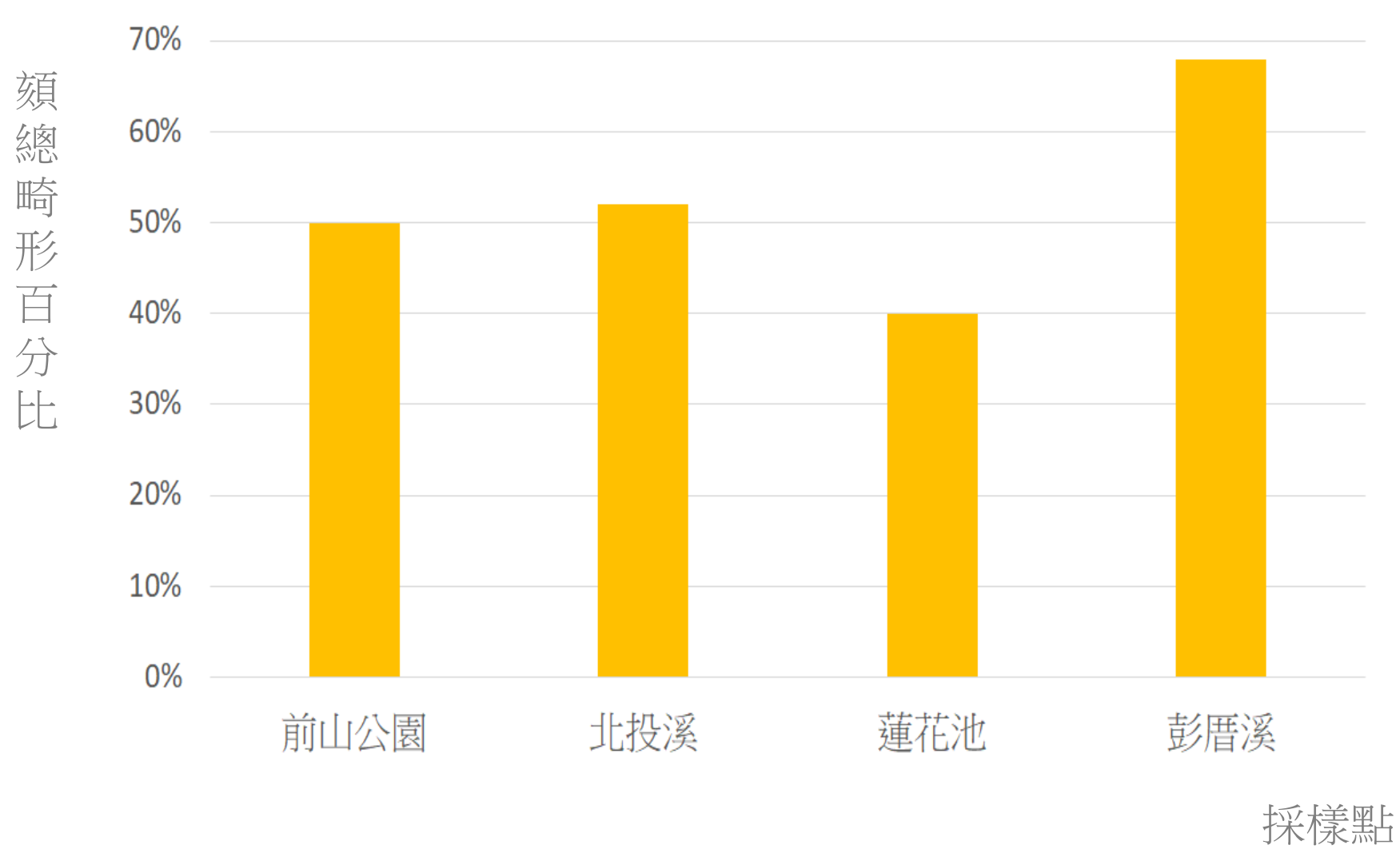


圖12 各採樣點紅蟲類總畸形百分比長條圖

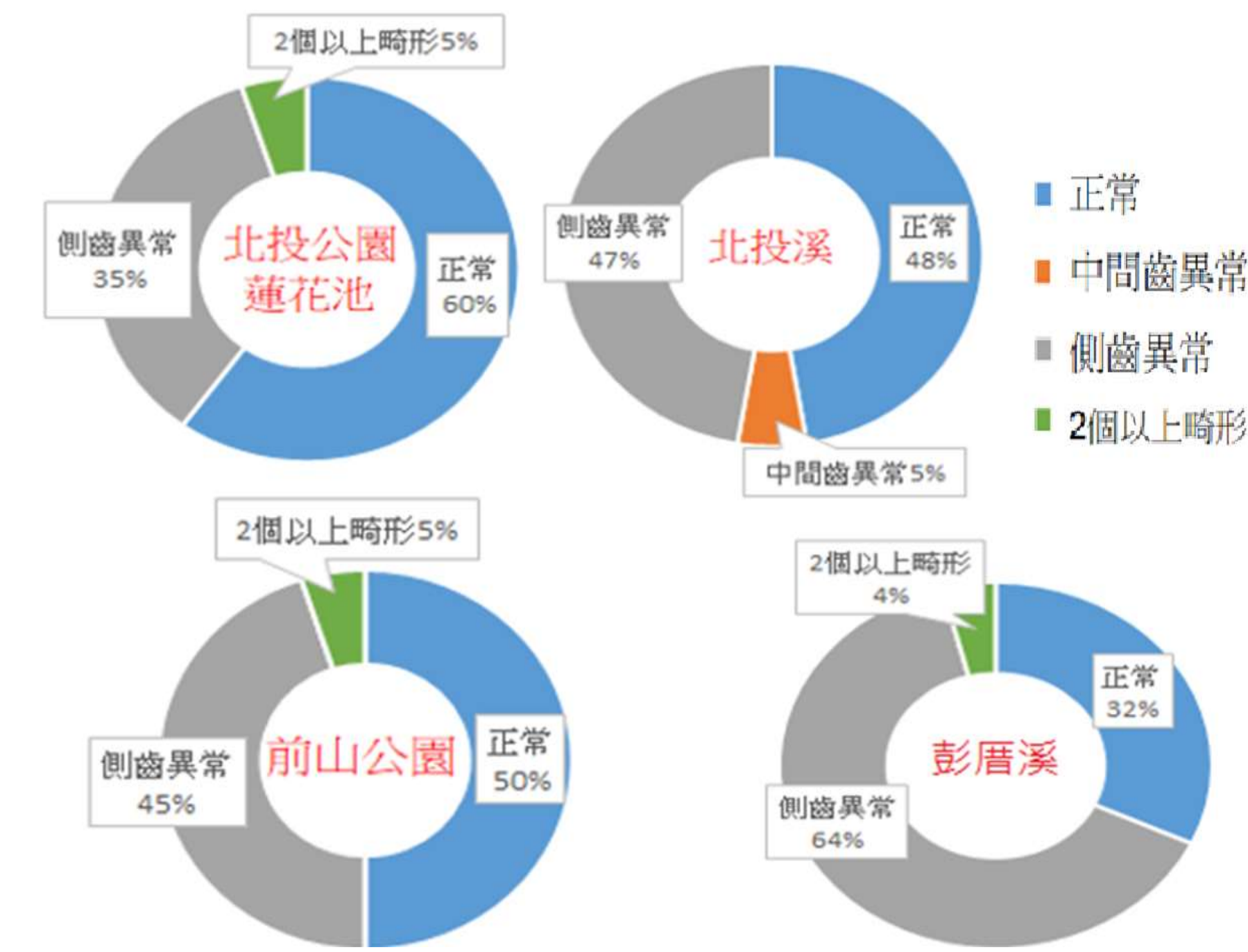


圖13 各採樣點紅蟲類畸形發生頻率圖

三、探討不同棲地紅蟲巢穴與體內塑膠微粒的數量與關係

表2 紅蟲體內塑膠微粒測定結果

單位：顆/隻

採樣點	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	平均
前山公園	0.4	0.3	0.2	0.7	0.5	0.9	0.4	1	0.3	0.5	0.52
北投溪	1	1.5	1.4	2.5	1.8	1.2	1.4	0.5	1.9	2.2	1.54
蓮花池	0.6	1.2	0.8	1	1.2	0.5	0.8	1.4	0.2	0.4	0.81
彭厝溪	5	5.3	3.1	5.7	2.9	4.6	3.1	5.5	4.7	5.3	4.52

表4 紅蟲營巢內塑膠微粒測定結果

單位：顆/個

採樣點	A	B	C	D	E	平均
前山公園	2	5	4	2	1	2.8
北投溪	3	6	2	4	5	4
蓮花池	0	2	1	0	1	0.8
彭厝溪	9	8	15	7	10	9.8

表5 紅蟲和成蟲體內的塑膠微粒數

單位：顆/隻

類別\採樣	1	2	3	4	5	6	7	平均
紅蟲	0.3	0.2	0.5	0.9	0.4	0.3	0.5	0.44
成蟲	0.4	0.3	0.3	0.5	0.2	0.6	0.4	0.39

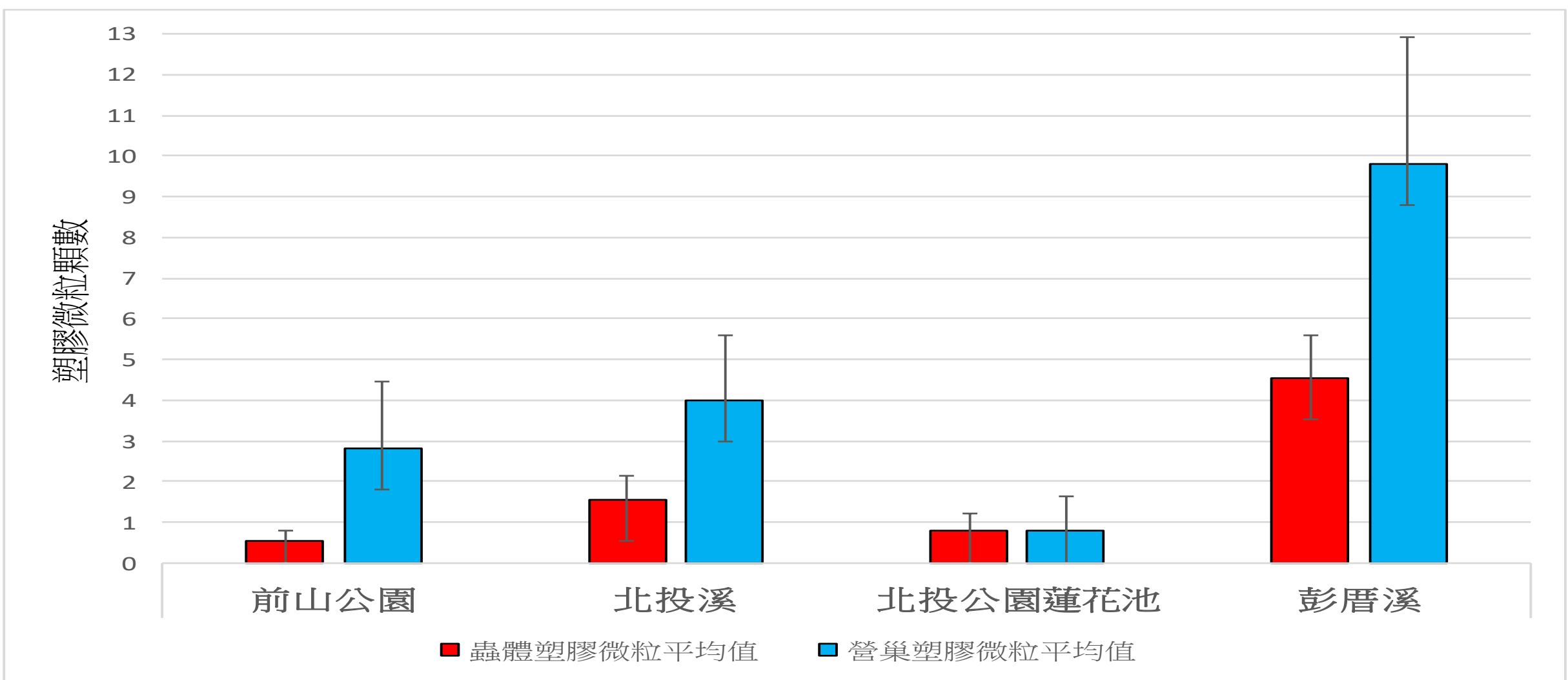


圖14 蟲體與蟲巢塑膠微粒平均值

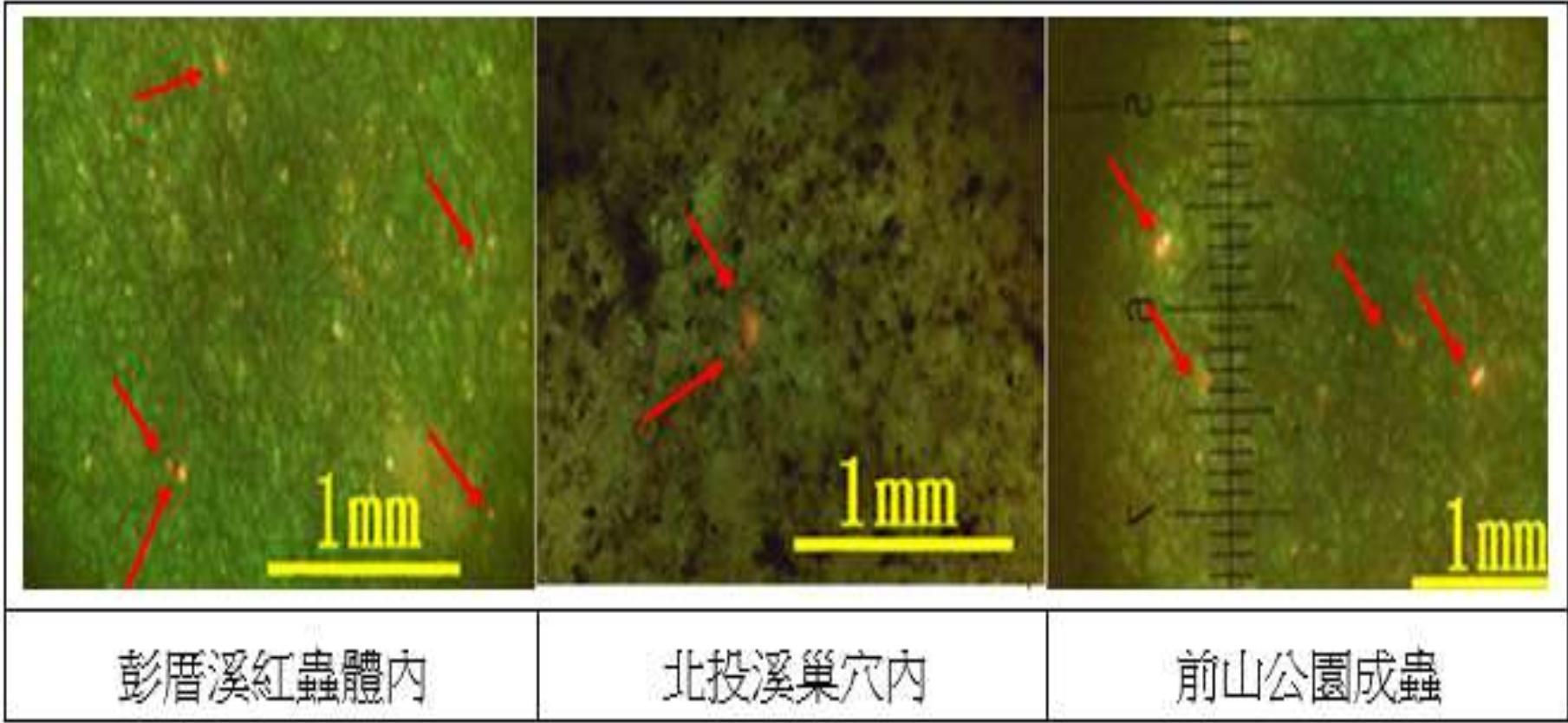


圖15 各地紅蟲體內和巢內塑膠微粒樣態

研究結果：

- 不同地點的紅蟲體內和巢內均有塑膠微粒的存在。
- 不同地點的紅蟲體內和巢內的塑膠微粒的數量是不一樣，值得進一步探討。
- 紅蟲體內和成蟲體內均有塑膠微粒的存在。

四、探討同一水域不同樣區紅蟲類畸形與體內塑膠微粒數量的差異

表6 同一水域不同區塊棲地的水質和底泥檢測表

底泥測試	PH	電導度 (1:5)(mS/cm)	銅 (ppm)	鋅 (ppm)	鎘 (ppm)	鎳 (ppm)	鉻 (ppm)	鉛 (ppm)	有機質(%)
農地標準值			120	260	2.5	130	175	300	3~8%
A區中上	7	0.55	0.3	31.4	0.01	2.3	ND	0.1	20.1
B區中下	6.8	2.38	2.3	135.5	0.11	7.5	0.1	0.1	13.5
C區下	7.2	1.54	0.3	144.8	0.04	12.1	0.1	0.1	16.1

研究結果：

- 1.同一水域不同區塊棲地紅蟲種類的類畸形發生頻率不同。
- 2.同一水域不同區塊棲地紅蟲體內塑膠微粒差異不同。
- 3.同一水域同區塊(B)棲地紅蟲塑膠微粒高、類畸形也高。
- 4.未來可進一步研究同一種紅蟲操作找出影響類的畸形原因。

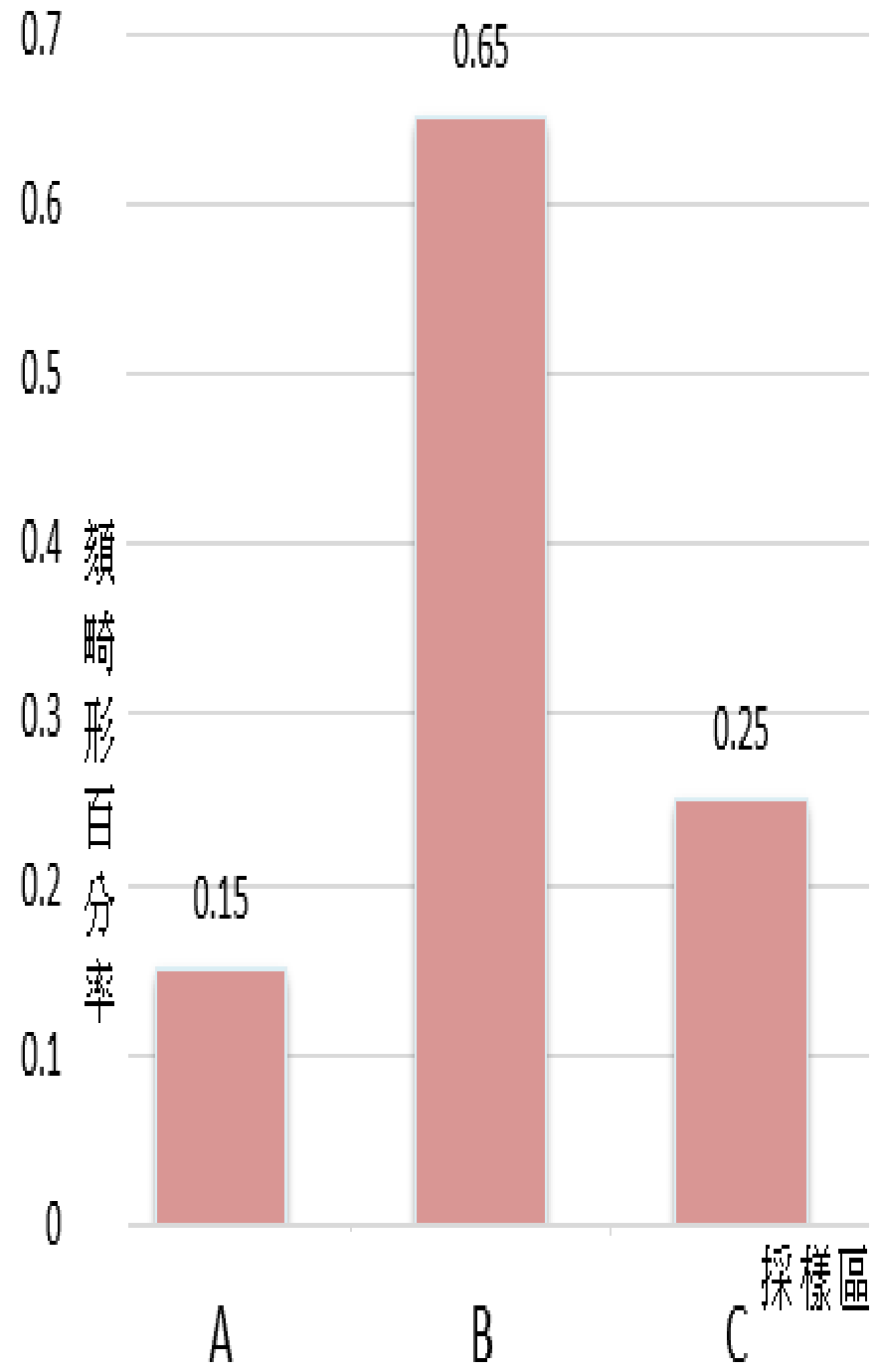


圖16 同一水域不同區塊棲地中紅蟲類畸形率

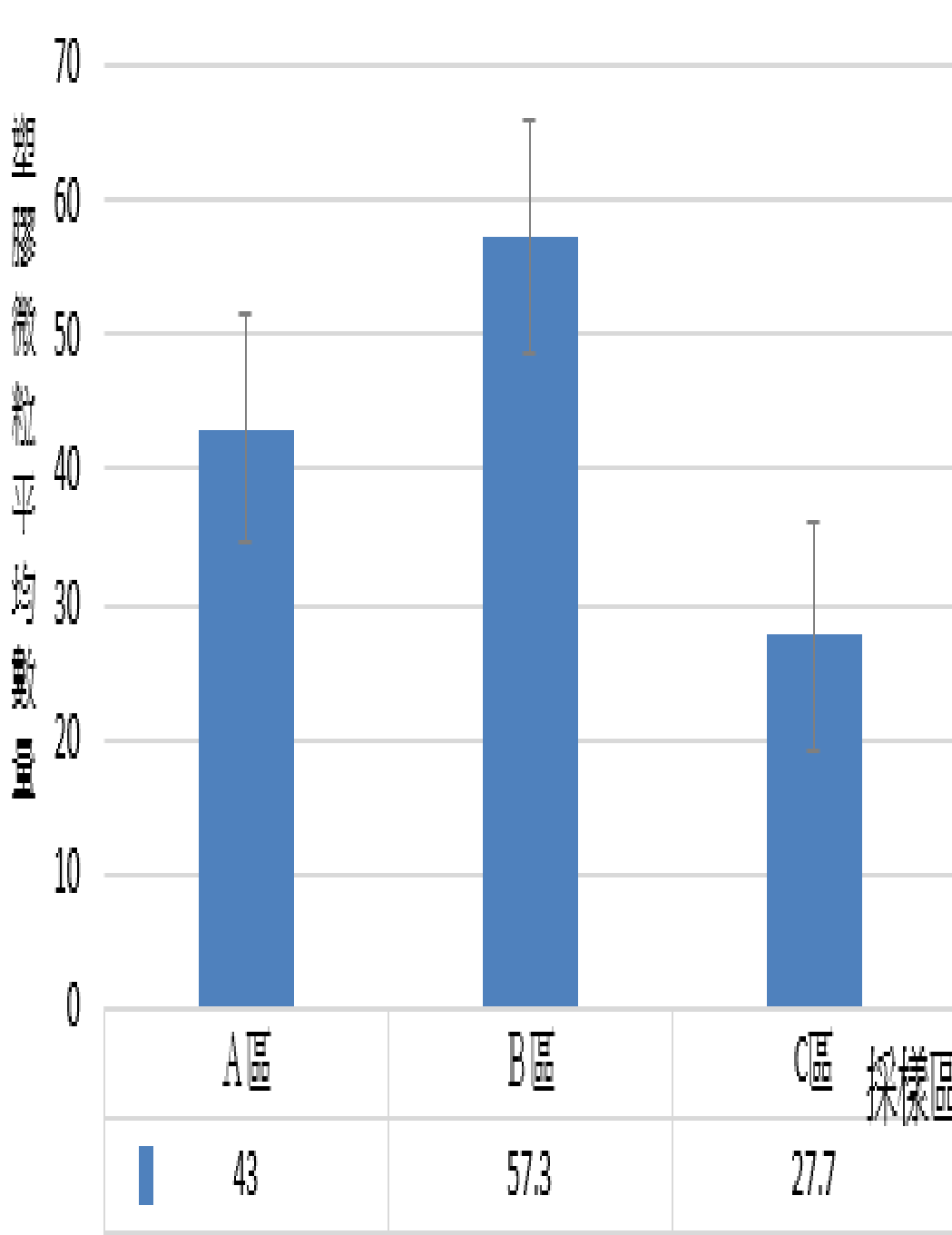


圖17 同一水域不同樣區棲地紅蟲體內塑膠微粒差異

五、探討不同人工飼養環境下同一種類紅蟲類畸形的差異

表7 不同水質同一種類紅蟲類的畸形百分率表

畸形率	純水	溫泉水	汗水
無微粒	11%	15%	33%
有微粒	39%	21%	43%

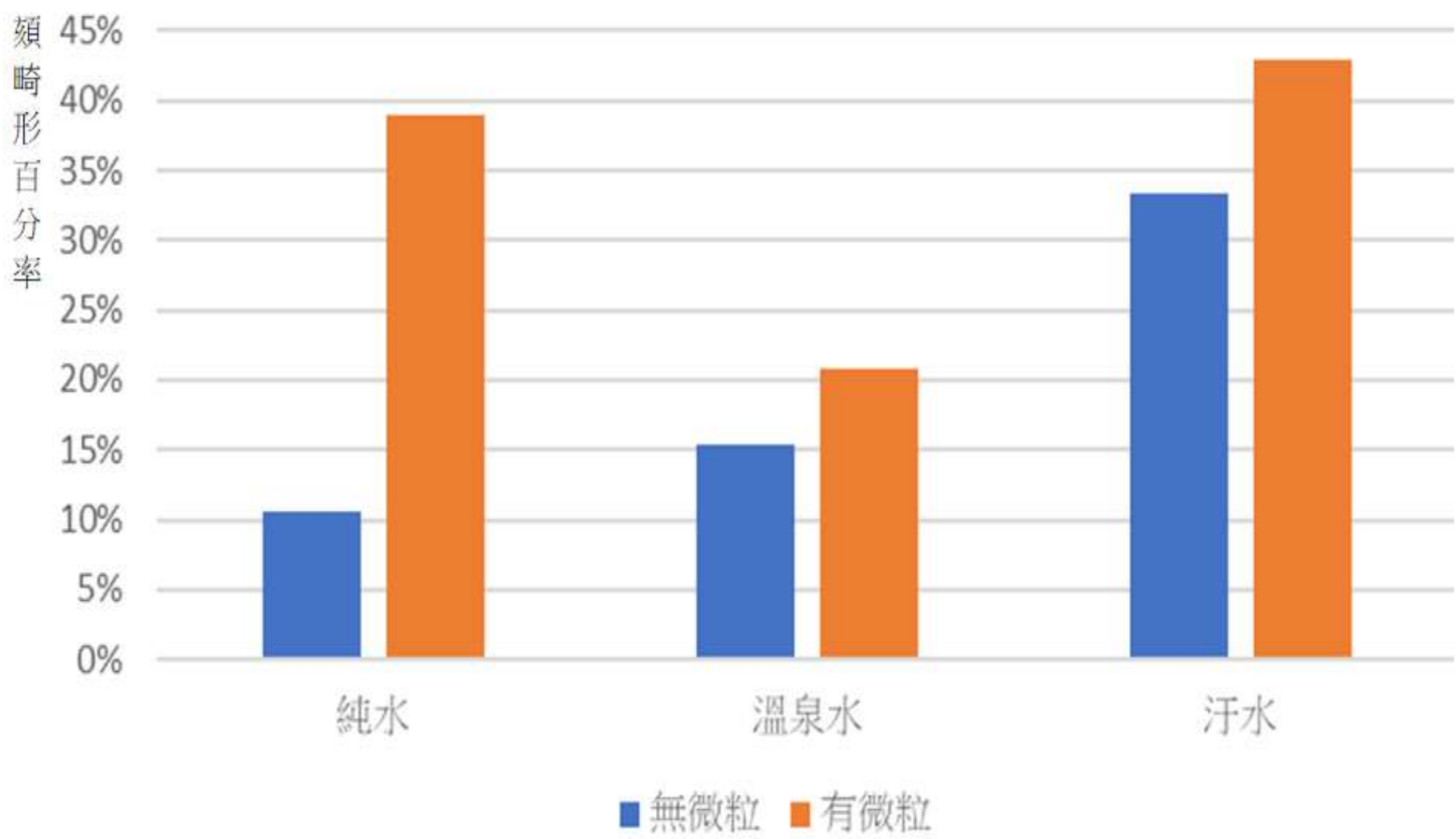


圖19.不同水質同一種類紅蟲類的畸形

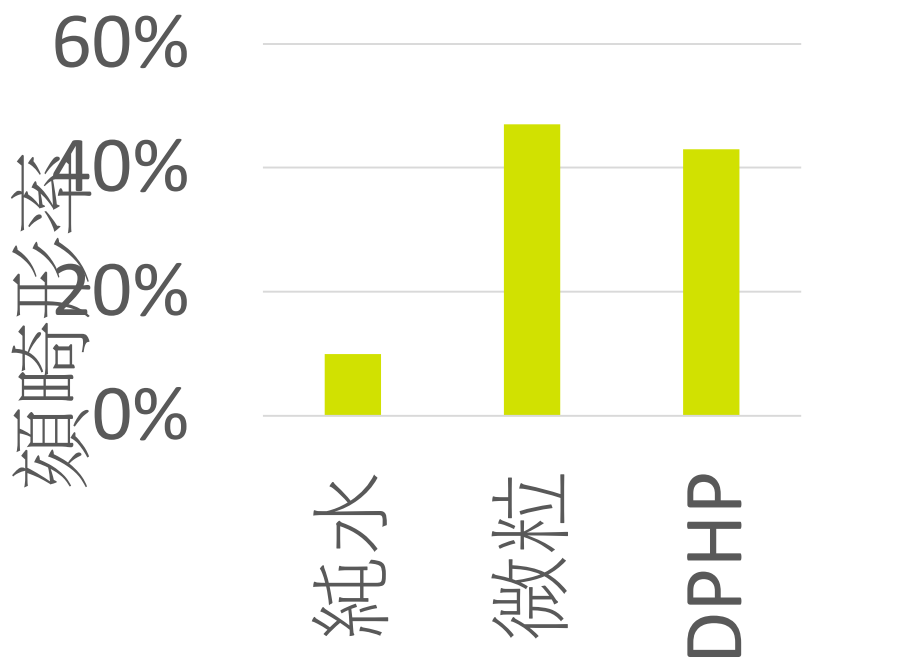
純水	異常	正常	總數	溫泉水	異常	正常	總數	汗水	異常	正常	總數
無微粒	2	17	19	無微粒	2	11	13	無微粒	5	10	15
有微粒	7	11	18	有微粒	5	19	24	有微粒	6	8	14
總數	9	28	37	總數	7	30	37	總數	11	18	29

費雪檢定，純水組p-value: 0.04。在顯著水準為0.1條件下，有顯著差異; 溫泉組為0.686和污水組為0.597，沒有顯著差異

研究結果：在環境比較沒有刺激下的純水組，添加塑膠微粒確實會造成類畸形率的顯著上升；如果環境刺激太大，添加塑膠微粒造成的影響就不明顯。



圖18. 由左至右為針筒削片、巢和紅蟲體內的塑膠微粒圖



	畸形	正常	列總和
純水	2	14	16
微粒	8	9	17
DPHP	6	8	14
行總和	16	31	47

卡方值檢定，p-value: 0.073。在顯著水準為0.1條件下，有顯著差異

研究結果：
塑化劑DPHP會造成類畸形率的增加。

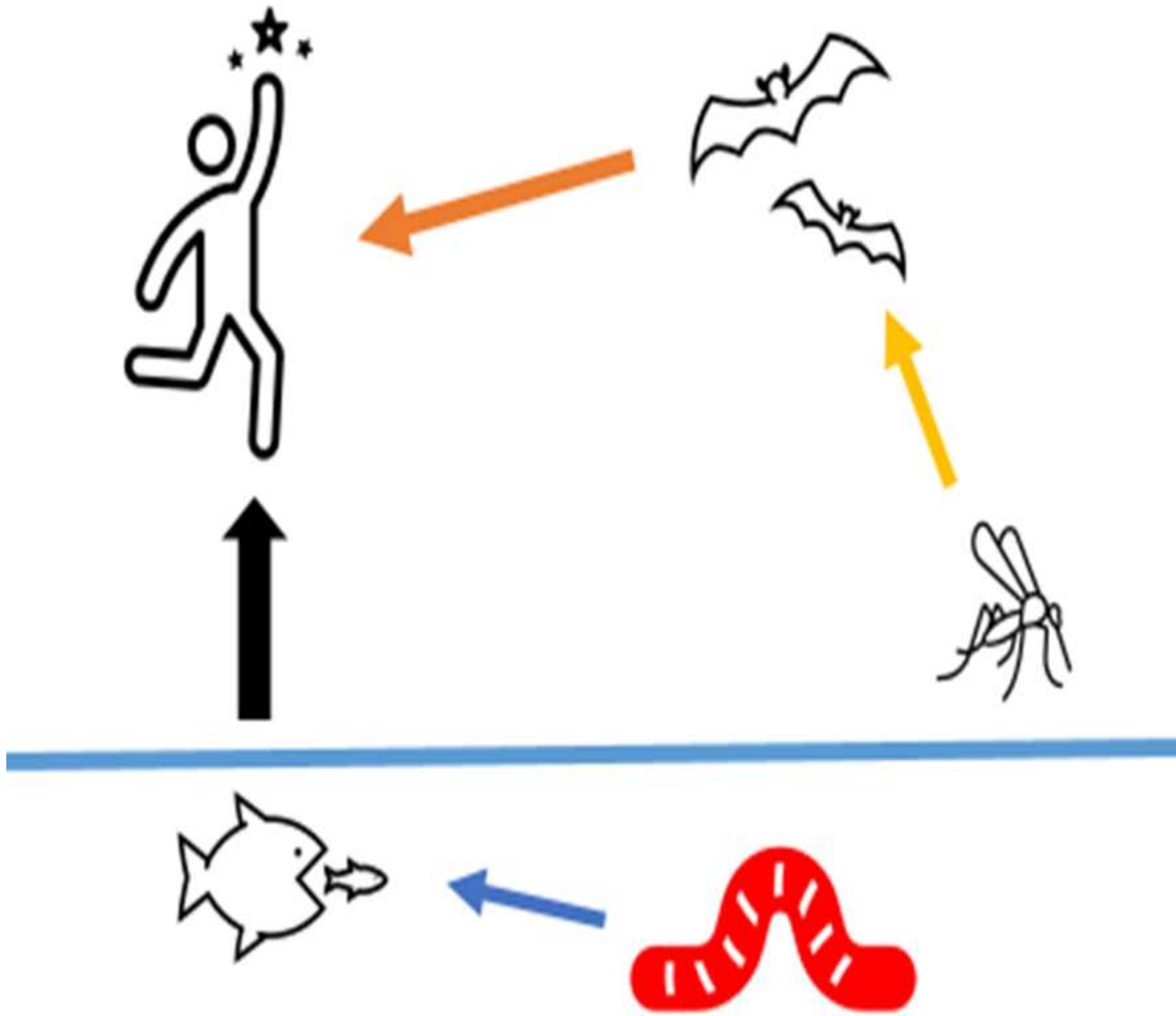
陸、討論與結論

階段	研究問題	討論與結論
觀察期	一、觀察紅蟲在不同棲地環境種類的差異	從不同棲地生態調查與紅蟲鑑定結果得知，台灣紅蟲種類相當多元，搖蚊屬是最多的族群，各地採集到的種類都不一樣，依各物種競爭能力形成優勢族群。
探索期	二、探討不同棲地紅蟲類的畸形種類與比例	大自然裡的紅蟲類畸形相當普遍，南北五個地點採集到的紅蟲都有程度不一的類畸形。尤其環境人為干擾越嚴重的地方，畸形率越高。
	三、探討不同棲地紅蟲巢穴與體內塑膠微粒的數量與關係	
確定期	四、探討同一水域不同樣區紅蟲類畸形與體內塑膠微粒數量的差異	從北部陽明山國家公園到南部高屏溪支流，紅蟲體內都有塑膠微粒，表示只要有人類活動的地方，就有塑膠微粒汙染。研究發現巢穴的塑膠微粒數和紅蟲體內的微粒數有相關性。
	五、探討不同人工飼養環境下同一種類紅蟲類畸形的差異	



玖、研究貢獻

- 一、未來研究環境塑膠微粒汙染狀況時，只要檢測巢穴即可，不需要犧牲紅蟲生命。
- 二、本研究證明了人為活動產生的塑膠微粒會在水生生態系中累積；另外，我也在搖蚊成蟲體內發現不少塑膠微粒，透過昆蟲完全變態跳到陸生生態系中形成雙重管道累積循環，加速回饋到人類身上。這是一件值得重視的議題。
- 三、紅蟲是一種好的生物指標，用來檢測底泥、水質環境狀況握食物鏈循環的指標。
- 四、未來也可以選出一種紅蟲當作塑膠微粒的指標。



拾、參考資料

- 一、王俊才與王新華（民100）。中國北方搖蚊幼蟲。北京：中國言實出版社。
- 二、陳柄翰等（民108）「塑」不及防—牡蠣中微塑膠與環境及養殖方式的影響。2019全國科學探究競賽。新竹市。
- 三、行政院環保署環境檢驗所（民108）。國內自來水、海水、沙灘砂礫與貝類中微型塑膠之現況調查。中華民國環境工程學會電子報108年第一期
- 四、倪郁涵（2013）。溪流生態系中搖蚊系統發生多樣性與環境之關、係（碩士論文）。國立中興大學，台中市。
- 五、林明翰等（民108）。海洋塑食文化。中華民國第59屆科學展覽會。台東縣。
- 六、Incidence of mentum deformities in midge larvae from Northern Nova Scotia,Canada. Hydrobiologia（2006）563:277-287
- 七、Frequency of mentum deformity in Chironomus sancticarloi in a laboratory culture. An Interdisciplinary Journal of Applied Science Apr 01, 2019