

# 中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 生物科

團隊合作獎

030305

「魚」貫而入-衣魚習性與其生存方式之探討

學校名稱：宜蘭縣立復興國民中學

作者：  國二 林佑昇  國二 邱宥綸  國三 林栩頡	指導老師：  陳 卉  藍 霖
---	-----------------------------

關鍵詞：衣魚、動物行為模式、防治方式

## 摘要

一般民眾利用化學性的方式驅離衣魚，但這些方法可能造成環境氣味不佳及危害人體健康，甚至可能致癌，本研究發現利用 80000Hz 超音波播放 24 小時可完全消滅衣魚。研究過程中亦發現衣魚的行為模式可分三類：主動者、被動者、不動者。將衣魚放入新環境，主動者可立即搜索新環境，並將訊息傳遞給被動者，使被動者跟隨，但不動者接受訊息後卻完全不動。因此超音波法對於不動者無環境限制，而應用在主動者和被動者，則須在封閉的環境下。我們亦發現衣魚會攝食低密度聚乙烯，利用傅立葉紅外線光譜儀分析排泄物，發現低密度聚乙烯確實會被分解，因此可應用此種生物特性減輕環境中塑膠污染的壓力。

## 壹、研究動機

在整理家中一箱一箱舊物時，發現有一個塑膠袋中有成群的生物跑來跑去，以塑膠袋和標籤紙上的塑膠膜為食，回家查詢資料後，才知道原來這是衣魚。因為平時都只有看到一、兩隻衣魚，很少看到一整群；而且一般觀念衣魚是書蟲、衣蟲，但衣魚居然會吃塑膠袋，引起我們研究的好奇心。因此我們利用自然七年級上學期 1-3 的探究方法進行實驗設計，從 5-4 動物行為的課程內容中了解到動物有不同溝通方式，一整群的衣魚是否也有溝通的情況發生。衣魚因為會吃珍貴的書籍和衣物，一般被視為害蟲的一種，過去的防治方式，大多為化學性，可能伴隨著危害人體，有無其他方式可以消滅衣魚呢？我們希望藉由科學方法，解答衣魚不為人知的一面。

## 貳、研究目的

- 一、了解衣魚會攝食的塑膠種類
- 二、探討衣魚行為特徵與溝通方式
- 三、三種行為模式之衣魚對其生存意義之探討
- 四、比較傳統防治方式與超音波對衣魚的影響

## 參、研究設備及藥品

### 一、實驗生物:衣魚(*Lepisma saccharina*)

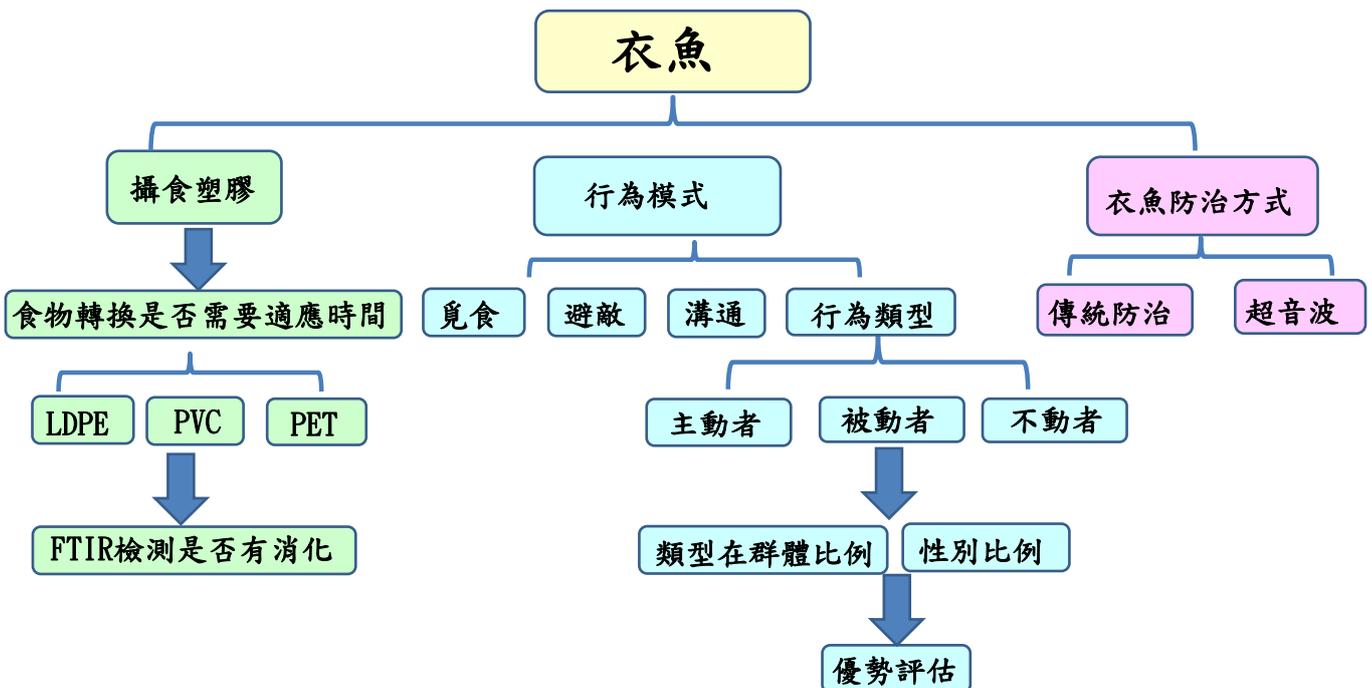
在昆蟲綱中分類上屬於纓尾目；衣魚科；衣魚屬，在地球上已經出現約三億年。衣魚俗稱蠹魚、白魚、壁魚、赤木蟲、書蟲或衣蟲，是一種靈巧、怕光、而且無翅的昆蟲。

### 二、實驗設備

數位照相機(Canon IXUS 900Ti)、攝影機、ImageJ 軟體、Matlab 軟體、定時照相機、手機、喇叭、美工刀、飼養用玻璃瓶、電子秤、燒杯、塑膠盤、錫槍、鋁箔紙、電磁爐、蜘蛛、毛根、棉、麻、聚丙烯(PP)、聚酯纖維(PET)、聚乙烯(PE)、尼龍、保鮮膜(聚對苯二甲酸乙二酯(PET))、塑膠袋(聚氯乙烯(PVC))、保麗龍(PS)、聚偏二氯乙烯(PVDC)、低密度聚乙烯(LDPE)、高密度聚乙烯(HDPE)、聚氯乙烯(PVC)、聚對苯二甲酸乙二酯(PET)、高溫熱壓薄片機、傅立葉紅外線光譜儀(FTIR)、萘丸、精油、防蚊液、衣物香芬袋

## 肆、研究步驟

### 研究架構



### **(一)比較個體和群體攝食量之差異**

- 1.衣魚隻數分別以 1、3、5 和 10 隻進行實驗，以白紙(80 磅)為食物來源。
- 2.一週後量測每組每隻衣魚平均攝食量。

### **(二)衣魚食性適應實驗**

- 1.準備攝食一個月白紙和一個月 LDPE 各二十隻的衣魚。
- 2.把 LDPE 和白紙剪成  $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$  的正方形並放入四個燒杯中，再分成以下四個組別，再包上鋁箔紙，每周以 Image J 計算四組白紙或 LDPE 之攝食量。
  - (1)衣魚原吃紙，後改吃塑膠
  - (2)衣魚原吃塑膠，繼續吃塑膠
  - (3)衣魚原吃塑膠，後改吃紙
  - (4)衣魚原吃紙，繼續吃紙

### **(三)探討衣魚的食物種類**

- 1.準備各種衣物材料如棉，麻、聚丙烯(PP)、聚酯纖維(PET)、聚乙烯(PE)、尼龍和數種市面上塑膠產品如保鮮膜(PVC、PET)、塑膠袋(LDPE、HDPE、PVDC)以及及保麗龍(PS)、紙，把他們各剪成  $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$  的正方形(除了衣物為  $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 、保麗龍為  $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$ )。
- 2.把剪好的紙、衣物、塑膠及保麗龍放入燒杯，把衣魚放入燒杯，一個燒杯一隻，包上鋁箔紙，待一個禮拜後，觀察衣魚是否有攝食，並以 Image J 計算他們攝食面積及重量。

### **(四)檢測衣魚排泄物有無塑膠成分**

#### 1.LDPE

- (1)將 LDPE 原料利用高溫熱壓薄片機製成塑膠膜，供 50 隻衣魚攝食一周後，開始進行實驗。
- (2)將塑膠膜剪成  $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$  的正方形，每周放入一片，持續供衣魚攝食一個月。



(圖一)二十隻衣魚同時攝食塑膠(LDPE)



## (二)相同生活空間對不同數量的衣魚行為特徵之影響

每組衣魚數分別為 1、2、3、5、10 隻捕捉於同一生活空間，依組別將衣魚放入實驗容器另一端，每次實驗換不同衣魚並重複五次，觀察其行為特徵。

本研究過程發現衣魚群體中依行為模式可分為三種類別，主動者、被動者和不動者。

### 1.主動者行為特徵有以下幾點:

- (1)到一新環境，在 3 分鐘以內開始搜尋安全環境與食物，也是群體中最先開始移動的。
- (2)一旦搜尋到安全環境或食物，會回原放置地點以觸角通知被動者、不動者。
- (3)不管群體成員是否改變，皆扮演主動者的角色。

### 2.被動者行為特徵有以下幾點:

- (1)到一新環境，牠會停滯不動至少 3 分鐘以上。
- (2)待主動者以觸角通知，牠才會跟隨主動者。如無主動者接觸，牠在 3~5 分鐘後才會開始移動。
- (3)不管群體成員是否改變，皆扮演被動者的角色。

### 3.不動者行為特徵有以下幾點:

- (1)到一新環境，牠會停滯至少 30 分鐘不動。
- (2)不管主動者或被動者是否有用觸角接觸，皆不移動。
- (3)不管群體成員是否改變，皆扮演被動者的角色。

以下實驗設計皆根據上述定義將衣魚分成三種類別。

## (三)衣魚的感官

### 1.覓食

#### (1)嗅覺

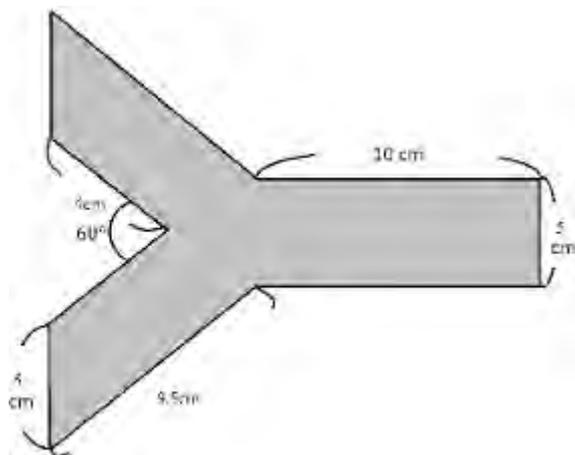
將三隻衣魚(一隻主動者和兩隻被動者)在實驗前一週不餵紙，再放置於 Y 字模型<sup>(註 1)</sup>(圖二)底部，而 Y 字兩端其中一端放置不透明的盒子上方打洞裡面放置衛生紙(避開視覺變因)，另一端放置一個相同之不透明的盒子，觀察三隻衣魚之行為與其抵達之時間<sup>(註 2)</sup>。

註 1:避免受衣魚視覺範圍之影響，所以我們將 Y 字模型的兩岔路設為 60 度。Y 型兩端實驗組與對照組隨機互換。

註 2:成功抵達的定義，除不動者外所有衣魚進入該區域持續 10 秒以上。

## (2)視覺

將三隻衣魚(一隻主動者和兩隻被動者)在實驗前一週不餵紙，再放置於 Y 字模型底部(圖三)，而 Y 字兩端其中一端放置封閉不透氣透明盒子裡面放置衛生紙(避免嗅覺干擾)，另一邊放置一個空的透明盒子，觀察並記錄三隻衣魚之行為與其抵達之時間。



(圖三) Y 字模型

## 2.避險

### (1)嗅覺

將三隻衣魚(一隻主動者和兩隻被動者)在實驗前一週不餵紙，再放置於 Y 字模型底部(圖三)，而 Y 字兩端其中一端放置一個殘存天敵蜘蛛氣味的不透明盒子，並在盒子上方打洞(避開視覺變因)，另一端放置一個相同空盒子，觀察並記錄三隻衣魚之行為與其抵達之時間。

### (2)視覺

將三隻衣魚(一隻主動者和兩隻被動者)在實驗前一週不餵紙，再放置於 Y 字模型底部(圖三)，而 Y 字兩端其中一端放置透明盒子裡面放置蜘蛛的照片(方便操作並避開聽覺及嗅覺等兩種變因)，另一邊放置一個相同之透明的盒子，並觀察三隻衣魚(主動者和被動者)之行為與其抵達之時間。

### (3)觸覺

將三隻衣魚(一隻主動者和兩隻被動者)在實驗前一週不餵紙，再放置於 Y 字模型底部(圖三)，而 Y 字兩端其中一端放置一個仿蜘蛛以毛根製成之假蜘蛛的腳(避開嗅覺變

因)，另一端為對照組，在模型上方加上不透光的紙，只在兩個終點保留光線(避開視覺變因)，觀察並記錄三隻衣魚之行為與其抵達之時間。

#### (4)聽覺

將三隻衣魚(一隻主動者和兩隻被動者)在實驗前一週不餵紙，再放置於 Y 字模型底部((圖三)，而 Y 字兩端其中一端播放蜘蛛發出聲音之音樂檔(避開視覺及嗅覺等兩種變因)，另一端不放，觀察並記錄三隻衣魚之行為與其抵達之時間。

### **(四)衣魚的跟隨方式**

#### 1.觸角

將三隻衣魚放置於 Y 字模型底部(圖三)，觀察並利用攝影機錄下 3 隻衣魚的行為模式。

#### 2.聽覺

將一隻主動者和兩隻被動者放置於 Y 字模型底部(圖三)，在實驗裝置上方播放 80000Hz 的音頻(75dB)，並觀察 3 隻衣魚主動者和被動者的行為模式，利用攝影機錄下結果。

#### 3.嗅覺

將一隻主動者和兩隻被動者放置於 Y 字模型底部(圖三)，在實驗前於模型各地方滴橘子油(干擾衣魚嗅覺)，並觀察 3 隻衣魚主動者和被動者的行為模式，利用攝影機錄下結果。

#### 4.視覺

將一隻主動者和兩隻被動者放置於 Y 字模型底部(圖三)，在模型上方不透光的紙，只在兩個終點保留光線，並觀察 3 隻衣魚主動者和被動者的行為模式。

### 三、三類衣魚之行為模式對其生存意義之探討

#### **(一)天敵與食物之行為差異**

#### 1.天敵

將 10 隻衣魚(主動者:被動者:不動者=2:7:1)放進 Y 字模型(圖三)底部，在 Y 字兩端其中一端放蜘蛛，另一端不放，並觀察其行為與抵達所花的時間和距離。

#### 2.食物

將 10 隻衣魚(主動者:被動者:不動者=2:7:1)，先在實驗前不餵食物一周<sup>(註 3)</sup>，再放進 Y 字模型(圖三)底部，Y 字兩端其中一端放食物-白紙，另一端不放，並觀察其行為與抵達所花的時間和距離。

註 3: 避免衣魚因不餓，而停在 Y 字模型的底部。之前研究報告顯示衣魚要飢餓至 11 天，才會有打鬥的現象(張等人，民國 82 年)。

### 3.天敵及食物

將 10 隻衣魚(主動者:被動者:不動者=2:7:1)，先在實驗前不餵食物一周，再放進 Y 字模型(圖三)底部，在 Y 字兩端其中一端放蜘蛛，另一端放白紙，並觀察其行為與抵達所花的時間和距離。

## **(二)三種類別衣魚隻比較**

將捕捉到的 100 隻衣魚分四群依序放入圖二的塑膠實驗容器裝置中，依其行為模式將主動者、被動者和不動者分離，計算隻數並量測體長及記錄性別。

## **(三)只有一類的衣魚之行為**

### 1.主動者

將 5 隻主動者衣魚放進 Y 字模型(圖三)底部，在 Y 字兩端其中一端放白紙，並觀察其行為與抵達所花的時間和距離。

### 2.被動者

將 5 隻被動者衣魚放進 Y 字模型(圖三)底部，在 Y 字兩端其中一端放白紙，並觀察其行為與抵達所花的時間和距離。

### 3.不動者

將 5 隻不動者衣魚放進 Y 字模型(圖三)底部，在 Y 字兩端其中一端放白紙，並觀察其行為與抵達所花的時間和距離。

## **(四) 找尋最好的類別比例**

### 1.不同行為類別比例對衣魚覓食之影響

設計主動者、被動者和不動者不同比例(10:0:0、0:10:0、1:9:0、1:8:1、2:8:0、2:7:1、3:7:0、3:6:1、4:6:0、4:5:1)一組一組測試找到食物所花的時間和距離，再利用 ImageJ 計算移動距離和時間、Matlab 畫出衣魚移動路徑圖，找出何種比例是最佳的。

## (五)相同比例下群體數量對衣魚覓食之影響

設計主動者、被動者和不動者相同比例但不同群體大小(2:3:0、4:6:0、6:9:0、8:12:0)一組一組測試找到食物所花的時間和距離，再利用 ImageJ 計算移動距離和時間、Matlab 畫出衣魚移動路徑圖，比較群體大小是否會影響平均個體抵達所花的時間和距離。

## 五、比較傳統防治方式與超音波對衣魚的影響

### (一)傳統方式

將 10 隻衣魚(身長約 1 公分)放入 150ml 燒杯中，先靜置 30 分鐘，待衣魚情況穩定後，在包有錫箔紙端分別放置奈丸 0.01g、衣物香氛袋 0.01g、防蚊液(1 滴 0.3ml)、精油(1 滴 0.3ml)，24 小時後觀察衣魚的反應，並用攝影機錄影全程。

### (二)音波

#### 1.低頻

##### (1)短時間不同音波對衣魚行為之影響

將 10 隻衣魚(身長約 1 公分)放入實驗容器中(圖四)，先靜置 30 分鐘，待衣魚情況穩定後，在包有錫箔紙端播放 10 分鐘的音波(1、5、10、15、20Hz)，觀察衣魚的反應，並用攝影機錄影全程。

##### (2)長時間不同音波對衣魚行為之影響

將 10 隻衣魚(身長約 1 公分)放入實驗容器中(圖四)，先靜置 30 分鐘，待衣魚情況穩定後，在包有錫箔紙端播放 6、12、24 小時的音波(1、5、10、15、20Hz)，觀察衣魚的反應，並用一分鐘的定時照相機記錄直到實驗結束。

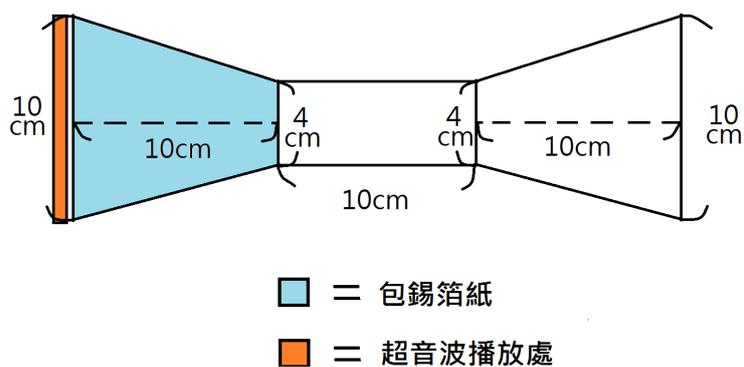
#### 2.高頻

##### (1)短時間不同音波對衣魚行為之影響

將 10 隻衣魚(身長約 1 公分)放入實驗容器中(圖四)，先靜置 30 分鐘，待衣魚情況穩定後，在包有錫箔紙端播放 10 分鐘的音波(25000、30000、40000、50000、60000、70000、80000、90000、100000Hz)，觀察衣魚的反應，並用攝影機錄影全程。

## (2)長時間不同音波對衣魚行為之影響

將 10 隻衣魚(身長約 1 公分)放入實驗容器中(圖四)，先靜置 30 分鐘，待衣魚情況穩定後，在包有錫箔紙端播放 6、12、24 小時的音波(25000、30000、40000、50000、60000、70000、80000、90000、100000Hz)，觀察衣魚的反應，並用一分鐘的定時照相機記錄直到實驗結束。

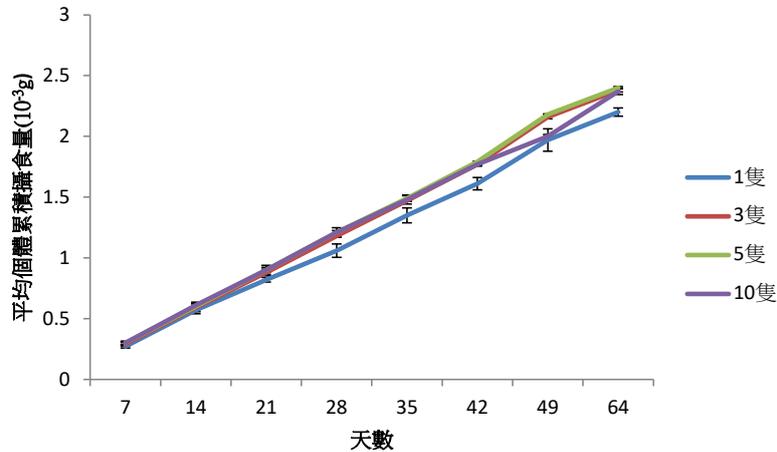


(圖四)衣魚防治測試裝置

## 伍、實驗結果

### 一、探討衣魚的食物種類

#### (一)比較個體和群體攝食量之差異



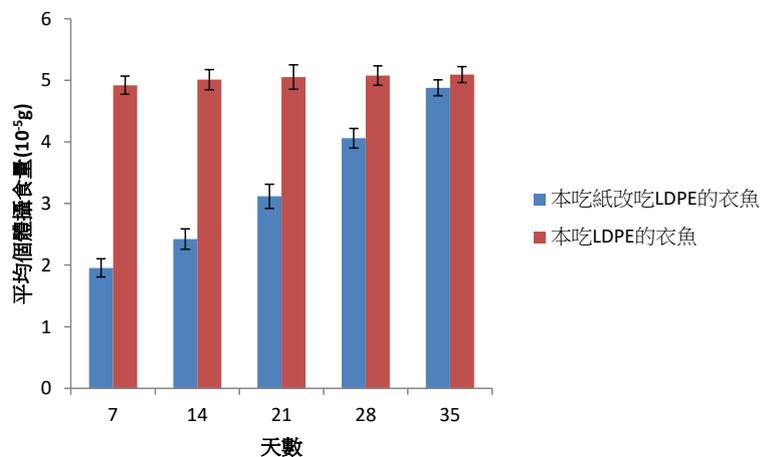
(圖五)個體與群體中之個體的食量比較

我們發現個體的攝食量低於 3、5、10 隻的平均攝食量，但差異量不明顯(圖五)。

#### (二)、衣魚食性適應實驗

本實驗要了解衣魚是否有攝食的習慣性，如習慣吃紙者，吃塑膠是否需要一段時間適應；反之亦然。

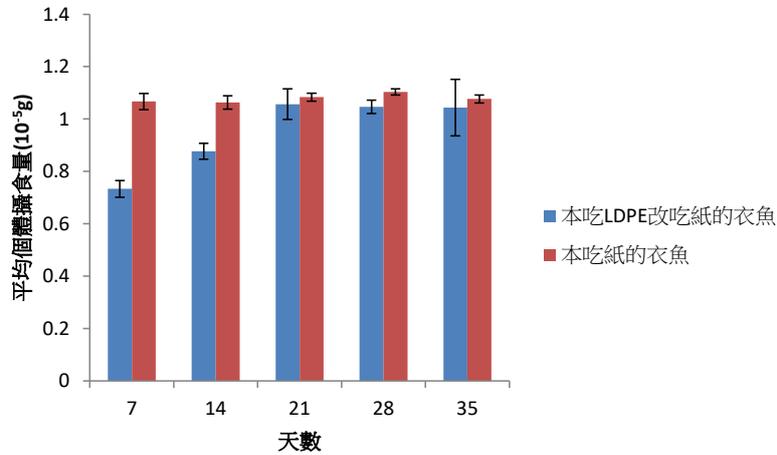
##### 1.原吃紙改吃塑膠和原吃塑膠繼續吃塑膠的兩種衣魚之比較



(圖六)衣魚原吃紙改吃塑膠之食量變化

實驗開始前五天原本吃紙的衣魚未有攝食情況，之後開始才有吃塑膠的現象，攝食量從一開始的  $1.9 \times 10^{-5} \text{g}$  到第五周才逐漸與本來就攝食塑膠衣魚組別相近(圖六)。

## 2.原吃塑膠後改吃紙和原吃紙繼續吃紙的兩種衣魚之比較

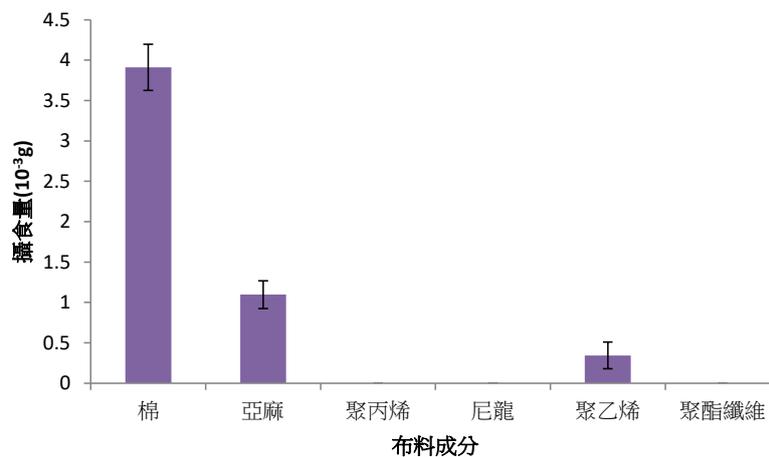


(圖七)衣魚原吃塑膠改吃紙之食量變化

在第三周前原吃塑膠的衣魚攝食紙量較少，直到第三周開始兩組的攝食量才大致相同(圖七)。

### (三)衣魚攝食塑膠的種類

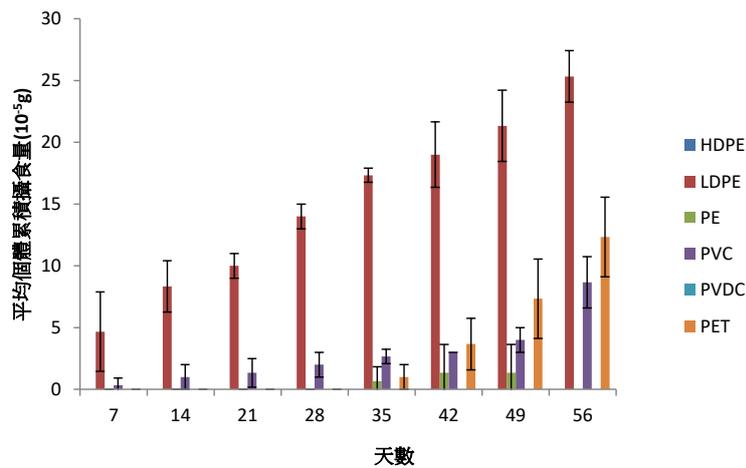
#### 1.衣物材質種類



(圖八)衣物攝食衣物材質種類

實驗結果發現衣魚會攝食天然麻和棉，但人造纖維中僅攝食 PE。

## 2. 塑膠產品種類

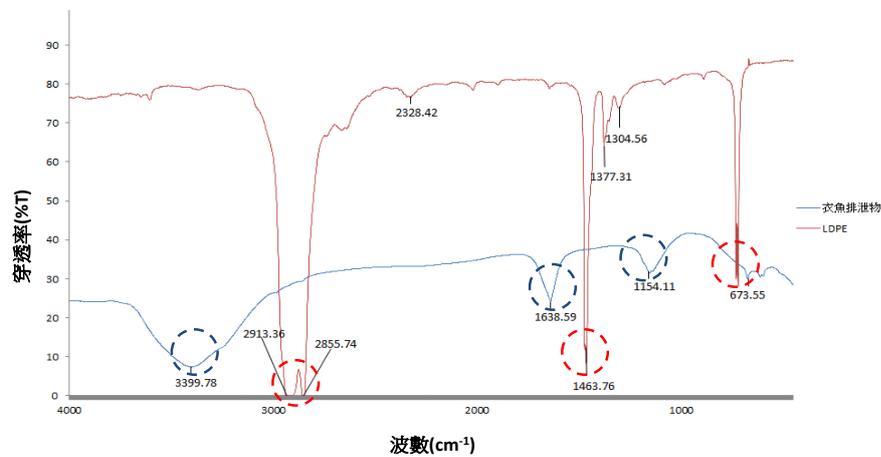


(圖九)衣魚攝食各種塑膠產品之攝食量

衣魚一開始就攝食 LDPE 和 PVC，而 PET 則是在第五週才開始被衣魚攝食且攝食量不多，其他食物種類衣魚皆不攝食(圖九)。

### (四)衣魚糞便是否含有 LDPE、PET 和 PVC

#### 1. 衣魚糞便是否含有 LDPE

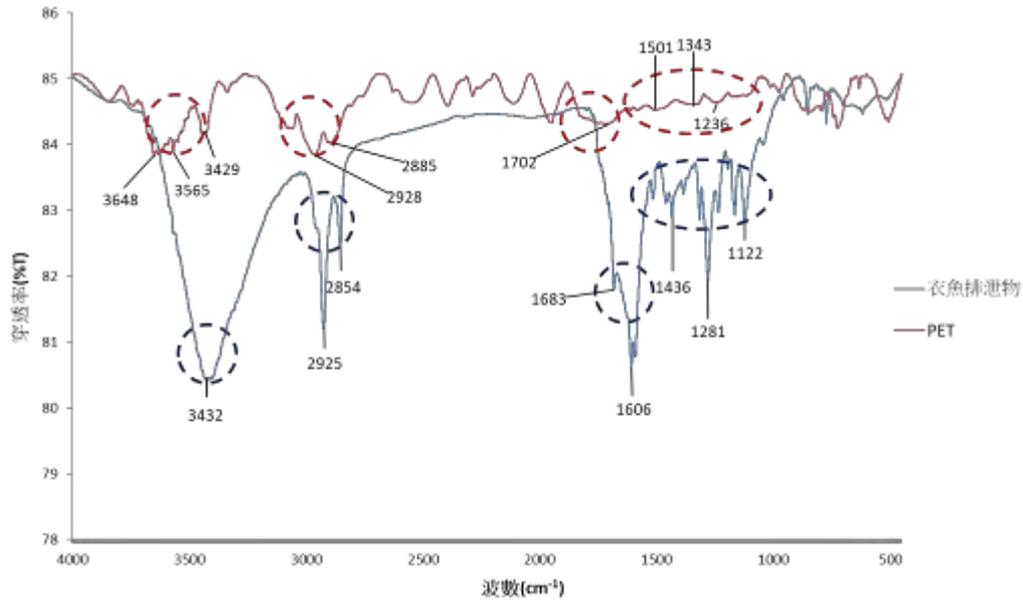


(圖十)衣魚攝食塑膠 LDPE 產生排泄物之檢測

檢測結果發現衣魚排泄物分子結構鍵結情況與 LDPE 不同，代表衣魚攝食 LDPE 後，會分解 LDPE(圖十)。

## 2. 衣魚糞便是否含有 PET

實驗過程中發現衣魚只有攝食少量的 PET，有些衣魚甚至死亡。



(圖十一)衣魚攝食塑膠 PET 產生排泄物之檢測

## 3. 衣魚糞便是否含有 PVC

衣魚並未攝食 PVC 粉末，甚至將 PVC 製成薄膜，衣魚仍然沒有攝食。

## 二、探討衣魚行為特徵與溝通方式

### (一)不同生活空間對不同數量的衣魚行為特徵之影響

表一：不同數量對不同生活空間衣魚抵達目的時間與距離

隻數	行為特徵	平均每隻衣魚		備註
		平均所有衣魚抵達時間(秒)	抵達目的走的距離(cm)	
1	有四組衣魚個體停滯於原放置處約 3~5 分鐘，才開始從開始處的容器邊緣找出口，直到一至兩分鐘後，牠們才會往四周尋找。另外一組的衣魚會立即嘗試尋找安全環境。	136	51	單獨一隻衣魚，一開始反應皆為固定不動一段時間，但有個體差異，有的 30 秒以內，有的要 3~5 分鐘。衣魚速度為 25cm/sec。
2	我們發現有 20%會用觸角溝通，一起行動，另外的 80%會不溝通就各自分別行動。	145	49	
3	我們發現衣魚開始有互相用觸角溝通尋找出路，也發現衣魚有帶頭的個體存在	161	44	我們稱這些帶頭的為主動者，若主動者和其他衣魚溝通而隨之移動者，我們稱被動者。
5	實驗中我們發現主動者找到正確的路時，會回去找一般衣魚溝通。	198	40	
10	十隻衣魚中有一、兩隻不管主動者或被動者接觸，皆不會移動。	207	34	我們發現衣魚中有不動者的存在，故時間計算不納入計算。

5 和 10 隻的組別中，發現衣魚可分三種行為模式，主動者、被動者和不動者，如裡面有主動者，主動者到新環境中，會立即尋找安全(黑暗)或有食物的環境，並回到放置位置用觸角「告知」被動者，使之跟隨前往。主動者與被動者也會接觸不動者，但不動者會停留原地。群體數目愈多，平均個體抵達時間與所花距離愈少。

## (二)相同生活空間對不同數量的衣魚行為特徵之影響

表二：不同數量對同一生活空間之衣魚抵達目的時間與距離

隻數	平均所有衣魚抵達時間(秒)	平均每隻衣魚抵達目的走的距離(cm)
2	19	31
3	37	42
5	109	29
10	141	25

我們發現若衣魚之前生存在同一環境中，到新環境中彼此觸角碰觸次數較少，因此「溝通」時間較少，且主動者能更快速的帶領其他衣魚，使平均個體抵達時間和移動距離都會減少。

## (三)、衣魚的感官

表三：衣魚不同感覺器官在覓食與避敵之表現

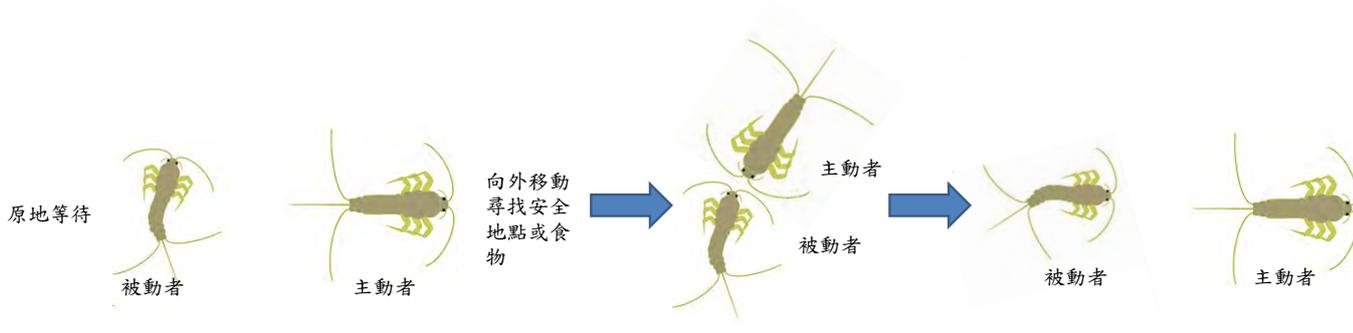
感官 種類	平均	平均	主動	主動	被動	被動	備註	
	抵達 時間 (秒)	抵達 距離 (cm)	者抵 達時 間 (秒)	者移 動距 離 (cm)	者抵 達時 間 (秒)	者移 動距 離 (cm)		
覓食	嗅覺	142.7	24.7	30.3	32.7	142.7	20.7	三組實驗的主動者都能在實驗剛進行時(約 1 分鐘之內)，能馬上判斷出正確的路，並帶領其他衣魚向前。
	視覺	162.3	38.3	68	72.3	162.3	21.3	主動者一開始會先單獨隨機選擇一條路走，若選擇錯誤會再走另一條路，發現是安全且有食物就會回頭通知被動者，並一同前往。
避險	在嗅覺、聽覺實驗中，我們能明顯地發現衣魚只會在入口處徘徊，不會前進；在視覺和觸覺實驗中，衣魚只會到處遊走。							

我們發現衣魚主要利用觸角和嗅覺來溝通，在覓食的實驗中，若衣魚沒有聞到衛生紙的味道，主動者就必須花更多時間和移動距離來尋找食物(表三)，但被動者所花的時間並無受影響，若主動者嗅不到食物的味道，就有可能需要花兩次才發現正確的路，且主動者第一次走錯並不會馬上帶領其他衣魚走另一條路，而是確認另一條路有什麼才會回去用觸角通知其他衣魚，並帶領牠們一同移動。

#### (四)衣魚的跟隨方式

##### 1.觸角

衣魚在溝通時，都輕輕地用頭前的兩根觸角碰觸彼此的觸角。



(圖十二)主動者利用觸角與被動者溝通

##### 2.聽覺

被動者在跟隨時若突然播放衣魚聽覺範圍之音波，他們會因被音波干擾而停在半路上，但是一段時間後他們會慢慢恢復並向前。而如果是一開始就播放，他們也是會停在原地，且一段時間後恢復動作。因此除非特殊頻率音波持續播放，否則聽覺受刺激後並不影響對衣魚的跟隨。

##### 3.嗅覺

因橘子油氣味干擾，我們發現主動者要花更多時間來帶領其他被動者，只要兩種衣魚一離開到一定的距離，被動者就會不知道主動者的方向而停在原地(60%)或亂走(40%)。

##### 4.視覺

就算沒有光線被動者依舊有辦法跟著主動者抵達終點，因此視覺不是被動者在跟隨的主要方式。

### 三、三類衣魚之行為模式對其生存意義之探討

#### (一) 天敵與食物

##### 1.天敵

有些主動者不會想去冒險，因此所有的衣魚一起停滯於原地直到實驗結束，所以利用天敵來做三類衣魚行為模式的實驗較不適合，且蜘蛛比起衛生紙來亦不好控制。

##### 2.食物

我們發現用食物來做三類衣魚的行為模式的實驗效果最好，因為衣魚會為了找食物，由主動者帶領被動者移動。

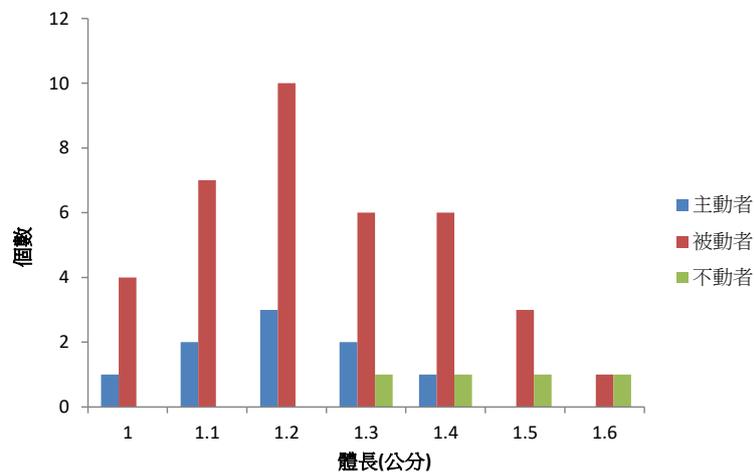
##### 3.天敵和食物

我們發現衣魚有覓食的現象，但由於此實驗會一次出現兩種操作變因，所以較不適合利用於本實驗之研究。

#### (二) 三種類別衣魚之比較

##### 1.不同體長衣魚扮演不同類別之比較

我們隨機找 50 隻衣魚，以行為模式來分類。



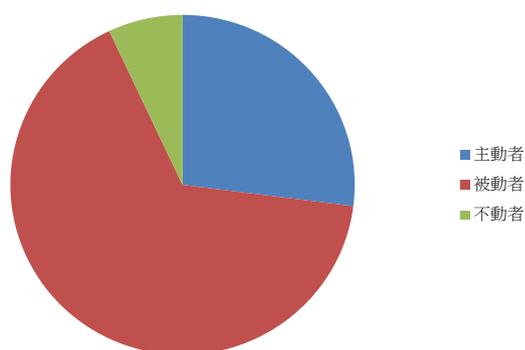
(圖十三)三種類別衣魚體長分布

表四：三種不同類別的衣魚其行為特徵之比較

	主動者	被動者	不動者
體長分布	1.0-1.4cm	1.0-1.6cm	1.2-1.6cm
平均一個月攝食量(紙)	0.00108g	0.0011g	0.00107g
覓食時平均移動速度(cm/s)	23	16	14
平均個體覓食正確率 <sup>(註 1)</sup>	100%	40%	0%
備註	進入實驗容器後，約 30 秒後皆會往兩路前進(100 隻主動者的比例，正確：84%，錯誤：16%)。但皆能於 3 分鐘之內，找到放置食物一端並停留		
	進入實驗容器後需要一段時間熟悉環境(約 3 至 5 分鐘)才會有衣魚開動，一開始會有兩、三隻衣魚會互相溝通，並一起行動，但到達目的地並不會回去找其他衣魚。		
	80%留在原地，持續十二小時；其餘 20%稍微移動一下。		

註 1：個體覓食正確率---若衣魚在 3 分鐘之內，在 Y 字模型中找到放置食物一端並停留，即為成功(實驗前一星期不餵食)。

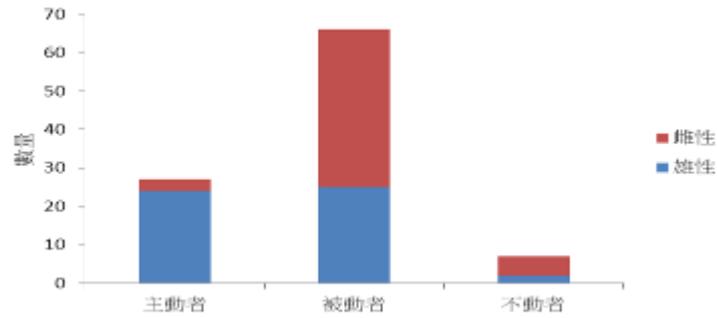
## 2.三種行為類別在群體的比例



(圖十四) 三種行為類別在群體的比例

被動者佔的比例最高；不動者比例最低。

## 3. 三種行為類別之衣魚的性別比例



(圖十五) 三種行為類別在群體的比例

本研究發現衣魚雄性:雌性=41:49；我們發現主動者♂:♀=10:2。

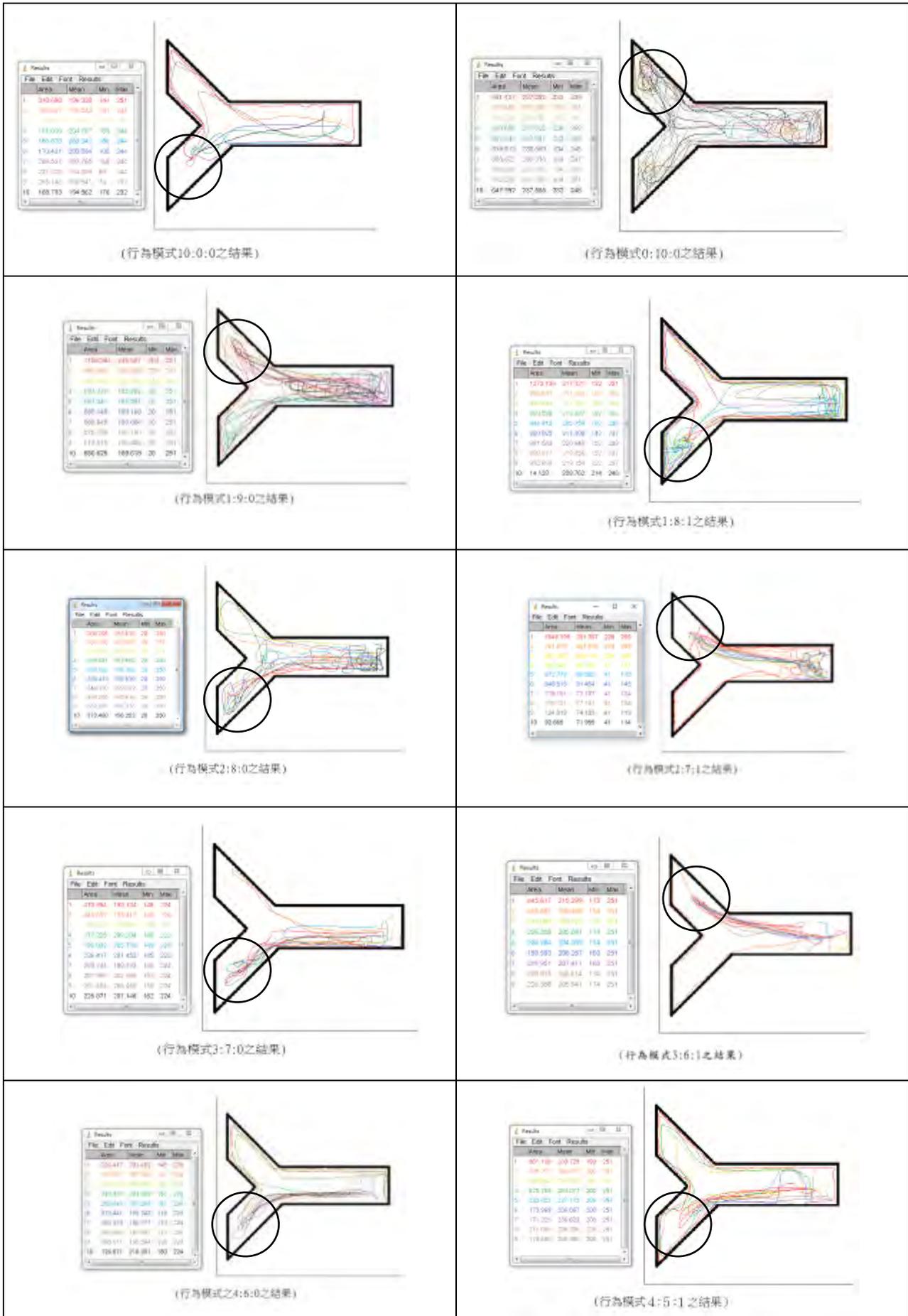
### (三) 找尋最好的群集比例

#### 1. 不同行為類別比例對衣魚覓食之影響

表五：不同類別衣魚比例抵達目的的時間與距離

項目	所花時間(s)	總計移動距離 (cm)	主動者抵達時間(s)	平均主動者移動距離 (cm)	被動者抵達時間(s)	平均被動者移動距離 (cm)	備註
主:被:不 <sup>註2</sup>							
10:0:0	221	218	22.1	21.8	0	0	第一名
0:10:0	1098	785	0	0	1098	78.5	
1:9:0	864	301	64	82	864	25.3	
1:8:1	854	291	62	84	854	23	
2:8:0	472	264	37.5	42	472	22.5	
2:7:1	451	249	32.5	41.5	451	23.7	
3:7:0	267	198	43.7	30.9	267	18.1	第三名
3:6:1	245	189	41.3	29.8	245	17.6	第二名
4:6:0	274	174	89.75	33.2	274	7.1	
4:5:1	271	176	56.5	32.7	271	7.1	

註2：主:被:不=主動者:被動者:不動者



(圖十六)衣魚覓食路徑

黑色圓圈 = 放置紙的位置

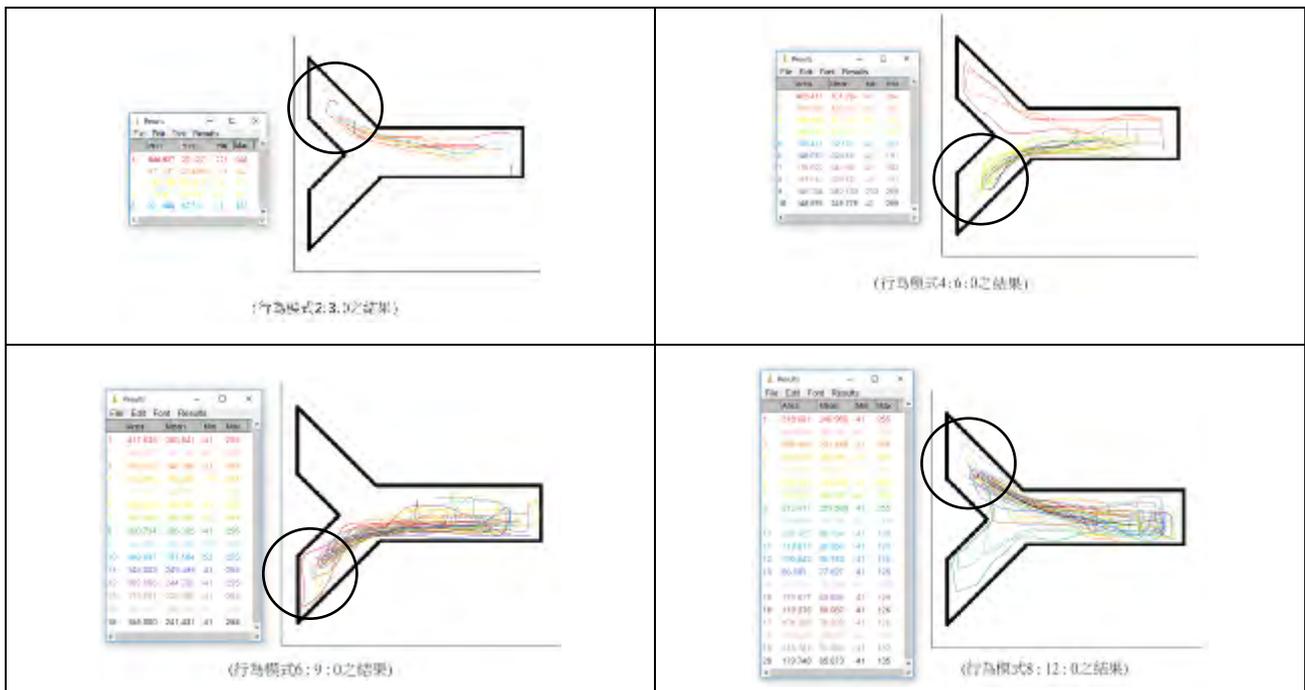
分析原因：

1. 一個群體要以最快的時間來覓食，首先不能有不動者，因為不論主動者如何帶領，不動者依舊不會動 (表五)。
2. 群體中如果皆為被動者，彼此觸角接觸時間變長，故所花時間最多(表五)。
3. 主動者和被動者的比例在 1:2 到 1:3 之間最好，因為主動者發現食物再回頭與被動者溝通並帶領他們時，一次一隻只會帶 2 到 3 隻 (表五)(圖十六)。

**(五) 相同比例下群體數量對衣魚覓食之影響**

表六：相同比例下群體大小對衣魚覓食的結果

項目	平均所花時間(s)	平均總計移動距離(cm)	主動者抵達時間(s)	平均主動者移動距離(cm)	被動者抵達時間(s)	平均被動者移動距離(cm)	備註
2 : 3 : 0	47.8	24.6	90.3	33	239	19	
4 : 6 : 0	42.6	21.4	123.3	29.3	426	16.1	第三名
6 : 9 : 0	40.5	20.2	140	27.3	607	15.4	第二名
8 : 12 : 0	40.1	19.8	145	27	800	15	第一名



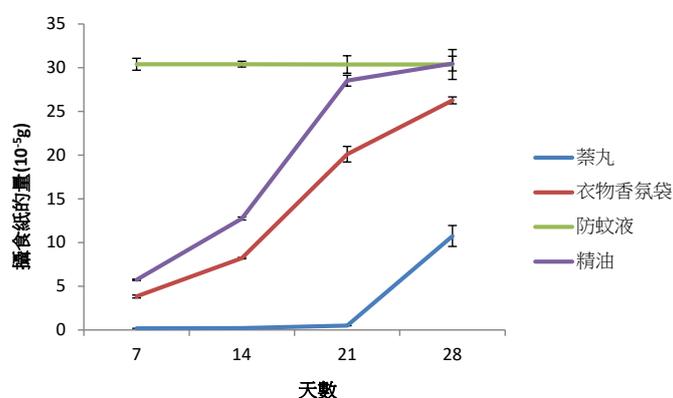
(圖十七) 相同比例下群體放大對衣魚覓食之影響

## 五、音波對衣魚的影響

### (一)傳統方式

表七：家中常用的傳統方式和衣魚攝食量之比較

量測項目	萘丸	衣物香氛袋	防蚊液	精油
實驗前一周攝食紙的量( $10^{-5}$ g)	30.2144	31.6542	28.9451	29.4172
實驗結束後衣魚立即死亡數	0	0	0	0
第一周攝食紙的量( $10^{-5}$ g)	0.1694	3.6851	31.1627	5.6298
第二周攝食紙的量( $10^{-5}$ g)	0.1862	8.1642	30.2162	12.6821
第三周攝食紙的量( $10^{-5}$ g)	0.4985	20.3215	29.2861	28.3814
第四周攝食紙的量( $10^{-5}$ g)	10.2354	26.3259	28.3658	30.914
後續衣魚死亡數	0	0	0	0
備註	實驗一開始衣魚不動			



(圖十八)傳統方式對衣魚攝食量之影響

我們發現只有萘丸對衣魚的影響最強，但衣魚在實驗結束後第四周食量就快速恢復，因此無法達到我們要的目標，其餘方式效果更是不佳，其中防蚊液，衣魚完全不受影響(圖十八)。

### (二)音波

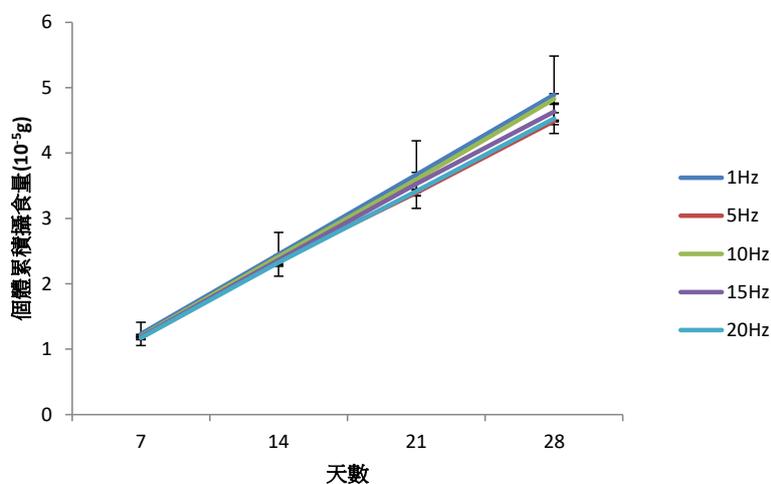
#### 1.低頻

##### (1)短時間不同音波對衣魚行為之影響

1、5、10、15、20Hz：不論是實驗中或是實驗後衣魚皆無影響。

## (2)長時間不同音波對衣魚行為之影響

1、5、10、15、20Hz：不論是實驗中或是實驗後衣魚皆無影響(圖十九)，衣魚原本的食量約為  $0.00107571\text{g}$ 。



(圖十九) 長時間低頻音波對衣魚攝食量之影響

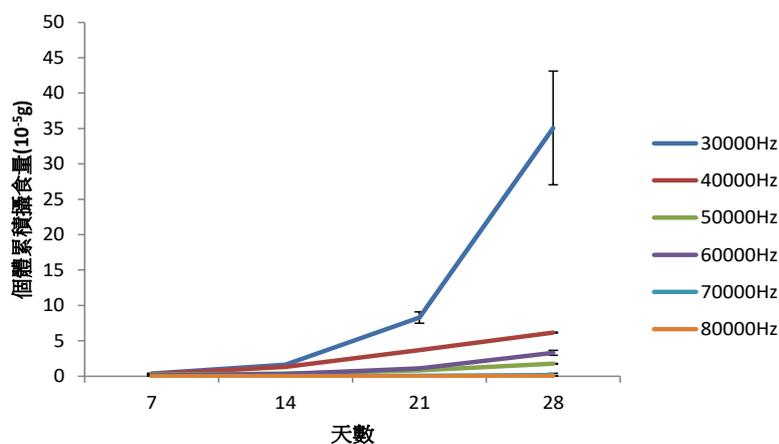
## 2.高頻

### (1)短時間不同音波對衣魚行為之影響

30000、40000、50000、60000Hz：衣魚在實驗開始後的短時間內都沒什麼移動(約 30-75 分鐘)，過了一段時間才漸漸恢復活動力，但實驗後食量沒有下降的情形。

### (2)長時間不同音波對衣魚行為之影響

30000、40000、50000、60000、70000、80000Hz：衣魚在實驗開始後的短時間內都沒甚麼移動(約 30-75 分鐘)，過了一段時間才漸漸恢復，但實驗後衣魚食量有下降的情形(圖二十)。



(圖二十) 長時間高頻音波對衣魚攝食量之影響

我們發現音波愈高、播放時間愈久實驗完一個月後，衣魚的死亡數量愈高，80000Hz 的音波持續播放 24 小時，在實驗結束後衣魚死亡率為 30%，一個月後死亡率高達 100%。因此只要播放 80000Hz 的超音波持續播放 24 小時就能完全防治衣魚。

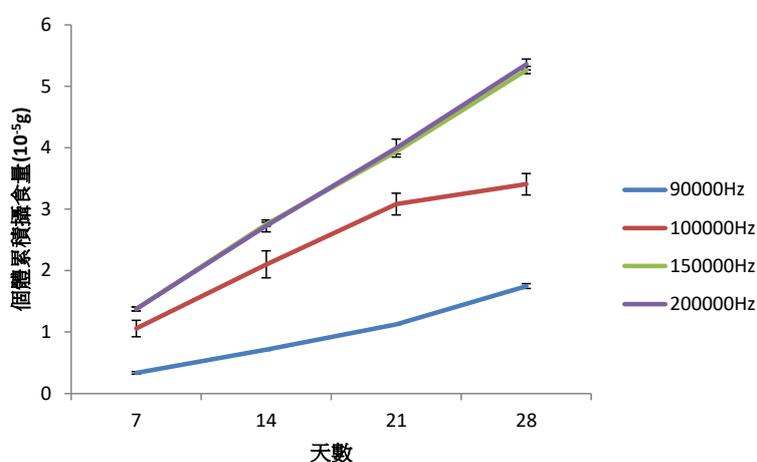
表八：不同聲音頻率在撥放不同時間下，衣魚死亡情形

時間(小時)	頻率(Hz)	30000	40000	50000	60000	70000	80000
6		0/10 <sup>註3</sup>	0/10	0/10	0/10	0/10	5/10
12		0/10	0/10	0/10	0/10	3/10	7/10
24		0/10	0/10	0/10	1/10	3/10	10/10

註 3:上方數字為衣魚死亡隻數，下方數字為衣魚實驗隻數

(3)90000、100000、150000、200000Hz

我們發現 90000、100000Hz 的音波，食量有明顯較低的情形如(圖十五)，是因為有些小衣魚實驗後就死亡，所以平均食量跟著拉低，但對其他衣魚皆不受影響(與實驗前的食量大致相同)。



(圖二十一) 90000、100000、150000、200000Hz 對衣魚攝食量之影響

## 陸、討論

### 一、探討衣魚攝食的塑膠種類

實驗發現衣魚在個體和群體中攝食量並無顯著差異。若衣魚的本身生存環境只有紙能吃時，之後再餵食塑膠，就必須給牠們一段馴化的時間(約一個月不等)，牠們才會恢復與原來攝食塑膠衣魚相同攝食量，且衣魚攝食習慣適應紙比適應 LDPE 所需時間較短，可能是因衣魚最喜歡吃的是白紙 (張等人，民國 82 年)，且發現衣魚腸道中內具有可分解纖維素之微生物 (曾宇霈和韓喬融，2013)。

一開始進行餵食 LDPE 原料(避免其他塑膠添加物影響)給衣魚吃時，因無適當工具，無法將原料壓制很薄，且衣魚口器為咀嚼式，所以攝食量非常少。之後使用高溫熱壓薄片機製成塑膠膜，衣魚才能成功順利攝食。

衣魚糞便是否含有 LDPE？我們以傅立葉紅外線光譜儀(FTIR)分析，發現 LDPE 確實有被分解(圖十)。衣魚攝食 PET 後檢驗其糞便，發現波型與 PET 不相同(圖十一)，但有可能是衣魚七天前消化道的殘留物。而且在實驗過程中，衣魚持續死亡，實驗結束時，死亡率已高達 70%，因此我們認為衣魚應該無法消化 PET。

### 二、衣魚與其他攝食塑膠成分的昆蟲之比較

除了衣魚外，有研究資料提到蠟蟲也能消化塑膠(Yang et al. 2014)，黃粉蟲(麵包蟲)可以分解保麗龍(PS) (張等人，2001；曾，2009)，我們將這些生物資料整理如表九。

表九：衣魚與其他攝食塑膠成分的昆蟲之比較

生物種類	衣魚	衣蛾的幼蟲	蠟蟲的幼蟲	黃粉蟲的幼蟲
項目				
照片				
食物	紙、棉、麻、絲 塑膠(LDPE、	羊毛、毛髮、毛 皮、羽毛、絲	蜂蜜、水果、葉 片、塑膠(PE)	麵包、葉、麵粉、 玉米粉、水果、

	PET、PVC)		保麗龍(PS)	
成蟲體長	0.9-1.5cm	0.8-1.3cm	1.5-2.5cm	2.5-3cm
生命週期	約 2-8 年	約 1 年	約 1 年	約 4 個月

衣魚會攝食塑膠 LDPE，一隻衣魚一周攝食  $5 \times 10^5$ g。我們查詢的資料顯示蠟蟲一周吃 PE 的量約是衣魚攝食 LDPE 的 256.7 倍重，但衣魚從孵化開始就能持續攝食 2 至 8 年，而蠟蟲只能在幼蟲時期吃塑膠，在一年的生命中只能吃兩到三周的時間。PE 在世界塑料總產量中約占 20%，居第一位，在生活中大部分的塑膠袋和塑膠膜也是用 LDPE 做成的。如能應用衣魚腸道中的微生物分解環境中的塑膠廢棄物，可減輕環境中塑膠污染的壓力。之前也有研究指出，麵包蟲能攝食保麗龍(PS)而生長，是因麵包蟲腸道裡有共生菌，且能分解保麗龍(PS)(張等人，2001；曾，2009)，所以我們推測衣魚會攝食 LDPE，也是因為腸子裡有共生菌的存在。

### 三、研究衣魚感官與溝通方式

動物有各種溝通方式，包含視覺、聽覺、觸覺及化學訊號。視覺溝通對許多動物來說非常重要，因為在短時間可以傳遞大量訊息。但對於衣魚來說，視覺不是衣魚覓食與避敵或是被動者在跟隨的主要方式，推測與牠們生活於黑暗環境與怕光的習性相關。衣魚可偵測天敵蜘蛛發出的聲音，而選擇離天敵最遠的位置移動。但衣魚聽覺受刺激後並不影響對被動者衣魚的跟隨，除非是發出高頻(40000-80000Hz)的超音波，其餘只會在初期讓主動者停滯一段時間，之後又開始活動。昆蟲觸角主要是負責觸覺功能，但也兼有嗅覺及聽覺(任，1995)。衣魚在溝通時，都需要輕輕地用頭前的兩根觸角碰觸對方的觸角，尤其是被動者在跟隨主動者移動前，主動者一定要碰觸被動者的觸角，被動者才會開始行動。衣魚主要利用嗅覺尋找食物與避敵，如嗅覺受到干擾，主動者要花更多時間尋找正確的路；若兩隻衣魚離開到一定的距離，被動者就會不知道主動者的方向而停在原地(60%)或亂走(40%)。

### 四、衣魚之行為模式

一般在家中發現衣魚的隻數並不多，大多認為牠們活動方式屬於獨自行動。可是尋找衣魚的過程中，我們發現一整群衣魚可一同生活。有報告指出凡是昆蟲皆具有不同程度的社會生活，根據衣魚體長量測結果(圖十三)，其成蟲世代應有重疊的現象。在實驗中我們亦發現衣魚可分三種行為模式，主動者、被動者和不動者，如裡面有主動者，主動者到新環境中，會

立即尋找安全(黑暗)或有食物的環境，並回到原放置處用觸角「告知」被動者，使之跟隨前往。前人研究發現衣魚孵化的若蟲雌雄比例約為 1:1 (Lindsay, 1940)，本研究則是成蟲雌性比例較高，雌:雄=1:0.84。研究過程中，我們也發現一個有趣現象，即主動者中雄性比例明顯高於雌性，雌雄比等於 1:8(圖十五)。

我們發現在自然界有許多群體活動的生物，可能是為了覓食，亦可能是為了防衛，例如螞蟻成群覓食及築巢、鳥群和魚群的移動方式，群體力量可使該生物獲得最大利益。本研究亦發現衣魚群體與個體相較，平均抵達時間與所花距離較少。這種情況在魚群研究也獲得驗證(Wilson, 1975)，魚能在與其他魚尋找食物的過程中，得到一些對其有利的發現和經驗，這發現及經驗對魚群爭奪食物有著決定性的好處。

我們發現衣魚群體如皆為主動者，因獨自即可判斷正確方向，且不須回頭告知被動者、加上移動速度較其他兩類快，是最快抵達目的(表六)，但令我們意外的是主動者在平時的食量與其他兩類衣魚卻沒有明顯的差異。我們發現不動者的體型皆較大，但行動力和移動速度都較差，且實驗過程中死亡情況亦較高，推測此類別的衣魚年齡較大。再來我們也發現到最好的群集比例，除了群體皆為主動者外，第二、三名分別是 3:6:1 和 3:7:0，接近我們捕抓到之衣魚比例(29:68:3) (圖十二)。在群體大小實驗中，我們思考到底要設計到多大的群體？我們曾在一個 LDPE 塑膠袋中發現 30-40 隻衣魚，根據我們的實驗裝置空間及實驗步驟，決定以 20 隻衣魚為最高上限。結果發現在相同比例下，衣魚群體數量愈多，抵達目的地與所花時間最短(表六、圖十七)。我們推測可能是主動者回去找被動者所需時間較短及距離較少所致。

再比較衣魚與其他生物有不同的領導方式，大肚魚在群體中有領導者，是用視覺的方式帶領，其他大肚魚為「跟著同伴走」(郭，2013)。而衣魚主要靠觸覺和嗅覺，只有主動者會主動尋找食物與安全地點，被動者需要主動者以觸角碰觸，才會跟隨。而且主動者與群體其他個體最合適的比例亦有差異，大肚魚是 2:8 和 3:7，衣魚則是 3:7 最佳。

## 五、超音波和傳統驅蟲方式對衣魚之影響

之前有研究指出樟腦丸會使衣魚失去活動力(陳等人，民國 65)，市面上賣的樟腦丸很多使用萘，因此又稱作萘丸，患有 G6PD 缺乏症（蠶豆症）的人不可接觸萘製成的樟腦丸，否則會誘發溶血反應。對萘的急性暴露會造成人類、大鼠、兔子、小鼠產生白內障；慢性暴露在

其蒸汽中還可造成視網膜出血。萘丸成分現大多被對二氯苯取代，專家指出對二氯苯為致癌物質。有學者研究利用植物精油可以有效驅離或殺死衣魚。我們卻發現低濃度精油只有驅離功能，而且如要殺死衣魚濃度需要非常高(0.16 mg/cm<sup>3</sup>)，不合乎實際情況與經濟價值。

本研究利用 80000Hz 的音波，持續播放 24 小時(80dB)，可使幼小衣魚死亡，使成年衣魚攝食量下降、死亡，且 80000Hz 的音頻對人、狗、貓、鳥等寵物皆無影響，唯獨部分齧齒類動物有影響，又無汙染，因此比傳統方式的優點多。

表十：比較傳統與超音波防治衣魚方式

防治方式	超音波防治	傳統方式防治
優缺點		
費用	便宜	貴
持續性	24 小時即有效果	需持續，且濃度逐漸下降
方便性	利用播放器播放	購買
效果	死亡	躲避
速度	快	慢
防治品殘留物	無	有
對人體危害	無	樟腦丸有致癌風險；萘丸對身體健康亦有不良影響
死亡率	高	低

## 柒、結論

衣魚會攝食書櫃的書籍、文件和衣櫃中的衣物，以化學的方法防治衣魚，不僅氣味不佳且可能危害人體健康，我們利用超音波 80000Hz 持續播放 24 小時來防治衣魚，既不會危害人體又可以消滅衣魚。實驗過程中我們發現衣魚在覓食或尋找安全地點之行為模式可分成三大類，主動者、被動者和不動者，群體以 3:7:0 為最佳比例，可以讓群體最快速抵達目的。撥放超音波時主動者會找尋其他出路，並在確認出路後回來利用觸角碰觸被動者，一同逃避危險，因此這種防治方式需要在封閉的環境下效果較佳。衣魚不但有群聚的現象，而且會攝食並分

解 LDPE，如其腸道中具有可分解塑膠之微生物，可應用於各種塑化物，達到垃圾減量，對環保亦有幫助。

## 捌、參考文獻

任淑先，1995。無脊椎動物學。淑馨出版社，台北市。

曾依晴。從麵包蟲體內分離出可分解保麗龍之菌種。2009 年台灣國際科學展覽會。微生物學科大會獎第三名。

曾宇霈、韓喬融。衣魚體內可分解纖維素之微生物研究與應用。第五十五屆中小學科學展覽高中組生物科第三名。

郭東穎。生物的群聚行為與生存優勢-大肚魚的群體決策行為研究及電腦模擬。第五十四屆中小學科學展覽國中組生物科第一名。

張硯拓、林哲宇、陶景虹、蔡豐任。神秘 K 書客-衣魚。第三十四屆中小學科學展覽會高小組生物科第二名。

張雅晴、陳佳妤、田永筠、邱麟雅、江佳儒、白韻涵。保麗龍的剋星-麵包蟲。第四十二屆中小學科展。

陳光明等十六人。衣魚。第十七屆中小學科學展覽會國小組生物第一名。

DeVries, Z. C. and Appel, A. G. (2014). Effects of temperature on nutrient self-selection in the silverfish *Lepisma saccharina*. *Physiological Entomology*, 39: 217–221.

Jun Yang, Yu Yang, Wei-Min Wu, Jiao Zhao, and Lei Jiang (2014). Evidence of Polyethylene Biodegradation by Bacterial Strains from the Guts of Plastic-Eating Waxworms *Environ. Sci. Technol.*, 2014, 48 (23), pp 13776–13784

Lindsay E. (1940). The biology of the silverfish, *Ctenolepisma longicaudata* Esch. with particular reference to its feeding habits. *Proc. R. Soc. Vic. (N.S.)*, 52: 35–83.

Wilson, E. O. (1975). “Sociobiology: the new synthesis,” *Belknap Press*, Cambridge, MA.

## 未來展望

1. 希望能繼續研究溫度、濕度對衣魚攝食 LDPE 的影響。
2. 想進一步探討衣魚腸道內的微生物種類。

## 【評語】 030305

1. 研究方法有系統地收集數據，妥善引用參考資料，適切地討論與比較本實驗結果與前人研究結論的相同或差異處。
2. 此作品之研究焦點有些模糊，要探討衣魚攝食塑膠的種類，又要探討防治方法，建議聚焦一個方向，進行深入的研究。
3. 所採用的調查方法大致合理可行。於進行資料分析時，建議採用統計測試以評估資料是否有顯著差異，例如曲線間或名次間是否有差異。
4. 對雌雄的分辨及雌雄交尾行為沒有觀察，可能主動者及被動者的畫分，可能是雌雄交尾行為的不同所致。還有衣魚是否有群聚效應，應該再確認。
5. 實驗裝置容器只有示意圖，若能有實圖會更好。
6. 排泄物原本就會含有許多物質，本來就會跟 LDPE 不同，如何能判定是因為被分解而導致不同？p.15 圖表有點亂，似乎沒有清楚表達描述結果。

## 摘要

一般民眾利用化學性的方式驅離衣魚，但這些方法可能造成環境氣味不佳及危害人體健康，甚至可能致癌，本研究發現利用 80000Hz 的超音波播放 24 小時可完全消滅衣魚。研究過程中亦發現衣魚的行為模式可分成三類：主動者、被動者、不動者。將衣魚放入新環境，主動者會立即探索新地點，找到有食物和黑暗的環境，並將訊息傳遞給被動者，使被動者跟隨，但不動者接受訊息後卻完全不動。因此超音波法對於不動者無環境限制，而應用在主動者和被動者，則須在封閉的環境下，例如衣櫥、有門板之書櫃。我們亦發現衣魚會攝食低密度聚乙烯(LDPE)，利用傅立葉紅外線光譜儀(FTIR)分析排泄物，發現 LDPE 確實被分解，因此可應用此種生物特性減輕環境中塑膠污染的壓力。

## 壹、研究動機

在整理家中一箱箱舊物時，發現一個塑膠袋中有成群的生物跑來跑去，以塑膠袋和標籤紙上的塑膠膜為食，回家查詢資料後，才知道原來這是衣魚。因為平時只有看到一、兩隻衣魚，很少看到一整群；而且一般觀念衣魚是書蟲、衣蟲，但衣魚居然會吃塑膠袋，引起我們研究的好奇心。因此我們利用自然七年級上學期 1-3 的探究方法進行實驗設計，從 5-4 動物行為的課程內容中了解到動物有不同溝通方式，一整群的衣魚是否也有溝通的情況發生。衣魚因為會吃珍貴的書籍和衣物，一般被視為害蟲的一種，過去的防治方式，大多為化學性，可能伴隨著危害人體，有無其他方式可以消滅衣魚呢？希望藉由科學方法，解答衣魚不為人知的一面。

## 貳、研究目的

- 一、探討衣魚行為特徵與溝通方式
- 二、三種行為模式之衣魚對其生存意義之探討
- 三、了解衣魚會攝食的塑膠種類
- 四、比較傳統防治方式與超音波對衣魚的影響

## 參、研究器材

### 一、實驗生物:衣魚(*Lepisma saccharina*)

在昆蟲綱中分類上屬於纓尾目；衣魚科；衣魚屬，在地球上已經出現約三億年。衣魚俗稱蠹魚、白魚、壁魚、書蟲或衣蟲，是一種靈巧、怕光、而且無翅的昆蟲，且身上有銀白色的鱗片，如果已成為成蟲，身上的鱗片就會掉光，身體呈黑色。

### 二、實驗設備

數位照相機(Canon IXUS 900Ti)、解剖顯微鏡、攝影機及腳架、ImageJ 軟體、Matlab 軟體、定時照相機、手機、喇叭、美工刀、飼養用玻璃瓶、電子秤、燒杯、塑膠盤、鋅槍、鋁箔紙、電磁爐、蜘蛛、毛根、棉、麻、聚丙烯(PP)、聚酯纖維(PET)、聚乙烯(PE)、尼龍、保鮮膜(聚對苯二甲酸乙二酯(PET))、塑膠袋(聚氯乙烯(PVC))、保麗龍(PS)、聚偏二氯乙烯(PVDC)、低密度聚乙烯(LDPE)、高密度聚乙烯(HDPE)、聚氯乙烯(PVC)、聚對苯二甲酸乙二酯(PET)、高溫熱壓薄片機、傅立葉紅外線光譜儀(FTIR)、茶丸、精油、防蚊液、衣物香芬袋

## 肆、研究步驟

### 一、衣魚的食性實驗

#### (一) 比較個體和群體攝食量之差異

衣魚隻數分別以 1、3、5 和 10 隻進行實驗，以白紙為食物來源。一週後量測每組每隻衣魚平均攝食量。

#### (二) 衣魚食性適應實驗

準備攝食白紙和 LDPE 與每組各二十隻的衣魚。把 LDPE 和白紙剪成  $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$  的正方形並放入四個燒杯中，再分成以下四個組別，再包上鋁箔紙，每周以 Image J 計算四組白紙或 LDPE 之攝食量。

- 1.衣魚原吃紙，後改吃塑膠
- 2.衣魚原吃塑膠，繼續吃塑膠
- 3.衣魚原吃塑膠，後改吃紙
- 4.衣魚原吃紙，繼續吃紙

#### (三) 探討衣魚的食物種類

準備紙、市面上塑膠產品塑膠袋(LDPE、HDPE、PVDC)、保鮮膜(PVC、PET)、衣物(天然種類-麻、棉，人造纖維-PE)、保麗龍(PS)，把他們各剪成  $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$  的正方形(除了衣物為  $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 、保麗龍為  $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$ )。把剪好的紙、衣物、塑膠及保麗龍放入燒杯，把衣魚放入燒杯，一個燒杯一隻，包上鋁箔紙，待一週後，觀察衣魚是否有攝食，並以 Image J 計算他們攝食面積並計算重量。

#### (四) 檢測衣魚排泄物有無塑膠成分

將 LDPE、HDPE、PET、PVC 原料利用高溫熱壓薄片機製成塑膠膜，供 50 隻衣魚攝食一週後，開始進行實驗。將塑膠膜剪成  $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$  的正方形，每周放入一片，持續供衣魚攝食 28 天。收集衣魚排泄物，以傅立葉紅外線光譜儀 (FTIR)偵測排泄物分子結構。

### 二、比較傳統防治方式與超音波對衣魚的影響

#### (一) 傳統方式

將 10 隻衣魚(身長約 1 公分)放入 150ml 燒杯中，先靜置 30 分鐘，待衣魚情況穩定後，在包有錫箔紙端分別放置茶丸 0.01g、衣物香氛袋 0.01g、防蚊液(1 滴 0.3ml)、精油(1 滴 0.3ml)，24 小時後觀察衣魚的反應，並用攝影機錄影全程。

#### (二) 音波

以每組 10 隻衣魚(成年一身長約 1 公分左右的)放入梯

形實驗容器中，先靜置 30 分鐘，待衣魚情況穩後，在包有錫箔紙端分別播放 10 分鐘、3 小時、6 小時、12 小時、24 小時的音波(1、5、10、15、20、25000、30000、40000、50000、60000、70000、80000、90000、100000、150000、200000Hz)，觀察衣魚的反應，並用攝影機全程錄影。

### 三、探討衣魚行為特徵

#### (一) 衣魚基本行為特徵

每組衣魚隻數分別為 1、2、3、5、10 隻，依組別將衣魚放入淺盤且終點黑暗、有紙之實驗容器，每次實驗換不同衣魚，觀察其行為特徵。

#### (二) 三種行為類別衣魚之比較

將捕捉到的 100 隻衣魚依行為模式分三類依序放入塑膠實驗容器裝置中，依其行為模式將主動者、被動者和不動者分離，計算隻數並量測體長及記錄性別。

#### (三) 天敵與食物之行為差異

將 10 隻接近捕抓比例之衣魚(主動者:被動者:不動者=2:7:1)放進 Y 字模型底部，第一組在 Y 字兩端其中一端放蜘蛛，另一端不放；第二組在 Y 字兩端其中一端放紙，另一端不放；第三組在 Y 字兩端其中一端放蜘蛛，另一端放紙，並觀察其行為與抵達所花的時間和距離。

#### (四) 只有一類的衣魚之行為

分組將 5 隻主動者、5 隻被動者、5 隻不動者衣魚(每組重複五次)放進 Y 字模型底部，在 Y 字兩端其中一端放白紙，並觀察其行為與抵達所花的時間和距離。

#### (五) 找尋最好的類別比例

設計主動者、被動者和不動者不同比例(10:0:0、0:10:0、1:9:0、1:8:1、2:8:0、2:7:1、3:7:0、3:6:1、4:6:0、4:5:1)一組組測試找到食物所花的時間和距離，並找出何種比例是最佳的。

#### (六) 2:3:0 群體放大對衣魚覓食之影響

設計主動者、被動者和不動者相同比例但不同群體大小(2:3:0、4:6:0、6:9:0、8:12:0)一組組測試找到食物所花的時間和距離，再利用 ImageJ 計算移動距離和時間、Matlab 畫出衣魚移動路徑圖，比較群體大小是否會影響平均個體抵達所花的時間和距離。

# 伍、研究架構

## 衣魚食性實驗

### 衣魚食性適應

### 衣魚的食物種類

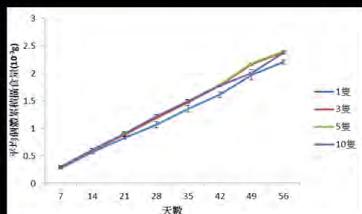
#### 比較個體和群體攝食量

#### 改攝食塑膠

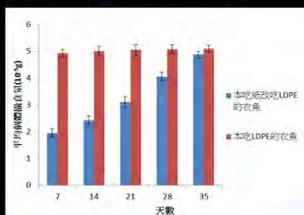
#### 改攝食紙

#### 塑膠

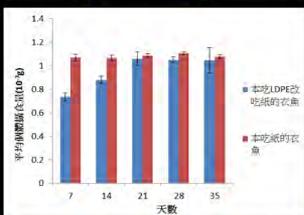
#### 衣物



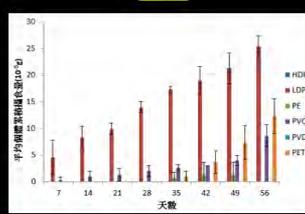
個體的攝食量雖然稍低於3、5、10隻的平均攝食量，但其差異並不明顯。



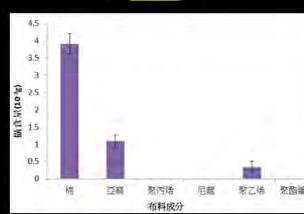
本來就攝食塑膠的那組攝食量一直維持，而本來攝食紙改攝食塑膠的那組攝食量從一開始的 $1.9 \times 10^{-3}g$ 到第五周才逐漸與本來就攝食塑膠衣魚組別相近。



本來就攝食紙的那組攝食量一直維持在 $1.09 \times 10^{-3}g$ 左右，而本來攝食塑膠的衣魚在第三周前攝食紙量較少，直到第三周開始所有衣魚的攝食量才大致相同。



衣魚一開始就攝食LDPE和PVC，而PET則是在第五周開始被攝食，但其他的塑膠種類則未攝食。



衣魚攝食衣物的種類有天然纖維的棉、亞麻、絲以及人造纖維的聚乙烯，攝食量以棉最多。

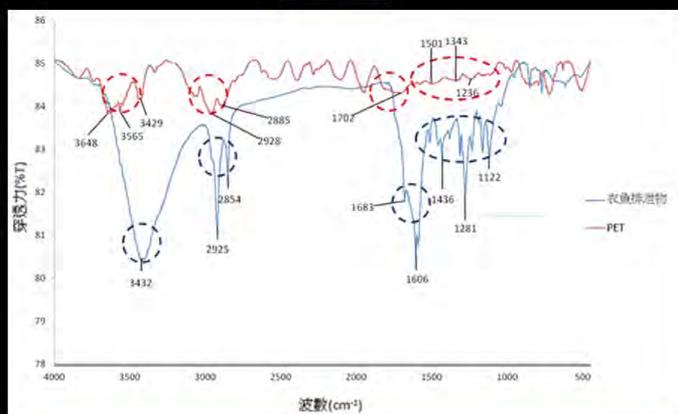
衣魚改攝食不同物質時，需要適應時間，不同種類適應時間也不同，改攝食塑膠所需的適應時間較改攝食紙的長。

衣魚會攝食紙、麻、棉與LDPE、PVC、PET的塑膠產

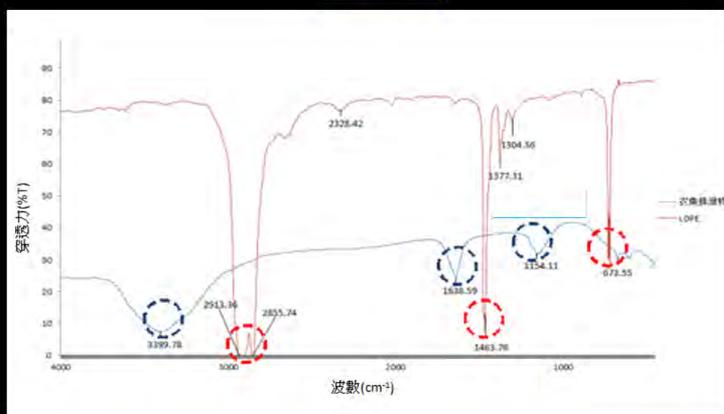
### 衣魚攝食PET和LDPE產生排泄物之檢測

#### PET

#### LDPE



比較PET和衣魚排泄物的檢測結果，可得知衣魚可以分解PET，但衣魚攝食PET的量非常少，且攝食後衣魚死亡率高達70%。



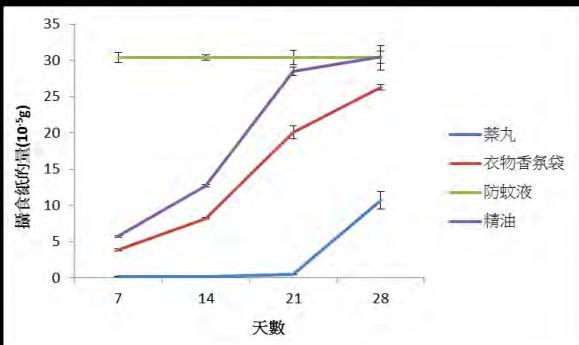
比較LDPE和衣魚排泄物的檢測結果，可得知衣魚確實可以分解LDPE。

## 防治衣魚的方式

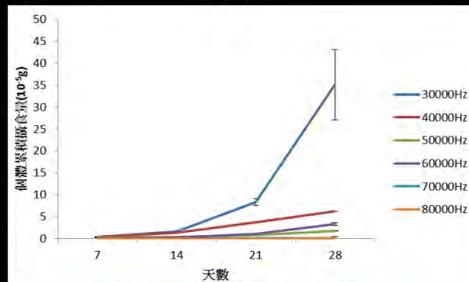
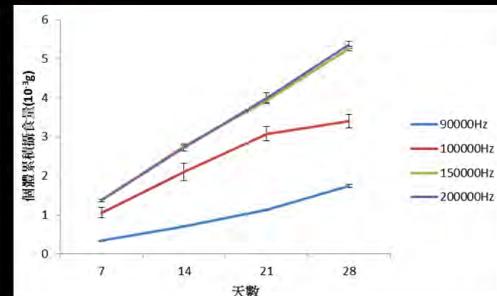
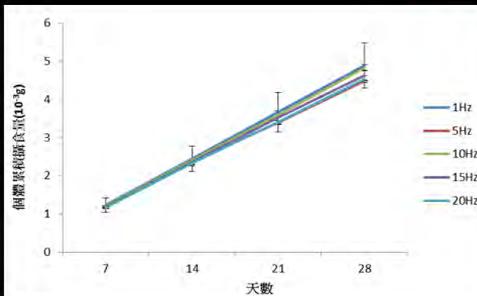
### 傳統方式

### 音波防治

量測項目	藥丸	衣物香氛袋	防蚊液	精油
實驗前一周攝食紙的量( $10^{-2}g$ )	30.2144	31.6542	28.9451	29.4172
實驗結束後衣魚立即死亡數	0	0	0	0
第一周攝食紙的量( $10^{-2}g$ )	0.1694	3.6851	31.1627	5.6298
第二周攝食紙的量( $10^{-2}g$ )	0.1862	8.1642	30.2162	12.6821
第三周攝食紙的量( $10^{-2}g$ )	0.4985	20.3215	29.2861	28.3814
第四周攝食紙的量( $10^{-2}g$ )	10.2354	26.3259	28.3658	30.914
後續衣魚死亡數	0	0	0	0
備註	實驗一開始衣魚不動			

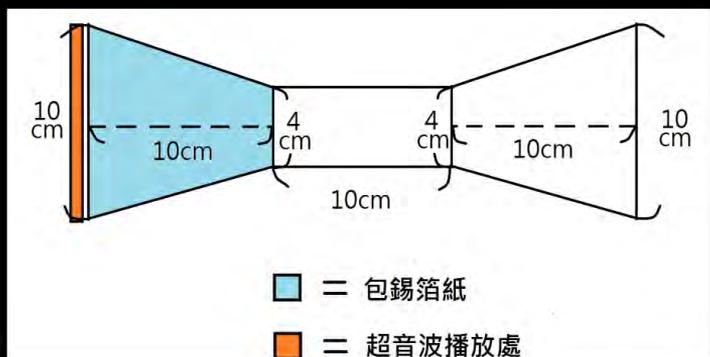


傳統防治中只有藥丸對衣魚的攝食影響最大，但在實驗結束後28天，食量就快速恢復，因此無法達到我們的防治目標，其餘方式效果更是不佳，其中防蚊液對衣魚完全沒有影響。



1、5、10、15、20Hz的音頻不論是實驗中或是實驗後對衣魚皆無影響(衣魚原本的食量約為 $1.07571 \times 10^{-3}g$ )。90000、100000Hz的音頻，攝食量明顯下降，這是因為有些小衣魚實驗後就死亡，但對其他成年衣魚則無影響。30000、40000、50000、60000、70000、80000Hz的音頻會影響衣魚的攝食量，當音波在30000到80000Hz時，音頻愈高、播放時間愈久，實驗完28天後，衣魚的死亡數量愈高。以80000Hz的音波持續播放24小時，在實驗結束後衣魚死亡率為30%，28天後死亡率高達100%。因此只要播放80000Hz的超音波持續播放24小時就能完全防治衣魚。

### 比較傳統方式防治和超音波防治



實驗容器(Y字模型)

防治方式	超音波防治	傳統方式防治
優缺點		
費用	便宜	貴
持續性	24小時即有效果	需持續，且濃度逐漸下降
方便性	利用播放器播放	購買
效果	死亡	躲避
速度	快	慢
防治品殘留物	無	有
對人體危害	無	樟腦丸有致癌風險；藥丸對身體健康亦有不良影響
死亡率	高	低

超音波防治優於傳統方式，也比傳統方式有效，且對人體和寵物沒有危害。

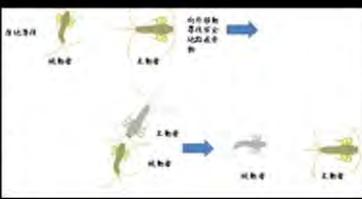
# 三類衣魚之行為模式與其生存意義之探討

## 基本生存方式

### 溝通方式

感官種類	平均抵達時間(s)	平均抵達距離(cm)	主動者抵達時間(s)	主動者抵達距離(cm)	被動者抵達時間(s)	被動者抵達距離(cm)	備註
嗅覺	142.7	24.7	30.3	32.7	142.7	20.7	三組實驗的主動者都只在實驗開始後1分鐘之內，從馬上判斷出正確的路，並帶領其他衣魚前往。
觸覺	162.3	38.3	68	72.3	162.3	21.3	主動者一開始會先單獨繞行幾圈，若發現環境安全再走另一條路，發現是安全且有食物就會回頭通知被動者，並一路前往。

### 跟隨方式



### 帶領方式



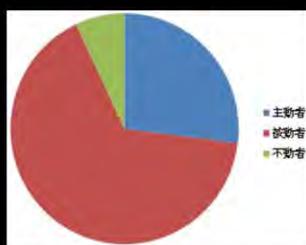
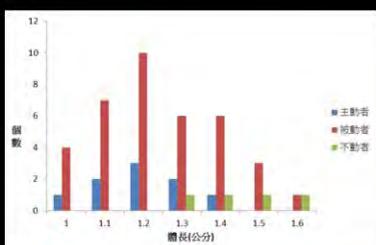
衣魚利用嗅覺進行覓食或避敵，衣魚群體生活能較快且準確的達成目的，衣魚的觸角則是扮演個體間溝通的一個重要構造。

## 衣魚基本行為特徵

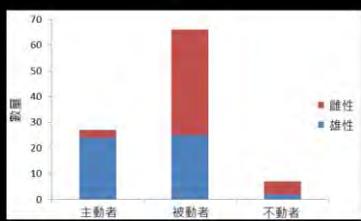
隻數	行為特徵	平均所有衣魚抵達時間(秒)	平均每隻衣魚抵達目的走的距離(cm)	備註
1	有四組衣魚個體滯留在原放置處約3-5分鐘，才開始從開始處的容器邊緣找出口，直到一至兩分鐘後，牠們才會往四周尋找。另外一組的衣魚會立即嘗試尋找安全環境。	136	51	單獨一隻衣魚，一開始反應皆為固定不動一段時間，但有個體差異，有的30秒以內，有的要3-5分鐘。
2	我們發現有20%會用觸角溝通，一起行動，另外的80%會不溝通就各自分別行動。	145	49	
3	我們發現衣魚開始有互相用觸角溝通尋找出路，也發現衣魚有帶頭的個體存在	161	44	我們稱這些帶頭的為主動者，若主動者和其他衣魚溝通而隨之移動者，我們稱被動者。
5	實驗中我們發現主動者找到正確的路時，會回去找一般衣魚溝通。	198	40	
10	十隻衣魚中有一、兩隻不管主動者或被動者接觸，皆不會移動。	207	34	我們發現衣魚中有不動者的存在，故時間計算不納入計算。

群體數目愈多，平均個體抵達時間與所花距離愈少。依其行為可分三種模式：主動者、被動者和不動者，我們定義主動者為抵達新環境中，會立即尋找安全(黑暗)或有食物的環境，並回到放置位置用觸角告知其他衣魚，使之跟隨前往；被動者則是主動者碰觸後能有效地跟隨；主動者與被動者也會接觸不動者，但如果不動者是處於非飢餓情況則會停留原地，不會往正確方向移動。

## 三類衣魚



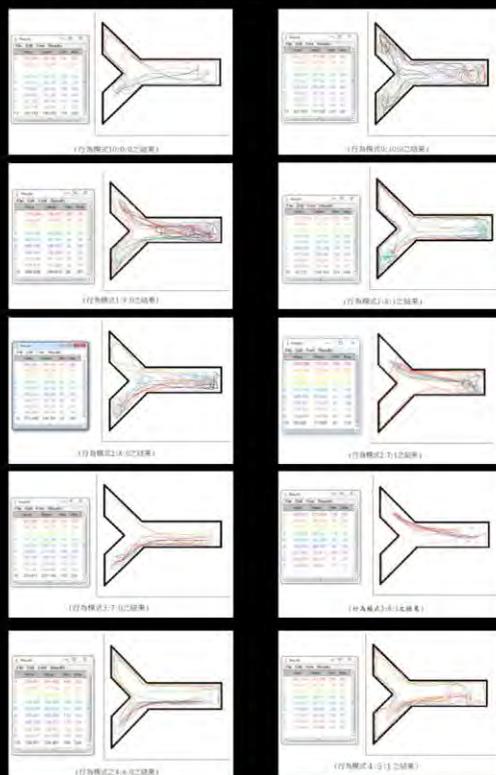
三種行為模式的衣魚其最大不同點在於移動速度和個體覓食正確率。群體中被動者的比例最高(74%)，主動者次之(18%)，不動者最少(8%)。主動者和被動者最大的行為差異是主動者找到食物會通知其他衣魚，被動者則不會有這種行為。



衣魚的性別比例約為1:1，主動者以雄性居多，被動者和不動者則以雌性較多。

## 找尋最好的群體比例

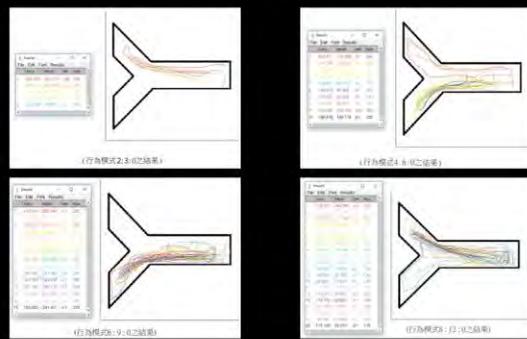
項目	所花時間(s)	總計移動距離(cm)	主動者抵達時間(s)	平均主動者移動距離(cm)	被動者抵達時間(s)	平均被動者移動距離(cm)
10:0:0	221	218	22.1	21.8	0	0
0:10:0	1098	785	0	0	1098	78.5
1:9:0	864	301	64	82	864	25.3
1:8:1	854	291	62	84	854	23
2:8:0	472	264	37.5	42	472	22.5
2:7:1	451	249	32.5	41.5	451	23.7
3:7:0	267	198	43.7	30.9	267	18.1
3:6:1	245	189	41.3	29.8	245	17.6
4:6:0	274	174	89.75	33.2	274	7.1
4:5:1	271	176	56.5	32.7	271	7.1



主動者和被動者的比例在1:2到1:3之間最好，因為主動者發現食物再回頭與被動者溝通並帶領他們時，一次一隻只會帶2到3隻，而我們也觀察到第二名比例(3:7:0)很接近天然比例(29:68:3)。

## 相同比例下群體大小對衣魚覓食之影響

項目	平均所花時間(s)	平均總計移動距離(cm)	主動者抵達時間(s)	平均主動者移動距離(cm)	被動者抵達時間(s)	平均被動者移動距離(cm)	備註
2:3:0	47.8	24.6	90.3	33	239	19	
4:6:0	42.6	21.4	123.3	29.3	426	16.1	第三名
6:9:0	40.5	20.2	140	27.3	607	15.4	第二名
8:12:0	40.1	19.8	145	27	800	15	第一名



衣魚群體愈大，衣魚抵達所花的平均時間和平均移動距離均較短。

## 陸、結論

- 衣魚利用嗅覺進行覓食與避敵，衣魚間溝通方式則是使用觸角碰觸對方的觸角，在覓食或尋找安全地點之行為模式可分成三大類，主動者、被動者和不動者。此三種行為模式以被動者居多(68%)、主動者次之(29%)、不動者最少(3%)。而衣魚的性別比例整體約為 1:1，但主動者卻是雄性遠多於雌性，而被動者和不動者則是以雌性居多。
- 在覓食實驗中，衣魚群體的三種行為模式比例以 3:7:0 為最佳比例，且群體愈大抵達目的所需時間愈短。
- 衣魚會攝食 LDPE 的原料，我們利用傅立葉紅外線光譜儀(FTR)檢測發現衣魚確實可以分解 LDPE，推測其腸道中應具有可分解塑膠之微生物，如能應用於各種塑化物，可達到垃圾減量，減輕環境中塑膠污染的壓力。
- 衣魚會攝食書櫃的書籍、文件和衣櫃中的衣物，以化學的方法防治衣魚，殘留物不僅對環境不好，且就算持續使用效果依舊不佳，更重要可能會危害人體健康。而我們利用超音波 80000Hz 持續播放 24 小時來防治衣魚，不僅可以消滅衣魚，又不會危害人體和家中寵物。