

# 中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 生物科

080308

「子」殺-探討常見水中動物對子子的生物防治  
評估

學校名稱：臺南市善化區小新國民小學

<p>作者：</p> <p>小六 張祭恩</p> <p>小六 鄭凱睿</p> <p>小六 林品翰</p> <p>小六 楊沂婷</p> <p>小五 曾冠翰</p>	<p>指導老師：</p> <p>鄭東益</p>
--	-------------------------

關鍵詞：子子、水中動物、生物防治

# 摘要

會取食孑孓的水生動物:斑節水螳螂、太平洋麗龍蝨、點刻三線大龍蝨、豉甲蟲、小仰泳椿、中華粗仰椿、負子蟲、巴蛭屬水蛭、澤蛭屬水蛭、蜻蜓水蠶、豆娘水蠶、蓋斑鬥魚、野生孔雀魚、大肚魚共 14 種，不會取食的:水黽、姬牙蟲、小划椿。每日取食孑孓(與 500 隻孑孓共域)的量，魚類以蓋斑鬥魚最多(全吃完)，其它類以豉甲蟲最多(取食 285.67 隻)、負子蟲(取食 214.67 隻)、斑節水螳螂 (取食 157.33 隻)居後。本實驗經過不同水質條件測試(pH 值、鹽度、溫度)，可以應用於戶外景觀池、生態池或農業蓄水池，除了食蚊魚，水生昆蟲也是一種防治孑孓的方法，本研究確認哪些水生動物能取食孑孓，也能讓大眾知道只要在水田發現這 14 種孑孓的天敵，就能執行「孑」殺任務。

## 壹、 研究動機

我們進行野外水田調查時，覺得很納悶，怎麼調查或掃網(網目只有 1mm)，都沒有捕撈到孑孓，於是我們想探討水塘中的孑孓是否被吃掉了呢?因此，我們想來研究野外常見的水生動物對孑孓的生物防治評估，我們將樣區的水生動物採集回來飼養及觀察，發現有很多面向可以探討。針對防治孑孓，我們產生了一股濃厚的好奇心，想進一步了解哪一種水生動物防治效果最好，因此對水生動物展開一連串的研究！

## 貳、 研究目的及架構

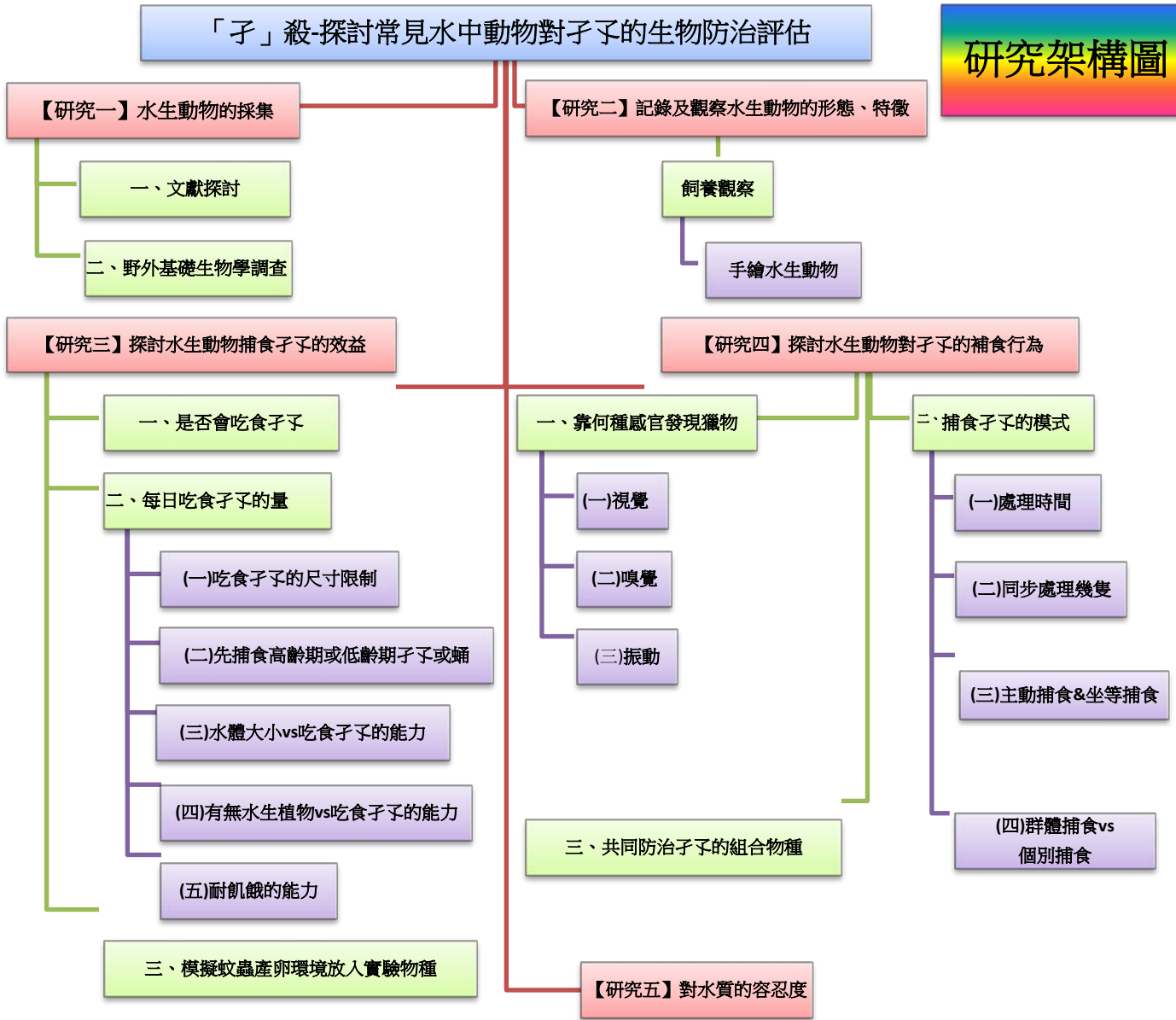
### 研究目的

- 一、 水生動物的採集與文獻探討。
- 二、 記錄及觀察採集到的水生動物的形態、特徵。
- 三、 探討採集到的水生動物對捕食孑孓的效益。
- 四、 探討採集到的水生動物對孑孓的捕食行為。
- 五、 探討採集到的水生動物對水質的容忍度。

### 研究進度

研究步驟	111 年				112 年				
	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
文獻蒐集									
飼養觀察									
實驗設計與進行									
資料整理與統計									
撰寫作品說明書									

研究架構圖



### 參、 研究設備與器材

水生動物的採集	昆蟲捕捉網(水網)1 支、魚屍體、蝦籠 5 個、昆蟲箱(27×11.5×12 cm)1 個。
水生動物的形態、特徵觀察	培養皿、圖畫紙、鑷子 3 隻、昆蟲針、電子式游標卡尺、數位相機。
水生動物對捕食子子的效益實驗	鑷子、1 公升正方形容器(10cm×10cm×10cm)10 個、可控溫加溫棒、溫度計、子子(來源自中興大學提供的卵條)、冷凍赤紅蟲、玻璃、釣魚線、碼錶。
水生動物對子子的捕食行為相關實驗	綠色透明網袋、玻璃魚缸(60cm×25cm×35cm)、硬塑膠昆蟲箱(28cm×18.6cm×16.9cm)10 個、長方形大水桶(50×40×12cm)1 個、DV 攝影機。
水生動物對水質的容忍度	pH 儀、水溫控制器、冰塊、溫度計、鹽

### 肆、 研究過程、方法、結果及討論

#### 【研究一】水生動物的採集與文獻探討。

##### 一、文獻探討與物種鑑定：

(一)方法：搜尋文獻及水生動物相關書籍進行閱讀與整理，部分物種請某大學教授協助利用分子鑑定技術判別。

(二)結果：實驗物種統整資料如下表：

		
斑節水螳螂( <i>Ranatra longipes longipes</i> Stal)	太平洋麗龍蟲( <i>Hydaticus pacificus</i> Aube)	點刻三線大龍蟲( <i>Cybister tripunctatus</i> )
		
姬牙蟲( <i>Sternolophus rufipes</i> )	水黽( <i>Aquarius elongatus</i> )	臺灣紅娘華( <i>Laccotrephes grossus</i> )













		
小划椿( <i>Micronecta quadristrigata</i> Breidin)	小仰泳椿( <i>Notonecta triguttata</i> Motsch)	中華粗仰泳( <i>Enithares sinica</i> )
		
負子蟲( <i>Diplonychus esaki</i> Miyamoto & Lee)	水蛭(肉色) <i>Helobdella</i> 澤蛭屬	水蛭(黑色) <i>Barbronia</i> 巴蛭屬
		
蜻蜓水蠶(樹穴蜻蜓)( <i>Lyiothemis flava</i> )	豆娘水蠶(青紋細蟴)( <i>Indolestes cyaneus</i> )	豉甲蟲( <i>Dineutus australis</i> )
		
大肚魚( <i>Gambusia affinis</i> )	野生孔雀魚( <i>Poecilia reticulata</i> )	蓋斑鬥魚( <i>Macropodus opercularis</i> )

圖 1:採集到的水生動物

※結果:原本以為是渦蟲，透過大學教授協助幫忙利用分子鑑定技術，結果得知是 *Helobdella* 澤蛭屬及 *Barbronia* 巴蛭屬的水蛭。

## 二、野外採集：

方法：到鄰近校園附近的水塘進行採集，分成以下三種方式：

- 1.目視與網捕法(netting)：在岸邊發現有水生動物時，快速用昆蟲網撈起。
- 2.蝦籠式誘餌陷阱法(bait trap)：將蝦籠用尼龍繩及竹筷子固定於岸邊，籠內放置餌料(魚屍體、大麥蟲)並在蝦籠內放保麗龍塊使其能漂浮於水面上，以便誘捕到水生昆蟲，不致於窒息死亡，約二週收籠。
- 3.水中捕撈法：沿著岸邊隨機撈取。

(二)結果:1.目視與網捕法與水中捕撈法及蝦籠式誘餌陷阱法皆採集到水生動物。

採集樣區如下圖 2。

		
剪保麗龍塊準備放蝦籠裡	野外採集紀實 1	蝦籠內放魚屍體
		
野外採集紀實 2	目視與網捕法(撈起後確認網內的水生動物)	蝦籠式誘餌陷阱法(以虱目魚肉當誘餌)
		
將虱目魚肉放在蝦籠內	蝦籠內放保麗龍塊	將蝦籠拋入樣區裡

圖 2:野外採集

2.採集樣區及採集到的動物照片，如下圖 3

		
低海拔山間溼地樣區	低海拔山間溼地樣區	水中捕撈法







		
收籠時檢查籠內生物	採集到的水生動物	採集回來後進行分類
		
採集回來放置實驗室內容器	採集回來的動物分開飼養	分開飼養近照

圖 3:採集樣區

捕捉到的水生動物總數如下表 1-2：時間：111.8 ~112.5

表 1-1 野外採集水生昆蟲的種類及數量

物種	斑節水螳螂	太平洋麗龍蟲	點刻三線大龍蟲	姬牙蟲	水黽	臺灣紅娘華	小划椿象	小仰泳椿	野生孔雀魚
總計	5	3	4	7	30	3	145	601	9
物種	中華粗仰泳	負子蟲	水蛭(黑色)	水蛭(肉色)	蜻蜓水蠶	豆娘水蠶	豉甲蟲(南方圓豉甲)	大肚魚	蓋斑鬥魚(水族館購買)
總計	60	13	15	134	32	4	17	13	6

### (三)討論:

- 1.除了蓋斑鬥魚(水族館購買)、大肚魚及野生孔雀魚(山間溝渠捕撈)，全部都是在棲地採集到的。
- 2.三種方法都能採集到，數量以小仰泳椿最多，甚至有看到群體飛離水池。

## 【研究二】觀察水生動物的形態、特徵


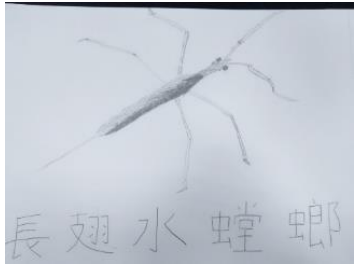
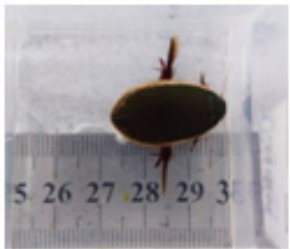

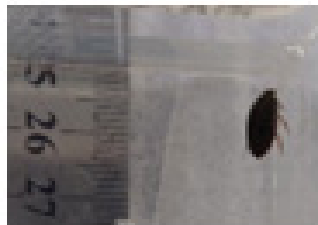

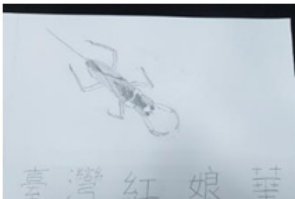
### 一、形態與特徵：

(一)方法：在學校以水族箱、水箱、桶子等容器長時間飼養、觀察並拍照、錄影。

- 1、觀察水生動物的形態及特徵：








(二)結果：將他們的外型畫下來並描述出來。

下表 2-1 為水生動物身體的形態構造

物種	形態描述	照片	繪圖
斑節水螳螂	全身細長柔軟，呈褐色，複眼呈圓形，頭呈倒三角形，具刺吸式口器。前足特化成類似螳螂之捕捉足，中後足細長，腹部尾端具呼吸管。與螳螂的形態相似，因此稱為水螳螂。		
太平洋麗龍蝨	前胸背板為黃褐色，近翅鞘和頭部後緣有黑色斑紋，翅鞘底色黃褐色，中央為黑色斑紋，邊緣有格子狀的黃斑，兩根細細的觸角。		
點刻三線大龍蝨	體型為橢圓形，體色呈墨綠色且光滑具光澤，背面兩側具黃褐色長條斑紋，兩片翅鞘上各有縱向點狀刻痕線三條，後足似槳狀。		
姬牙蟲	體背隆突光亮，黑色無斑紋，腹面褐色，各腳黃褐色，跗節黑色。其胸部腹面中央具龍骨狀突起，狀似牙籤，因此稱為牙蟲		
水黽	體背褐色且密布細毛，前胸背板中央有一條不明顯的縱紋，腹側灰白色，前足縮於頭部下面，中、後足細長。		
臺灣紅娘華	體色為深褐色。有鐮刀狀的前肢用來捕捉獵物，尾部有二條細長的呼吸管。		



物種	形態描述	照片	繪圖
小划椿	頭部與前胸背板同寬，複眼褐色，體背褐綠色，小楯板褐色，前翅革質翅從翅肩到後緣有一條斜線分割，下半部具多條黑褐色的縱斑或呈影狀條紋。		 小划椿象
小仰泳椿	整體呈現細長狀，頭部鈍圓狀，腹部尾端逐漸尖細，呈流線形。背部翅膀呈透明白色，因夾藏空氣所以有亮亮白白的反光，前中足都蜷縮於胸部，靠後足滑行。		 小仰泳椿
中華粗仰椿	整體呈現船型狀具流線形，頭部鈍圓狀，腹部尾端逐漸尖細，腹面有兩個淡藍色色斑。		 中華粗仰椿
負子蟲	身體圓而扁平，前腳特化為捕捉腳，利於捕捉其他小型動物，後腳則特化為游泳腳善於游水，身體兩側著生緣毛。		 負子蟲
水蛭 <i>Helobdella</i> 澤蛭屬	體型可伸長或呈球狀。背面呈暗褐色，腹面平坦，具吻部，無雜色斑。		 水蛭(肉色)

物種	形態描述	照片	繪圖
水蛭 <i>Barbironia</i> 巴蛭屬	體長稍扁，好像圓柱形，身體可伸長，具吻部。背面綠中帶黑，腹面平坦，黃褐色。		
鼓甲蟲 <i>Dinectus australis</i>	身體呈卵圓形，扁平，藍黑色，有金屬光澤。前足細長，中足和後足短扁，功能像槳一樣幫助游泳。		
蜻蜓水蠶	身體寬扁或圓胖，沒有尾鰓。		
豆娘水蠶	身體細長，腹部末端有三片尾鰓		
蓋斑鬥魚	體略呈長卵形而體側扁平。口小，開於吻端上位；口斜裂，尾鰭內凹，上下葉細長，鰓蓋後上方有一暗綠色圓斑，周圍為黃色或紅色邊。		



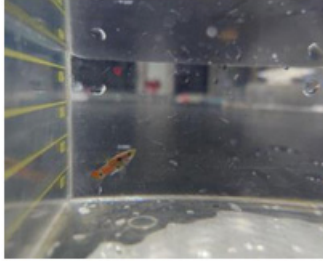

物種	形態描述	照片	繪圖
大肚魚	無鬚，體背部淡灰至暗褐色，有螢光，腹部淡白色，腹部後端有一黑色斑。		
野生孔雀魚	身體延長，前部略呈楔狀，後部側扁，體黃褐色，具有金色光澤，但體色的變異很大，常具有鮮麗的橘黃色或藍青色斑紋。		

圖 4:形態及特徵

**【研究三】** 探討採集到的水生動物對捕食子子的效益。

一、 是否會取食子子?

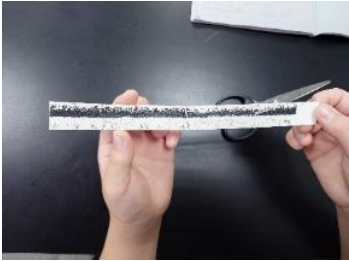


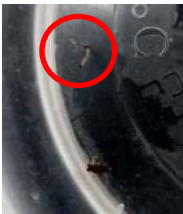





		
本研究所使用的蚊子卵	皆來自 [ ] 大學所提供的蟲卵	小仰泳捕食子子
		
小划椿 vs 子子	中華粗仰椿 vs 子子	各類水生動物捕食子子
		
各類水生動物捕食子子-2	水蠶(蜻蜓)捕食子子	澤蛭屬水蛭捕食子子



表 3-1 水生動物對子子的吃食結果

圖 5:取食子子

(一)方法：餵食子子給斑節水螳螂、太平洋麗龍蟲、點刻三線大龍蟲、豉甲蟲、小划椿、小仰泳椿、中華粗仰椿、負子蟲、水黽、姬牙蟲、巴蛭屬水蛭(黑)、澤蛭屬水蛭(肉)、蜻蜓水蠶、豆娘水蠶、蓋斑鬥魚、野生孔雀魚、大肚魚吃食:※觀察哪些水生動物會進食子子?

會取食子子的類別	不會取食的類別
斑節水螳螂、太平洋麗龍蟲、點刻三線大龍蟲、豉甲蟲、小仰泳椿、中華粗仰椿、負子蟲、水蛭(黑)、水蛭(肉)、蜻蜓水蠶、豆娘水蠶、蓋斑鬥魚、野生孔雀魚、大肚魚共 14 種。	水黽、姬牙蟲、小划椿

(二)結果：水生動物對子子吃食的結果，如表 3-1 進食的結果

(三)討論：1.水黽、姬牙蟲、小划椿皆不會捕食子子，推測原因為:水黽因為腳的細毛有表面張力的關係，因此無法伸入水面下捕食子子。另外，姬牙蟲、小划椿為腐食性，不主動攻擊子子。  
2.其餘的都為肉食性昆蟲，皆會捕食子子。因為我們好奇這些水生動物捕食子子每天是否有上限值，於是我們設計以下這個實驗。

## 二、水生動物每日取食子子的量

(一)方法：1.取一公升容器，內裝 5 公分水位高，各放入 50 隻子子(四齡約 7mm)與一隻水生動物。2.於中午 13:00 開始實驗，到隔天中午 13:00 停止實驗。3.計數捕食的數量，求其平均。4.每種水生動物重複步驟三次。

(二)結果：如下表 3-2

種類	斑節水螳螂	太平洋麗龍蟲	點刻三線大龍蟲	豉甲蟲	小仰泳椿	中華粗仰椿	負子蟲	水蛭(黑)	水蛭(肉)	蜻蜓水蠶	豆娘水蠶	蓋斑鬥魚	野生孔雀魚	大肚魚
第一次	49	39	38	50	26	37	43	12	2	50	49	50	24	39
第二次	48	50	12	49	25	23	49	11	1	31	47	50	32	50
第三次	47	46	47	50	19	30	50	42	4	48	40	50	47	50
平均	48	45	32.3	49.66	23.3	30	47.3	21.6	2.33	43	45.3	50	34.3	46.3

※取食子子前三名物種依序為:蓋斑鬥魚>豉甲蟲>斑節水螳螂，負子蟲是第四名(昆蟲類的第三名)

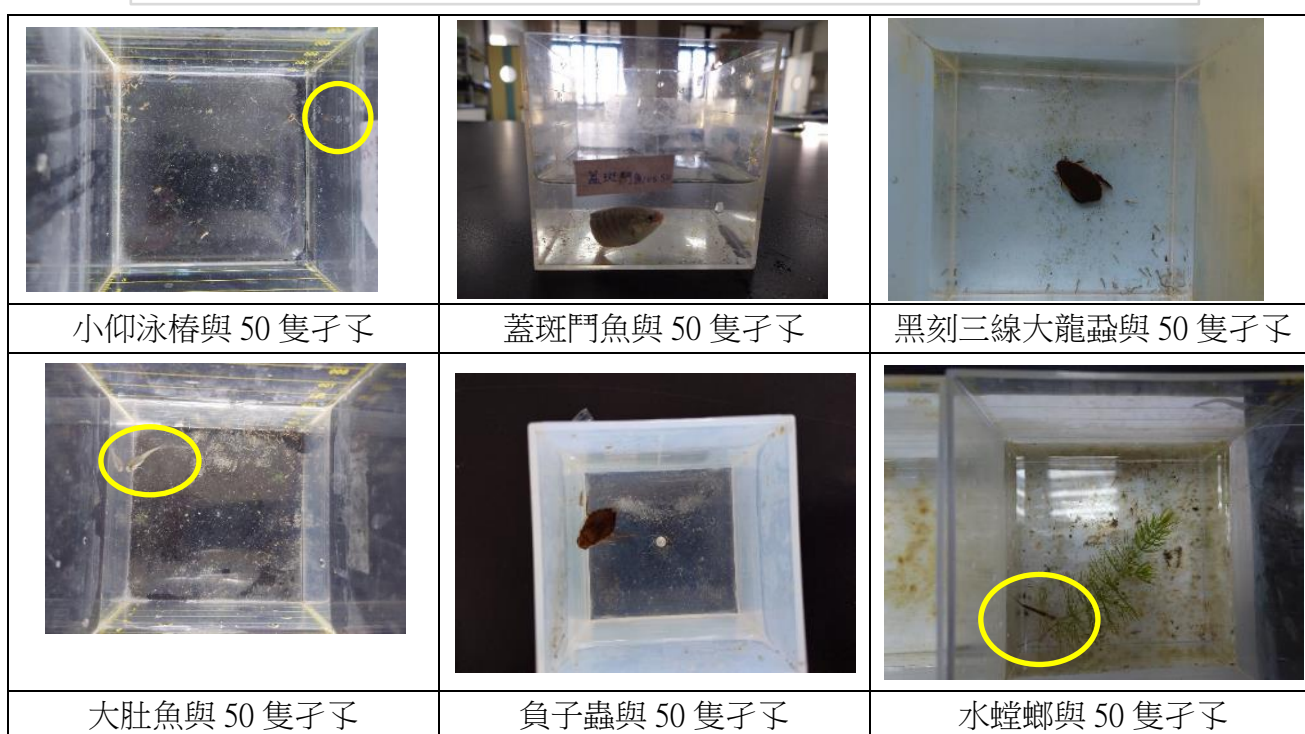
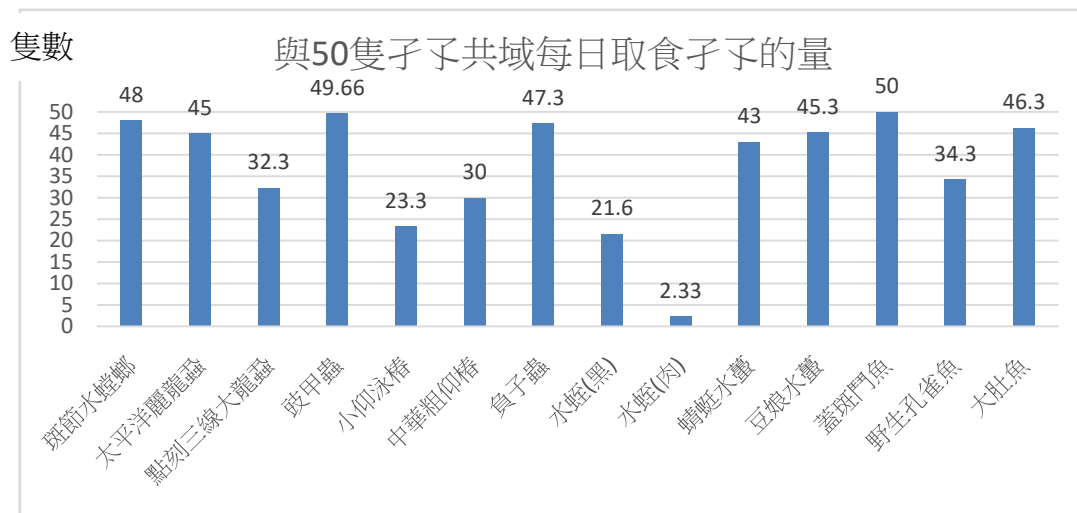


圖 6:每日吃食子子的量

(三)討論:1.根據實驗結果，蓋斑鬥魚是最會吃食子子的生物，但以水生昆蟲來說，負子蟲、斑節水螳螂、豉甲蟲、太平洋麗龍蟲、蜻蜓水螳、中華粗仰椿也很會捕食子子，密度 50 隻子子/500ml 的環境內每日平均超過 30 隻子子。2.我們以最會吃食的幾種水生動物來進一步做實驗，將 500 隻子子與一隻水生動物放在一起，紀錄一天的吃食量，統計如下表。





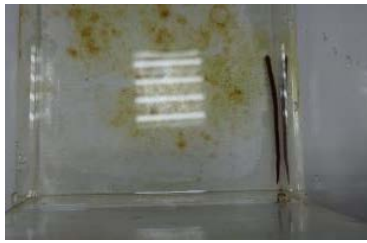

水生動物	蓋斑鬥魚	豉甲蟲	斑節水螳螂	負子蟲
方法:與 500 隻子子在一公升容器 5cm 水位高的環境，一天取食子子的量。(重複三次)	不到三小時的時間，子子全數一掃而空，真可謂子殺高手。(三次都是如此)	第一次:267 隻。 第二次:259 隻。 第三次:316 隻。	第一次:158 隻。 第二次:124 隻。 第三次:190 隻。	第一次:255 隻。 第二次:171 隻。 第三次:218 隻。
平均	500 隻	280.67 隻	157.33 隻	214.67 隻

※結果:取食子子能力的水生昆蟲順序: 豉甲蟲〉負子蟲〉斑節水螳螂。

## 二之 1 延伸實驗-捕食尺寸的限制

※想法:依據上述實驗，選出會吃食子子的物種，觀察是否有尺寸的限制?

(一)方法：1.一公升容器，內裝5公分水位高，分別放入會捕食子子的水生動物。2.尺寸最小為1mm(剛孵化的)及約7mm子子。2.紀錄是否會捕食。3.每種水生動物各重複步驟三次。

		
澤蛭屬水蛭捕食子子	小仰泳捕食子子	水蠶捕食子子
		
負子蟲捕食子子	巴蛭屬水蛭捕食子子	水螳螂捕食子子

(二)結果：表 3-3 捕食尺寸限制

圖 7:取食的限制

種類 次數	斑節 水螳 螂	太平 洋麗 龍蝨	點刻三 線大龍 蝨	豉甲 蟲	小仰 泳椿	中華 粗仰 椿	負子 蟲	水蛭 (黑)	水蛭 (肉)	蜻蜓 水蠶	豆娘 水蠶	蓋斑 鬥魚	野生 孔雀 魚	大肚 魚
	第一次	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
第二次	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
第三次	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓







註:✓表示不管1mm或7mm子子都會吃食。

(三)討論:從實驗結果得知，不管是何種尺寸的子子，上述水生動物都會捕食(剛孵化到終齡)。

## 二之 2、水生動物對於蛹、高齡子子、低齡子子是否有取食偏好?

※想法:既然會捕食子子，那對於捕食高、低齡子子或蛹是否有偏好呢?

(一)方法：1.取一公升容器，內裝5公分水位高，各放入高齡期子子(6-7mm)和低齡期子子(1-2mm)和蛹及一隻實驗物種。2.實驗開始時一直觀察及紀錄先捕食何種子子或蛹。3.每種物種重複做三次。4.每次觀察為1小時。

		
太平洋麗龍蝨 vs 高、低、蛹實驗	豆娘水蠶 vs 高、低、蛹實驗	斑節水螳螂 vs 高、低、蛹實驗
		
負子蟲 vs 高、低、蛹實驗	水蠶 vs 高、低、蛹實驗	水蛭 vs 高、低、蛹實驗

(二)結果: 每種物種做三次, 先捕食的紀錄如下表 3-4

圖 8:取食偏好實驗

種類 次數	斑節水 螳螂	太平洋 麗龍蝨	點刻三線 大龍蝨	豉甲蟲	小仰泳 椿	中華粗 仰椿	負子蟲	水蛭 (黑)	水蛭 (肉)	蜻蜓水 蠶	蓋斑鬥 魚	野生孔 雀魚	大肚魚
先捕食 蛹	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
先捕食 高齡	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
先捕食 低齡	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
1小時後 剩餘數	0	0	2	0	1	0	0	2	2	0	0	0	0






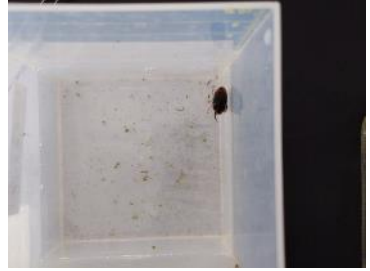

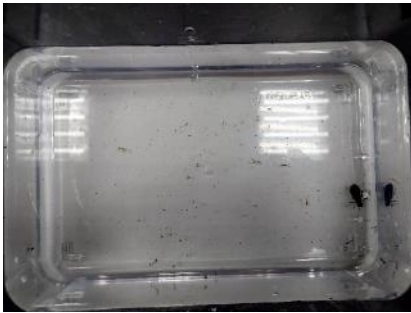

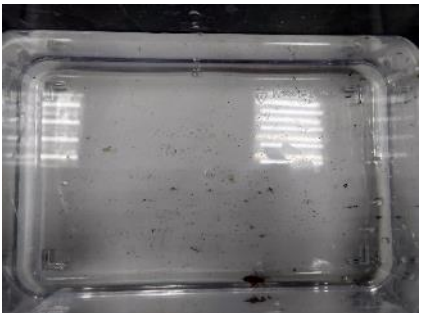


### (三)討論:

1.大部分的水生動物皆有優先捕食高齡、低齡及蛹的情形, 無特別偏好, 我們推論捕食為隨機捕食, 如孑孓或蛹游動過來隨即攻擊捕食, 沒有特別偏好何種尺寸。2.但以大肚魚及孔雀魚來說, 在捕食高齡孑孓時無法一口吃下, 觀察到會先啄孑孓, 好像因為口徑太小的原故, 之後咬住之後才慢慢的吞噬。

### 二之 3、不同水體大小是否影響捕食孑孓的能力呢?

※想法:既然未來是要將這些水生動物應用於戶外進行孑孓的防治, 那麼水量的多寡會影響其捕食能力嗎?

(一)方法: 1.取一公升容器, 內裝 5 公分水位高, 各放入 10 隻孑孓(四齡約 7mm)與一隻待測物種。2.每次實驗一小時, 實驗完後, 等待一天再做實驗。3.計數捕食的數量, 求其平均。4.每種物種重複實驗 3 次。5.將容器改成硬塑膠昆蟲箱(28cmx18.6cmx16.9cm), 水位高一樣為 5 公分高。5.其它條件不變, 計數捕食的數量, 求其平均。

		
1 公升容器:點刻三線大龍蝨 vs10 隻子子	1 公升容器:蜻蜓水蠶 vs10 隻子子	1 公升容器:大肚魚 vs10 隻子子
		
1 公升容器:負子蟲 vs10 隻子子	1 公升容器:斑節水螳螂 vs10 隻子子	1 公升容器:太平洋麗龍蝨 vs10 隻子子
		
昆蟲箱:點刻三線大龍蝨 vs10 隻子子	昆蟲箱:蜻蜓水蠶 vs10 隻子子	昆蟲箱:大肚魚 vs10 隻子子
		
昆蟲箱:負子蟲 vs10 隻子子	昆蟲箱:斑節水螳螂 vs10 隻子子	昆蟲箱:太平洋麗龍蝨 vs10 隻子子

(二)結果：表 3-5：一公升容器，水位高度 5cm。

圖 9:不同水體大小

種類 捕食量	斑節 水螳 螂	太平 洋麗 龍蝨	點刻三 線大龍 蝨	豉甲 蟲	小仰 泳椿	中華 粗仰 椿	負子 蟲	水蛭 (黑)	水蛭 (肉)	蜻蜓 水蠶	蓋斑 鬥魚	野生 孔雀 魚	大肚 魚
第一次	9	8	6	10	5	9	9	1	1	6	10	6	7
第二次	8	7	5	10	5	10	9	2	1	5	10	5	6
第三次	9	7	6	10	6	8	10	1	1	6	10	7	7
平均	8.66	7.33	5.66	10	5.33	9	9.33	1.33	1	5.66	10	6	6.66



表 3-6 :硬塑膠昆蟲箱(28cm×18.6cm×16.9cm) ，水位高度 5cm。

種類 次數	斑節水螳螂	太平洋麗龍蟲	點刻三線大龍蟲	豉甲蟲	小仰泳椿	中華粗仰椿	負子蟲	水蛭(黑)	水蛭(肉)	蜻蜓水蠶	蓋斑鬥魚	野生孔雀魚	大肚魚
第一次	8	7	5	10	5	10	8	1	0	6	10	6	6
第二次	9	8	7	10	6	10	9	1	1	6	10	5	6
第三次	9	8	4	10	6	9	9	2	1	6	10	6	7
平均	8.66	7.66	5.33	10	5.66	9.66	8.66	1.33	0.66	6	10	5.66	6.33

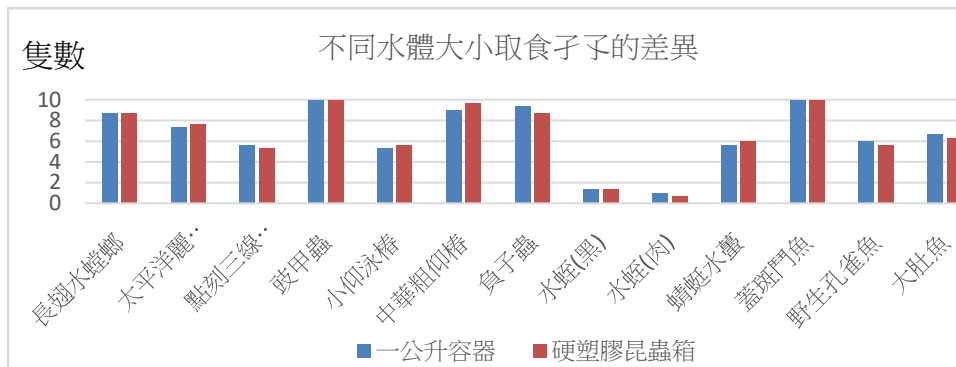


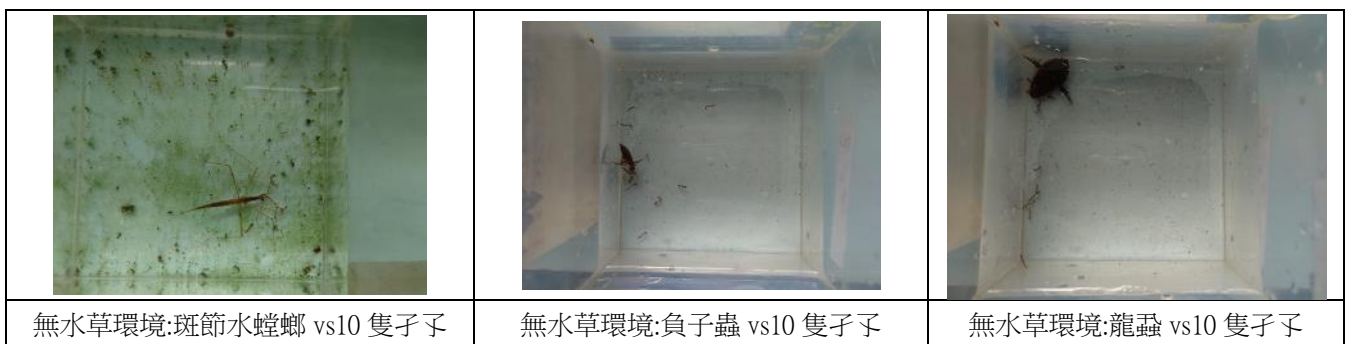
圖 10:不同水體大小取食子子差異長條圖

**討論:**分析實驗結果得知，不同水體對於同一種物種捕食子子的能力是沒有太大相關，但建議未來可以再實驗更大容量的水體或實驗時間加長。

## 二之 4:有無水生植物是否影響捕食子子的能力呢?

※想法：因為野外靜水塘可能會有水草大量叢生的現象，我們想知道這樣的環境會影響捕食能力嗎?

(一)方法：1.與二之 3 的方法相同(同樣的物種，同樣的實驗對象)。2.操縱變因為將容器加入水生植物，約占活動空間的二分之一，水位高一樣為 5 公分高。3.其它條件不變，計數捕食的數量，求其平均。



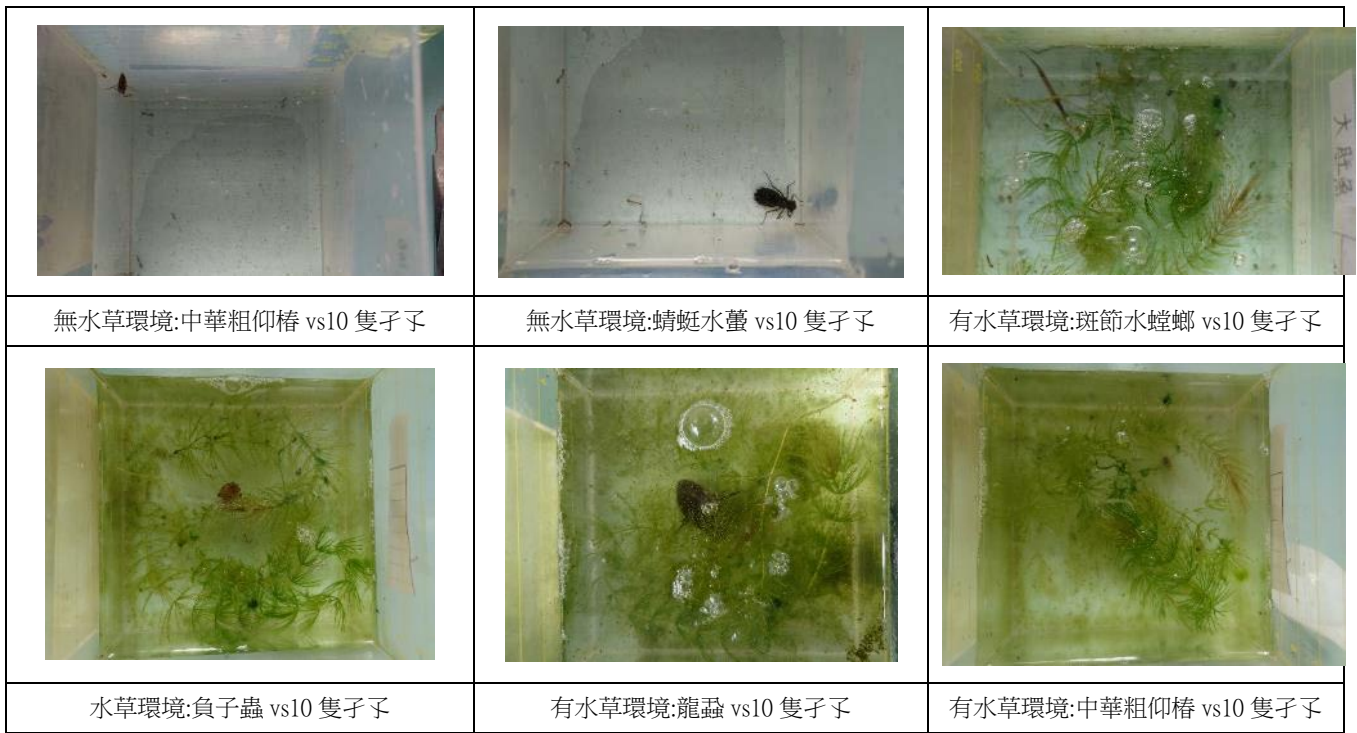


圖 11:有無水生植物影響捕食

(二)結果：表 3-7 占滿約二分之一的水生植物的環境對於捕食子子的能力

種類 次數	斑節 水螳 螂	太平 洋麗 龍蝨	點刻三 線大龍 蝨	豉甲 蟲	小仰 泳椿	中華 粗仰 椿	負子 蟲	水蛭 (黑)	水蛭 (肉)	蜻蜓 水螳	蓋斑 鬥魚	野生 孔雀 魚	大肚 魚
第一次	7	6	4	7	5	9	7	0	1	4	10	5	6
第二次	8	7	6	4	5	8	8	1	0	5	10	6	7
第三次	8	8	5	3	5	8	7	1	0	5	10	5	6
平均	7.66	7	5	4.67	5	8.33	7.33	0.66	0.33	4.66	10	5.33	6.33

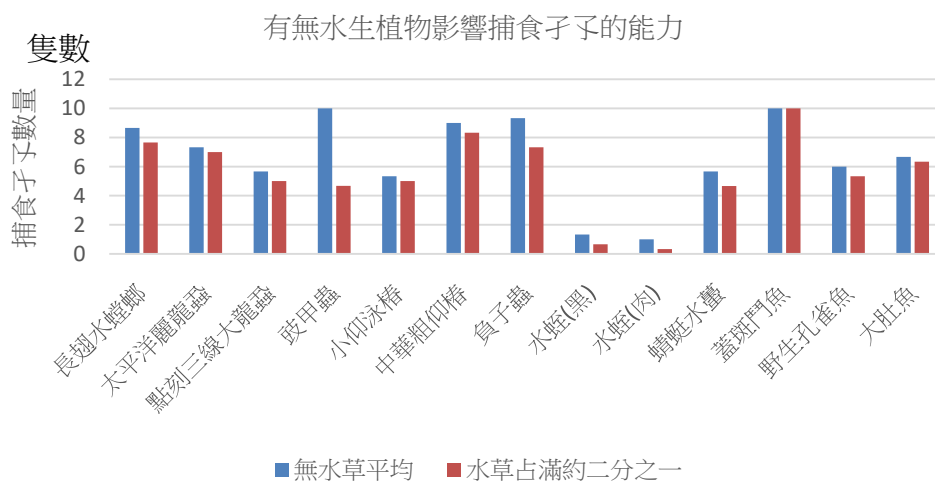


圖 12:有無水生植物影響捕食子子能力長條圖

(三)討論:比較上一個實驗的實驗結果(對照組:一公升容器,水位高度 5cm 高),發現在占滿約二分之一的水生植物的環境中,水生動物捕食子子的能力稍有下降,但魚類的部分影響不大,因此建議野外水體利用生物防治法來控制子子數量,也需定期清除過多的水生植物以維持捕食子子的效益。

## 二之 5:水生動物的耐飢餓程度?

※想法：因為想將這些水生動物推廣至戶外的池塘、生態池、景觀池或農業蓄水池來防治孑孓，因此想了解如果沒有額外餵食的情況下，他們的耐飢餓程度是如何？

(一)方法：1.分別將實驗物種單獨一隻放在一容器裡。2.實驗物種如呈現活動力緩慢即立刻停止實驗。3.以一個月為上限極，即超過一個月便終止實驗。



圖 13:耐飢餓程度實驗

(二)結果：表 3-8

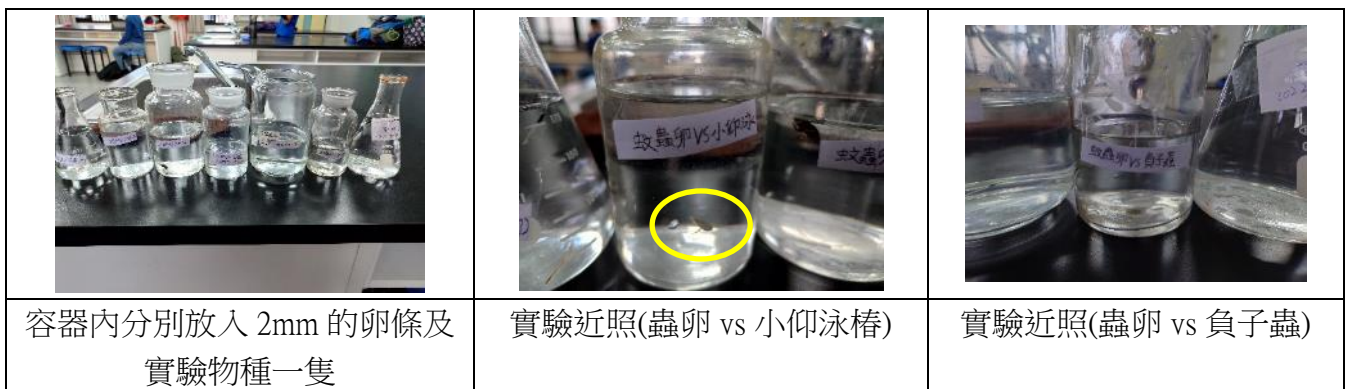
種類	斑節水 螳螂	點刻三 線大龍 虱	小仰泳 椿	豉甲蟲	中華粗 仰椿	負子蟲	水蛭 (黑)	水蛭 (肉)	蜻蜓水 蠶	蓋斑鬥 魚	野生孔 雀魚	大肚魚
耐餓天數	超過一 個月	超過一 個月	14 天	5 天	8 天	超過一 個月	超過一 個月	超過一 個月	超過一 個月	超過一 個月	超過一 個月	超過一 個月

(三)討論:當實驗物種明顯活動力不足，呈現不自然的狀態，我們隨即停止實驗，結果發現大部分的水生動物皆能耐餓超過一個月，因此一個月內無需特別餵食，但豉甲蟲最短，只能維持 5 天，可能與他一直游動需要大量能量有關。

## 三:模擬蚊蟲產卵環境放入實驗物種觀察是否有效防治蚊子滋生

※想法：模擬野外環境，當水位滿過蚊卵，水生動物能否在蚊卵一孵化即可開始捕食孑孓？

(一)方法：1.在各容器內，剪下約 2mm 的卵條，分別放入實驗物種，另有一瓶為對照組(只放卵條)。2.實驗時間維期 2 週，每日觀察容器內的變化。3.重複實驗為 2 組。



容器內分別放入 2mm 的卵條及實驗物種一隻

實驗近照(蟲卵 vs 小仰泳椿)

實驗近照(蟲卵 vs 負子蟲)

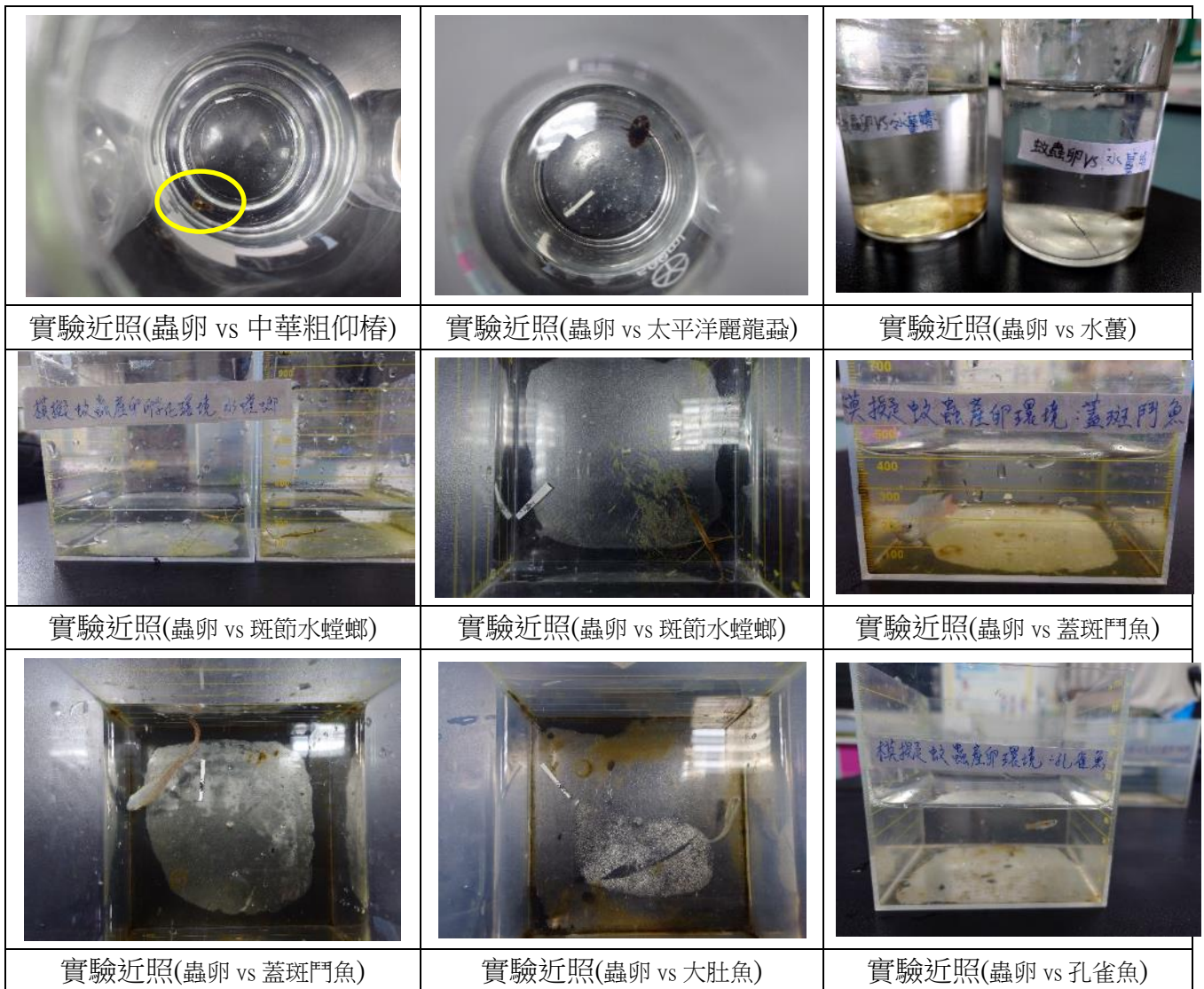


圖 14: 視覺實驗

(二) 結果：表 3-9

種類 次數	斑節 水螳 螂	太平 洋麗 龍蟲	點刻三 線大龍 蟲	跋甲 蟲	小仰 泳椿	中華 粗仰 椿	負子 蟲	水蛭 (黑)	水蛭 (肉)	蜻蜓 水螅	蓋斑 鬥魚	野生 孔雀 魚	大肚 魚	對照 組
第一次	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	很多 子子
第二次	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	

註: ✓表示實驗結束子子都被吃掉。X:表示實驗結束後有些子子變成蛹。

(三) 討論: 1. 實驗過程中, 小仰泳有死亡, 我們馬上再重新實驗, 推論可能是個體差異所導致。2. 實驗魚類組裡的蚊子卵只要有孵化成子子, 馬上就被魚吃掉。3. 澤蛭屬水蛭(肉)在實驗結束後有蛹出現, 可見澤蛭屬水蛭來不及吃完子子, 而變成了蛹, 澤蛭屬水蛭(肉)單一隻在捕食子子的效益上沒有其它的高。4. 其它類別有子子與實驗物種共存的情形發生, 推論可能實驗物種處於飽足的狀態, 但最後仍被捕食一空。

**【研究四】 探討水生動物對孑孓的捕食行為。**

**一、水生動物是靠何種感官(視覺、嗅覺、振動)來偵測獵物的存在呢?**

※想法:本次實驗物種是肉食性水棲動物,我們想進一步了解,是利用什麼感官發現獵物的呢?

視覺:(一)方法:1.將水生動物放入透明的一公升容器內,水位高 5cm。2.將一公升容器放入裝有孑孓的昆蟲箱(隔絕振動的影響)(裡面是水生動物,外面是孑孓)。3.觀察水生動物是否因視覺偵測到孑孓而衝去捕食。4.每種物種重複 3 次。5.每次實驗為 10 分鐘。

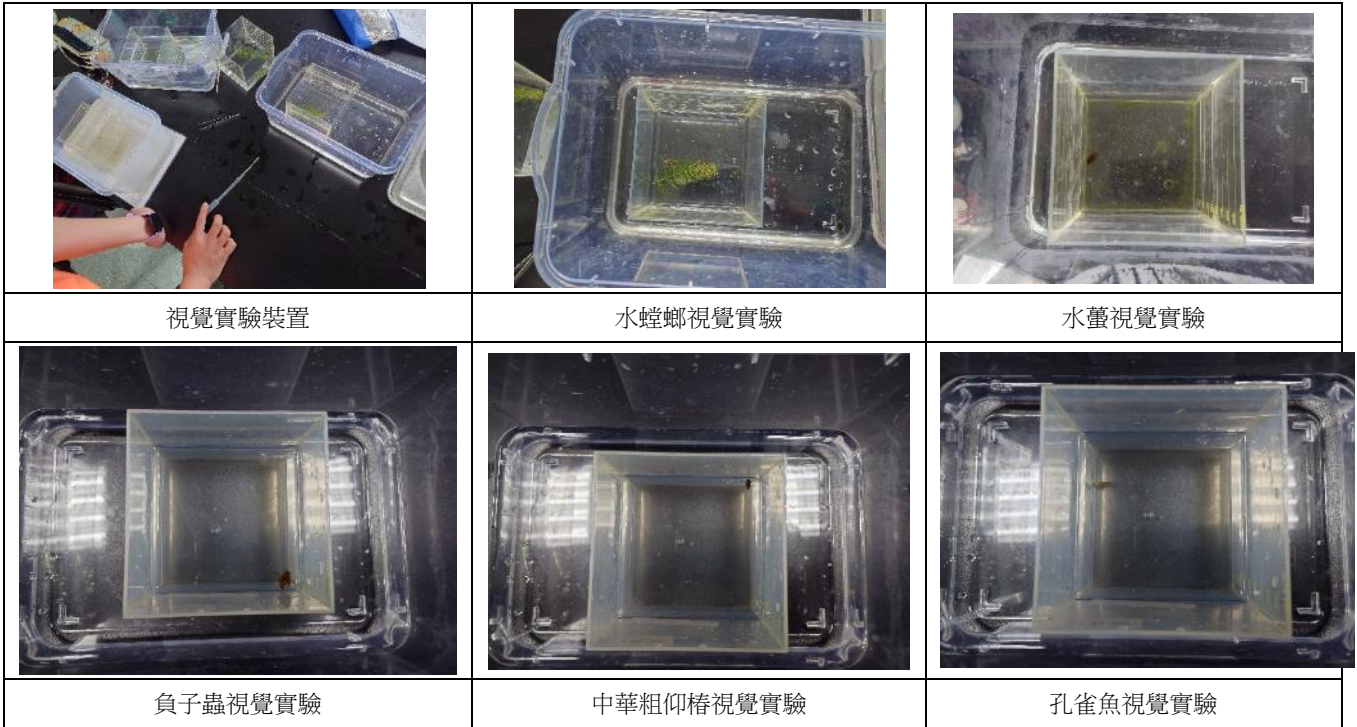


圖 15:視覺實驗

**(二)結果:表 4-1**

種類 次數	斑節水 螳螂	點刻三線 大龍蝦	豉甲蟲	小仰泳 椿	中華粗 仰椿	負子蟲	水螳 (黑)	水螳 (肉)	蜻蜓水 螳	蓋斑鬥 魚	野生孔 雀魚	大肚魚
第一次	X	X	✓	X	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓
第二次	✓	X	✓	X	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓
第三次	X	X	✓	X	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓

結果:中華粗仰椿、負子蟲、豉甲蟲、蜻蜓水螳、蓋斑鬥魚、野生孔雀魚、大肚魚都能游到容器邊緣想捕食孑孓,因此,這些物種會利用視覺偵測獵物,而斑節水螳螂、巴螳屬的水螳則部分成功,我們推論這兩種物種非主要以視覺來搜尋獵物,可能還輔以其他感官。

嗅覺:

※想法:想了解這些水生動物的嗅覺是否有助於捕食獵物呢?

(一)方法:1.在昆蟲箱左右兩邊設置一綠色紗網(味道能擴散出來,但看不清楚紗網內餌料),一邊放冷凍赤紅蟲(實驗組),一邊沒有放(對照組)。2.觀察實驗物種是否會趨近有赤紅蟲的那一袋。3.實驗時間為 10 分鐘。4.每種物種重複三次。

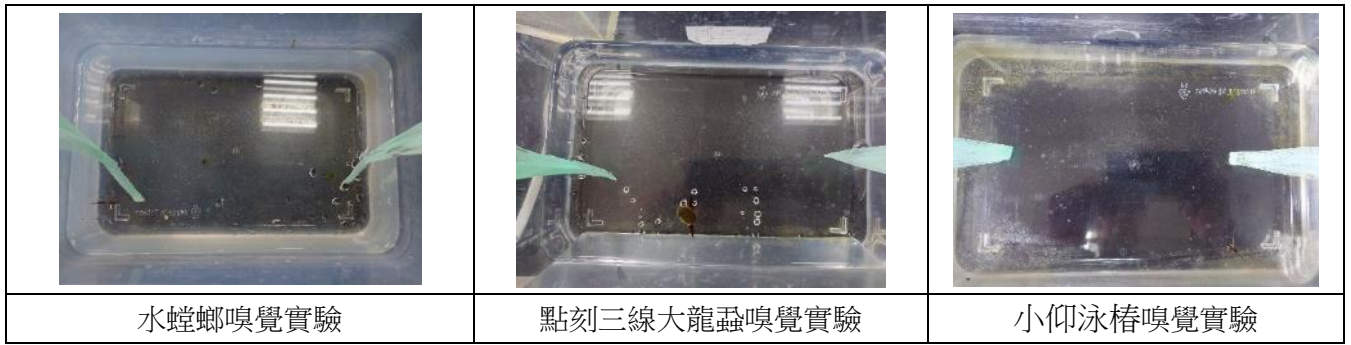


圖 16:嗅覺實驗

(二)結果:表 4-2 嗅覺實驗

種類 次數	斑節水 螳螂	點刻三 線大龍 蟲	豉甲蟲	小仰泳 椿	中華粗 仰椿	負子蟲	水蛭(黑)	水蛭(肉)	蜻蜓水 蠶	蓋斑鬥 魚	野生孔 雀魚	大肚魚
第一次	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
第二次	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
第三次	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓

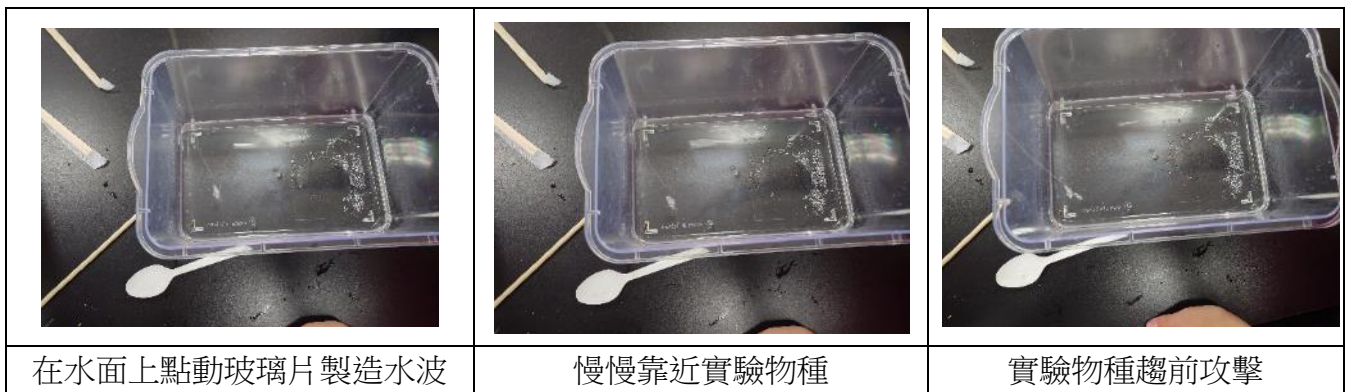
※結果:我們發現只有斑節水螳螂及蜻蜓水蠶的嗅覺反應不靈敏。

(三)討論:我們推論斑節水螳螂與蜻蜓水蠶對嗅覺的反應不靈敏(嗅覺感官不發達),但其餘的物種不到 5 分鐘就找到的有:點刻三線大龍蟲、蓋斑鬥魚、野生孔雀魚、大肚魚,推論這四種嗅覺感官較為靈敏。

※想法:除了靠視覺、嗅覺偵測獵物外,是否也會偵測水面上的波動而去找食物呢?

振動:

(一)方法:1.在釣魚線上用透明膠帶黏上玻璃片。2.由同一位同學(控制振動幅度與頻率),在水面上一秒約點動一下。3.由遠到近,慢慢靠近實驗物種。4.每一次實驗點動 60 下,有趨向前進的打✓、毫無動靜的打 X。)將結果紀錄下來。5.重複上述實驗步驟三次。



(二)結果:表 4-3 振動對實驗物種的行為反應

圖 17:振動實驗

種類 次數	斑節水 螳螂	點刻三 線大龍 蟲	豉甲蟲	小仰泳 椿	中華粗 仰椿	負子蟲	水蛭(黑)	水蛭(肉)	蜻蜓水 蠶	蓋斑鬥 魚	野生孔 雀魚	大肚魚
第一次	✓	X	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓
第二次	✓	X	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓
第三次	✓	X	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓

※結果:斑節水螳螂、豉甲蟲、小仰泳椿、中華粗仰椿、負子蟲、蓋斑鬥魚、野生孔雀魚、大肚魚對振動都有反應; 點刻三線大龍蝨、水蛭(黑)、水蛭(肉)及蜻蜓水蠶無反應。

### (三)綜合討論:

歸納有反應的物種:表 4-4

三種感官都有反應的物種	蓋斑鬥魚、野生孔雀魚、大肚魚、豉甲蟲、負子蟲、中華粗仰椿
兩種感官有反應的物種	小仰泳椿、點刻三線大龍蝨
僅一種或部分二種感官有反應的物種	蜻蜓水蠶、水蛭(肉)、水蛭(黑)、斑節水螳螂

從這一系列感官實驗中,可以知道蓋斑鬥魚、野生孔雀魚、大肚魚、豉甲蟲、負子蟲、中華粗仰椿對於獵物的感知是比較明顯的,難怪捕獲子子的能力也比較強。

## 二、捕食子子的模式

### (一)處理時間:

※想法:我們想比較半翅目的水生昆蟲捕食到子子及蛹時的處理時間。

(一)方法: 1.各別隨機取一隻斑節水螳螂、中華粗仰椿、負子蟲、小仰泳椿放入一公升容器,水位高度為 5cm。2.再放入一隻(四齡約 7mm)子子。3.從開始捕食吸食子子到放掉外皮紀錄其時間。4.重複實驗三次。

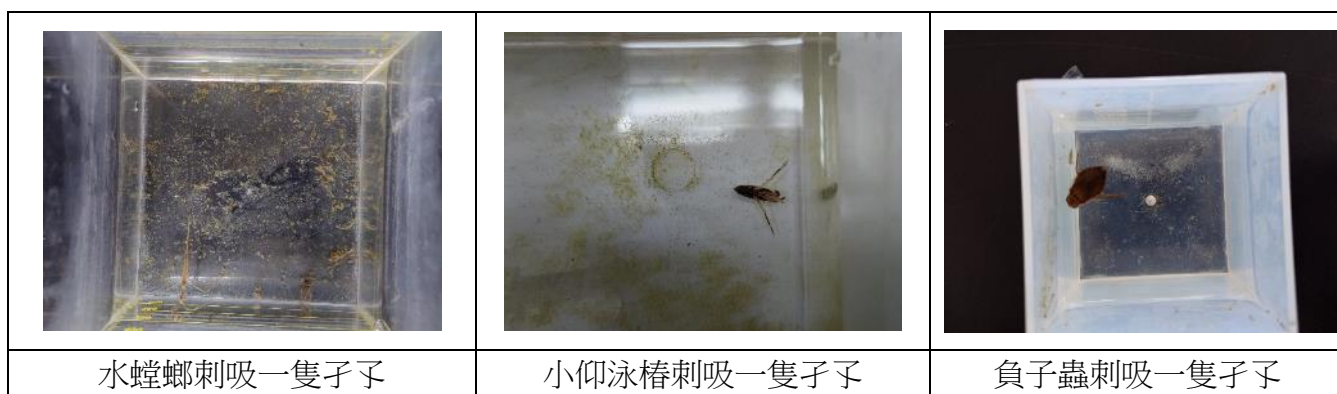


圖 18:處理時間

### (二)結果 1:處理一隻子子的時間 表 4-5

物種	斑節水螳螂	小仰泳椿	中華粗仰椿	負子蟲
時間				
處理第一隻子子	58 分 2 秒	22 分 51 秒	22 分 5 秒	10 分 27 秒
處理第二隻子子	58 分 47 秒	20 分 29 秒	29 分 46 秒	18 分 32 秒
處理第三隻子子	54 分 26 秒	18 分 45 秒	24 分 36 秒	16 分 27 秒
平均時間	57 分 5 秒	20 分 38 秒	25 分 44 秒	15 分 9 秒

### 結果 2:處理一隻蛹的時間 表 4-6

物種	斑節水螳螂	小仰泳椿	中華粗仰椿	負子蟲
時間				
處理第一隻蛹	30 分 0 秒	1 時 15 分 9 秒	36 分 24 秒	16 分 0 秒
處理第二隻蛹	32 分 26 秒	1 時 13 分 7 秒	34 分 18 秒	21 分 0 秒
處理第三隻蛹	33 分 24 秒	1 時 11 分 23 秒	37 分 26 秒	16 分 21 秒
平均時間	31 分 57 秒	1 時 13 分 13 秒	36 分 3 秒	17 分 47 秒

※結果:四種半翅目水生昆蟲，以負子蟲處理孑孓及蛹的時間最短。

負子蟲是這四種半翅目中處理孑孓的時間最短，也是主動性較高的昆蟲，會一直游走一直搜尋獵物，是可以強力推薦放至戶外的池塘、生態池、景觀池或農業蓄水池來防治孑孓。

※為什麼其它物種不研究處理時間?因為都是直接吃食，非吸食，所以只研究半翅目的處理時間。

(二)同步處理孑孓隻數:

※想法:我們發現半翅目水生昆蟲能同時捕獲超過一隻以上的孑孓，因此我們想知道到底可以同時捕幾隻?

(一)方法:1.取一公升容器，內裝5公分水位高，各放入50隻孑孓(四齡約7mm)與一隻斑節水螳螂、小仰泳椿、中華粗仰椿、負子蟲。觀察目標物種能同時處理幾隻孑孓。2.觀察時間為1小時。3.重複實驗三次。



圖 19:同步處理孑孓

(二)結果:我們發現斑節水螳螂、負子蟲及中華粗仰椿都能**同步處理三隻孑孓**，即捕捉足各攫取一隻，口器也能刺吸一隻，同工效益很好，但小仰泳椿則無此情形，只能刺吸一隻孑孓。

(三)主動捕食&坐等捕食

※想法:我們想了解哪些水生動物是主動尋找孑孓捕食，哪些是屬於坐等型伏擊?

(一)方法:平日飼養觀察，如移動並趨向孑孓捕食即為主動捕食，如在原位置伏蟄等待，當孑孓游至附近再進行攻擊者為坐等伏擊捕食。

(二)結果:表 4-7

種類	斑節水螳螂	點刻三線大龍蝨	豉甲蟲	小仰泳椿	中華粗仰椿	負子蟲	水蛭(黑)	水蛭(肉)	蜻蜓水蠶	蓋斑鬥魚	野生孔雀魚	大肚魚
捕食												
類型	○	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	○	✓	✓	✓

註:✓為主動捕食、○為坐等捕食

※結果:只有斑節水螳螂及蜻蜓水蠶是屬於坐等伏擊，其餘的都是主動捕食。

(四)群體捕食、個體捕食

※想法:我們想了解這些水生動物捕食孑孓會有合作覓食的策略或單獨行動呢?

(一)方法:1.將水生動物分裝同種為一組，一組兩隻放入一公升容器裡，水位高度5公分高。2.放入一隻孑孓，觀察是否會圍攻孑孓還是自己前去捕食。3.直到捕食到孑孓便終止實驗4.重複實驗三次。



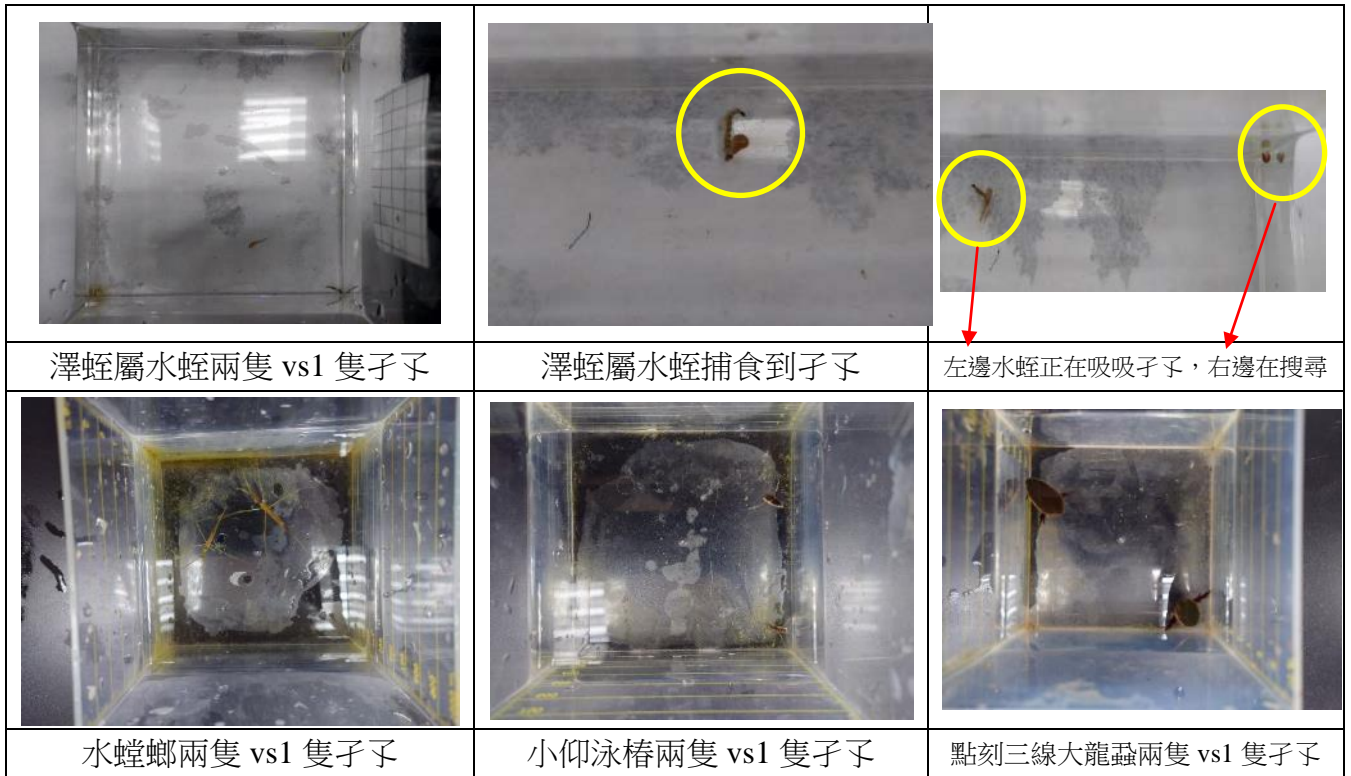


圖 20: 群體、個別捕食

(二) 結果: 表 4-8

種類 捕食	斑節水 螳螂	點刻三線 大龍蟲	豉甲蟲	小仰泳 椿	中華粗 仰椿	負孑孓	水蛭(黑)	水蛭(肉)	蜻蜓水 螞	蓋斑鬥 魚	野生孔 雀魚	大肚魚
個體	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

註: ✓ 為個體獨立捕食

※結果: 所有的實驗物種都是個體獨立捕食, 沒有合作覓食(即一隻驅趕孑孓, 另一取食)的行為。

三、共同防治孑孓的組合物種

※想法: 既然有很多水生動物會捕食孑孓, 哪些組合會比較好呢?

- (一) 方法: 1. 在 1 公升容器, 水位高度 5 公分高, 放入 50 隻孑孓與高捕食性孑孓的兩種物種。  
2. 每隔一小時觀察吃食多少隻孑孓? 紀錄到第三小時之後直到 24 時結束實驗。  
3. 每種組合做兩次, 求其平均。



圖 21: 共同防治組合

結果:表 4-9 共同防治孑孓組合物種的取食隻數統計表

組合物種	第一個小時吃幾隻			第二個小時吃幾隻			第三個小時吃幾隻			24 小時共吃幾隻		
	第一次	第二次	平均	第一次	第二次	平均	第一次	第二次	平均	第一次	第二次	平均
中華粗仰椿、蜻蜓水蠶	21	29	25	14	7	10.5	6	13	9.5	50	50	50
點刻三線大龍蝨、負子蟲	28	11	19.5	9	23	16	1	8	4.5	47	50	48.5
點刻三線大龍蝨、水螳螂	12	19	15.5	5	5	5	6	2	4	45	50	47.5
水螳螂、豉甲蟲	2	13	7.5	16	4	10	12	2	7	50	47	48.5
蜻蜓水蠶、水螳螂	11	13	12	4	6	5	1	7	4	50	50	50

※結果:第一個小時捕食孑孓的量，平均以中華粗仰椿、蜻蜓水蠶組合效果最好，第二個小時是點刻三線大龍蝨、負子蟲的組合，第三小時是中華粗仰椿、蜻蜓水蠶的組合，最後中華粗仰椿、蜻蜓水蠶的組合及蜻蜓水蠶、水螳螂的組合全數吃完孑孓。

被吃食孑孓隻數

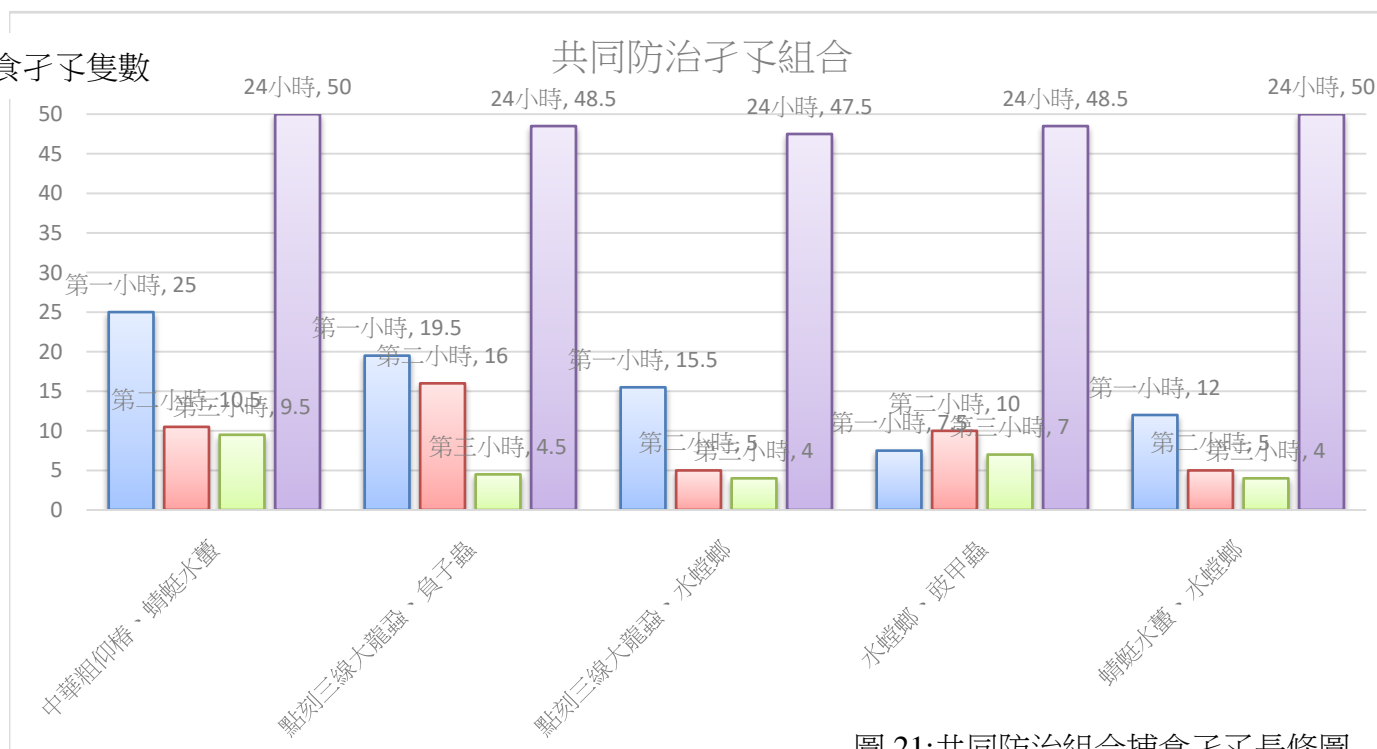


圖 21:共同防治組合捕食孑孓長條圖

(三)討論:本實驗結果可以應用於戶外景觀池或生態池，除了食蚊魚可防治孑孓外，這些水生昆蟲的組合也是另外一種防治孑孓的選擇，平均日食孑孓皆超過 47.5 隻。另外，因本實驗空間較小(僅有 500 毫升)，有發現點刻三線大龍蝨有要攻擊水螳螂的傾向，因此空間大一些或更多的遮蔽物也許能避免互相攻擊的可能，未來更能放入不同種的物種共存來防治孑孓，這是可以再進一步研究的方向。

【研究五】探討採集到的水生動物對水質(pH 值、溫度、鹽度)的容忍度。

※想法:想知道哪些水生動物對水質的容忍度較好，可運用在孑孓的防治上。

(一)pH 值:1.利用冰醋酸及澄清石灰水水溶液調配出 pH4~ pH12 的水溶液。2.每種水溶液隨機取三隻物種放至水溶液裡並餵食。3.實驗維期三天。4.如呈現動作緩慢不自然便終止實驗。






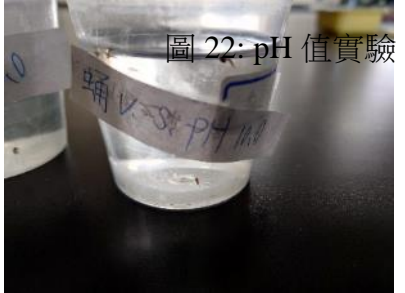
		
調配不同 pH 值的酸鹼水溶液	pH12 的水溶液	孑孓放於 pH12 的水溶液
		
負子蟲放於 pH12 的水溶液	水蛭放於 pH10 的水溶液	孑孓蛹放於 pH10 的水溶液

圖 22: pH 值實驗

(二)結果:表 5-1

種類	斑節水 螳螂	點刻三 線大龍 蟲	豉甲 蟲	小仰 泳椿	中華粗 仰椿	負子蟲	巴蛭 水蛭 (黑)	澤蛭 水蛭 (肉)	蜻蜓 水蠶	豆娘 水蠶	蓋斑 鬥魚	野生孔 雀魚	大肚魚	孑孓 及蛹
pH														
範圍	4-12	4-12	4-12	4-9	4-12	4-12	4-10	4-10	4-12	5-12	5-12	5-12	5-12	4-11

※結果:實驗結果得知孑孓及蛹的 pH 極限值為 4 及 11，因此適存範圍與孑孓及蛹重疊或更具耐受酸鹼的水生動物更能來防治孑孓，例如點刻三線大龍蟲、豉甲蟲、中華粗仰椿、負子蟲、斑節水螳螂、蜻蜓水蠶。

(二)溫度:

(一)方法: 1.高溫組:利用控溫加熱棒調定高溫約為 33°C。2.低溫組:利用冰塊保冰約 10°C。3. 實驗時間為維持為 1 小時，觀察受測物種是否存活。4.每種動物實驗 3 重複。

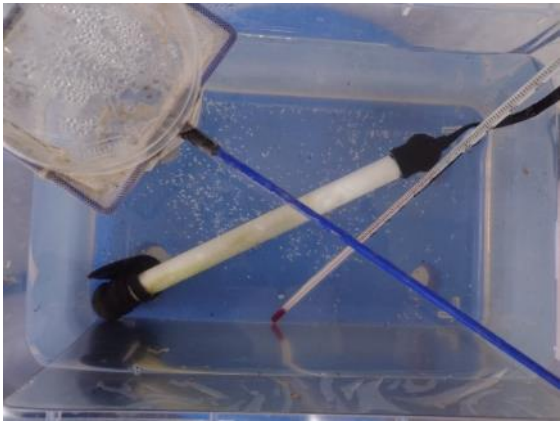

	
高溫組:利用控溫加熱器維持高溫	低溫組:利用冰塊保冰維持低溫約 10°C

圖 23:耐溫度實驗

(二)結果 1:高溫組 表 5-2

種類	斑節水 螳螂	點刻三線 大龍虱	豉甲蟲	小仰 泳椿	中華粗 仰椿	負子蟲	巴蛭 水蛭 (黑)	澤蛭 水蛭 (肉)	蜻蜓 水蠶	豆娘 水蠶	蓋斑 鬥魚	野生孔 雀魚	大肚魚	孑孓 及蛹
高溫														
存活	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

註:✓表示存活。

結果 1:低溫組 表 5-3

種類	斑節水 螳螂	點刻三線 大龍虱	豉甲蟲	小仰 泳椿	中華粗 仰椿	負子蟲	巴蛭水 蛭(黑)	澤蛭水 蛭(肉)	蜻蜓 水蠶	豆娘 水蠶	蓋斑 鬥魚	野生孔 雀魚	大肚魚	孑孓 及蛹
低溫														
存活	✓	✓	✓	X	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

註:✓表示存活;X:表示靜止不動

※結果:高溫約 33°C 對於水生動物來說還能夠容忍,低溫約 10°C,小仰泳椿及巴蛭屬水蛭呈現

種類	斑節水 螳螂	點刻三線 大龍虱	豉甲 蟲	小仰 泳椿	中華 粗仰椿	負子蟲	巴蛭水 蛭(黑)	澤蛭水 蛭(肉)	蜻蜓 水蠶	豆娘 水蠶	蓋斑鬥 魚	野生孔 雀魚	大肚魚	孑孓 及蛹
psu														
鹽度	20	20	15	15	20	20	15	10	20	15	15	20	20	15

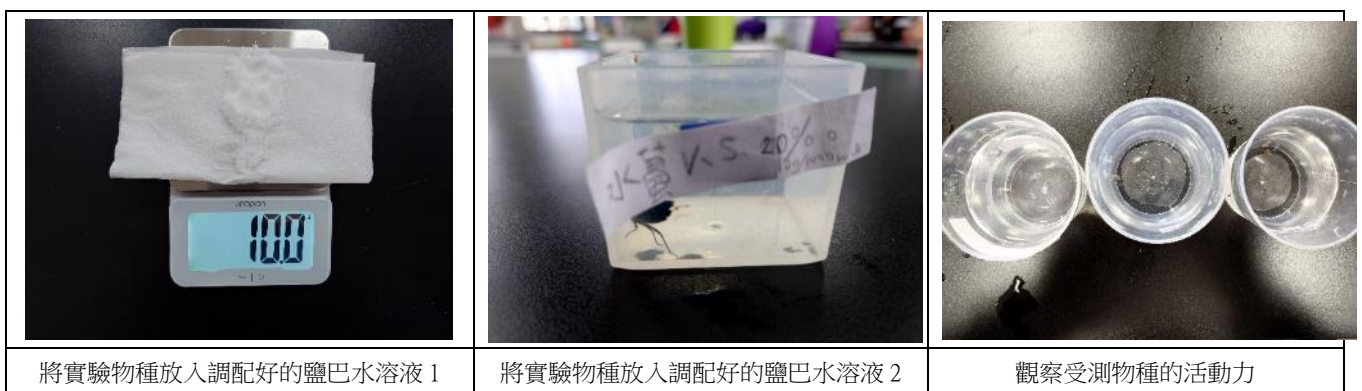
靜止不動狀態,我們立即中止實驗。

(三)鹽度:

- (一)方法: 1.利用電子磅秤量測鹽巴重量。2.先量取 10 克調配 1 公升的水。3.將物種放入靜置三天,過程中餵食赤紅蟲或餌料。4.如物種活動力佳則再放置新調配的鹽水水溶液,每次增加 5 克,直到物種呈現活動力不好。5.每種物種重複三次。

(二)結果:表 5-4

註:鹽度是指 1 公升水中有多少公克的鹽類,一般用千分之幾表示即 psu, 1 psu = 1ppt = 1‰ =



1mg/L。

圖 24:耐鹽度實驗

※結果:只有澤蛭屬(肉色)水蛭的耐鹽度低於孑孓及蛹的耐鹽度,耐鹽容忍度較低,其餘物種耐鹽度 $\geq$ 孑孓及蛹的耐鹽度。

(三)綜合討論:1.依 pH 值、溫度、鹽度為實驗項度,我們發現負子蟲、中華粗仰椿、蜻蜓水蠶、

斑節水螳螂、豉甲蟲所能耐受的程度是比其它物種好，受汙染的環境仍能存活，甚至比孑孓的耐受度還強，因此建議做為受汙染環境的生物防治孑孓的物種。2.其它物種在一般戶外水體也都能存活，也可以用來共同防治孑孓。

3.戶外的蓮花盆除了放入食蚊魚來防治孑孓外，放入我們實驗成功能取食孑孓的水生動物，評估過後也是一種好方法。



圖 25:蓮花盆

## 伍、 結論

- 一、目視與網捕法與水中捕撈法及蝦籠式誘餌陷阱法皆採集到水生動物。
- 二、會取食孑孓的物種:斑節水螳螂、太平洋麗龍蟲、點刻三線大龍蟲、豉甲蟲、小仰泳椿、中華粗仰椿、負子蟲、巴蛭屬水蛭(黑)、澤蛭屬水蛭(肉)、蜻蜓水蠶、豆娘水蠶、蓋斑鬥魚、野生孔雀魚、大肚魚共 14 種，不會取食的物種:水黽、姬牙蟲、小划椿。
- 三、水生動物每日吃食孑孓(50 隻孑孓共域)的量，魚類以蓋斑鬥魚最多(50 隻全吃完)，其它類以豉甲蟲最多(取食 49.7 隻)，斑節水螳螂 (取食 48 隻)次之、負子蟲(取食 47.3 隻)排昆蟲類第三，另外太平洋麗龍蟲、蜻蜓水蠶、中華粗仰椿也很會捕食孑孓，每日平均超過 30 隻孑孓。另外，每日取食孑孓(與 500 隻孑孓共域)的量，蓋斑鬥魚全吃完，其它類以豉甲蟲最多(食 285.67 隻)、負子蟲(食 214.67 隻)、斑節水螳螂 (食 157.33 隻)居後。
- 四、受測會取食孑孓的水生動物不管是何種尺寸的孑孓都會取食，沒有尺寸的限制。
- 五、捕食為隨機捕食，如孑孓或蛹游動過來隨即攻擊捕食，沒有特別偏好何種尺寸或蛹。
- 六、不同水體對於同一種物種捕食孑孓的能力是沒有影響。
- 七、在占滿約二分之一的水生植物的環境中，水生動物捕食孑孓的能力稍有下降。
- 八、大部分的水生動物皆能耐餓超過一個月。
- 九、模擬蚊蟲產卵環境實驗，除了澤蛭屬水蛭來不及取吃孑孓，其餘的都蚊蟲卵一孵化，孑孓即被取食。
- 十、豉甲蟲、華粗仰椿、負子蟲、蜻蜓水蠶、蓋斑鬥魚、孔雀魚、大肚魚都能靠視覺覓食。
- 十一、點刻三線大龍蟲、豉甲蟲、蓋斑鬥魚、孔雀魚、大肚魚能靠嗅覺覓食。
- 十二、斑節水螳螂、豉甲蟲、小仰泳椿、華粗仰椿、負子蟲、蓋斑鬥魚、孔雀魚、大肚魚對振動都有反應。
- 十三、實驗中的四種半翅目水生昆蟲，以負子蟲處理孑孓及蛹的時間最短(效能最好)。
- 十四、斑節水螳螂、負子蟲及中華粗仰椿都能同步(時)處理三隻孑孓。
- 十五、只有斑節水螳螂及蜻蜓水蠶是屬於坐等伏擊，其餘的水生動物都是主動捕食。
- 十六、所有的實驗物種都是個體獨立捕食，沒有合作覓食的行為。
- 十七、華粗仰椿、蜻蜓水蠶的組合及蜻蜓水蠶、水螳螂的組合全數取食完孑孓(共處一室)。
- 十八、依 pH 值、溫度、鹽度為實驗項度，我們發現負子蟲、豉甲蟲、中華粗仰椿、水螳螂、蜻蜓水蠶所能耐受的程度是比其它物種好，受汙染的環境仍能存活，甚至比孑孓的耐受度還強，因此評估後可做為汙染環境中的生物防治孑孓物種。

## 陸、 未來展望

- 一、可以探討會捕食孑孓實驗物種的繁殖效益。
- 二、目前尚未有水蛭類群對孑孓防治的相關研究，未來可深入探討。
- 三、在更大的水體將多種水生動物放在一起，給予水草及躲藏處(模擬野外環境)，觀察彼此之間的互動及共同防治孑孓的情形

## 柒、 參考文獻

### 書籍資料：

- 一、鄭勝仲、林義祥(2013)。椿象圖鑑。台中市。晨星出版社。
- 二、麥葛文(2007)。世界昆蟲圖鑑。貓頭鷹出版社。
- 三、張永仁(1998)。昆蟲圖鑑 2。臺北市。遠流出版社。
- 四、楊平世(1994)。臺灣的常見昆蟲。臺北市。渡假出版社。
- 五、楊平世(1992)。水棲昆蟲生態入門。臺灣省政府教育廳。
- 六、郭玉吉(1988)。昆蟲入門。南投縣。水生昆蟲博物館。

### 網路資料：

- 一、嘎嘎昆蟲網-青紋細蟴 *Ischnura senegalensis*。民 111 年 9 月 28 日，取自  
<http://gaga.biodiv.tw/9701bx/in94.htm>
- 二、臺灣物種名錄-*Helobdella* 澤蛭屬。民 111 年 11 月 30 日，取自  
[https://taibnet.sinica.edu.tw/chi/taibnet\\_species\\_detail.php?name\\_code=413847](https://taibnet.sinica.edu.tw/chi/taibnet_species_detail.php?name_code=413847)
- 三、嘎嘎昆蟲網-樹穴蜻蜓 *Lyiothemis flava* Oguma。民 111 年 12 月 7 日，取自  
<http://gaga.biodiv.tw/9701bx/in94.htm>
- 四、魚類資料庫-蓋斑鬥魚 *Macropodus opercularis*。民 111 年 12 月 8 日，取自  
<https://fishdb.sinica.edu.tw/chi/species.php?id=381391>
- 五、魚類資料庫-野生孔雀魚 *Poecilia reticulata*。民 111 年 12 月 9 日，取自  
<https://fishdb.sinica.edu.tw/chi/species.php?id=381035>
- 六、魚類資料庫-大肚魚 *Gambusia affinis*。民 111 年 12 月 9 日，取自  
<https://fishdb.sinica.edu.tw/chi/species.php?id=381033>

## 捌、 附錄照片



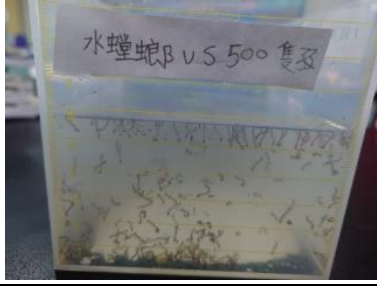



		
500 隻孑孓與蓋斑鬥魚共處一室	500 隻孑孓與負子蟲共處一室(俯視)	500 隻孑孓與水螳螂共處一室
		
巴蛭屬水蛭正吃食孑孓	豉甲蟲 vs 模擬蚊蟲產卵環境	可將會捕食孑孓的水生動物放置戶外景觀池

圖 26 附錄

※很特別、新奇的發現:巴蛭屬水蛭與澤蛭屬水蛭會取食孑孓，是文獻中所沒有紀載的。

## 【評語】 080308

本研究以不同水質條件測試，探討野外常見的 14 種水生動物在孑孓的生物防治評估。實驗結果得知，捕食孑孓的能力在魚類以蓋斑鬥魚，昆蟲類則以豉甲蟲、負子蟲、斑節水螳螂為最佳。此科學研究有系統地收集數據及分析，研究結果應可對登革熱、日本腦炎等病媒蚊的防治有所貢獻。

建議：

1. 採樣地點與方法的描述可以再更詳細。
2. 「實驗物種明顯活動力不足」為主觀判斷，是否可作為比較標準？  
需要再更科學化的操作型定義。
3. 震動實驗是覓食行為還是攻擊行為？如何確認？
4. 共同防治孑孓的實驗如何組合配對？主動捕食&坐等捕食的定義是否合理？都可以再有更名是的描述。
5. 如何證實組合物種所顯示的飲食數字是合作所產生？



# 作品海報

## 摘要

會取食子子的水生動物:斑節水螳螂、太平洋麗龍虱、點刻三線大龍虱、姬牙蟲、小仰泳椿、中華粗仰椿、負子蟲、巴廷屬水螳、澤蛙屬水螳、蜻蜒水螳、豆娘水螳、蓋斑門魚、野生孔雀魚、大肚魚共14種,不會取食的:水電、姬牙蟲、小划椿。每日取食子子(與500隻子子共域)的數量,魚類以蓋斑門魚最多(全吃完),其它類以姬牙蟲最多(取食285.67隻)、負子蟲(取食214.67隻)、斑節水螳螂(取食157.33隻)居後。本實驗經過不同水質條件測試(pH值、鹽度、溫度),可以應用於戶外景觀池、生態池或農業蓄水池,除了食蚊魚,水生昆蟲也是一種防治子子的方法,本研究確認這些水生動物能取食子子,也能讓大眾知道只要在水田發現這14種子子的天敵,就能執行「子」殺任務。

## 壹 研究動機

我們進行野外水田調查時,覺得很納悶,怎麼調查或掃網(網目只有1mm),都沒有捕撈到子子,於是我們想探討水塘中的子子是否被吃掉了呢?因此,我們想來研究野外常見的水生動物對子子的生物防治評估,我們將樣區的水生動物採集回來飼養及觀察,發現有很多面向可以探討。針對防治子子,我們產生了一股濃厚的好奇心,想進一步了解哪一種水生動物防治效果最好,因此對水生動物展開一連串的研究!

## 貳 研究目的及架構

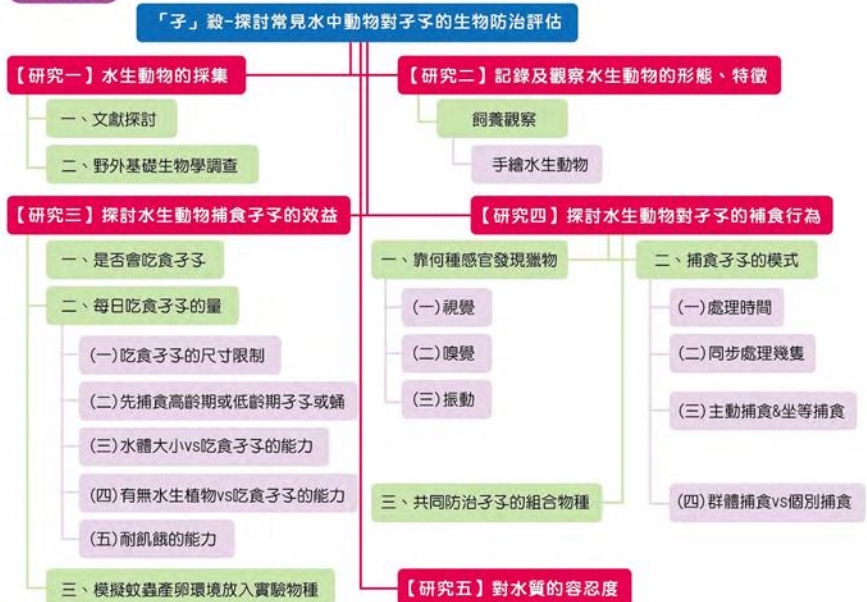
### 研究目的

- 一、水生動物的採集與文獻探討。
- 二、記錄及觀察採集到的水生動物的形態、特徵。
- 三、探討採集到的水生動物對捕食子子的效益。
- 四、探討採集到的水生動物對子子的捕食行為。
- 五、探討採集到的水生動物對水質的容忍度。

### 研究進度

研究步驟	111年				112年				
	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
文獻蒐集									
飼養觀察									
實驗設計與進行									
資料整理與統計									
撰寫作品說明書									

### 研究架構



## 參 研究設備與器材 (參閱說明書)

## 肆 研究過程、方法、結果及討論

### 【研究一】水生動物的採集與文獻探討

- 一、文獻探討與物種鑑定:
  - (一)方法:搜尋文獻及水生動物相關書籍進行閱讀與整理,部分物種請某大學教授協助利用分子鑑定技術判別。
  - (二)結果:實驗物種統整資料如下表:



※結果:原本以為是渦蟲,透過大學教授協助幫忙利用分子鑑定技術,結果得知是Helobdella澤蛙屬及Barbronia巴廷屬的水螳。

### 二、野外採集:

- (一)方法:到鄰近校園附近的水塘進行採集,分成以下三種方式:
  1. 目視與網捕法(netting):在岸邊發現有水生動物時,快速用昆蟲網撈起。
  2. 蝦籠式誘餌陷阱法(bait trap):將蝦籠用尼龍繩及竹筏子固定於岸邊,籠內放置餌料(魚屍體、大麥蟲)並在蝦籠內放保麗龍塊使其能漂浮於水面上,以便誘捕到水生昆蟲,不致於窒息死亡,約二週收籠。
  3. 水中撈法:沿著岸邊隨機撈取。
- (二)結果:
  1. 目視與網捕法與水中撈法及蝦籠式誘餌陷阱法皆採集到水生動物。採集樣區如下圖2。



2. 採集樣區及採集到的動物照片,如下圖3。



捕撈到的水生動物總數如下表1-1 時間:111.8~112.5

物種	斑節水螳螂	太平洋麗龍虱	點刻三線大龍虱	姬牙蟲	水電	臺灣紅娘華	小划椿象	小仰泳椿	野生孔雀魚
總計	5	3	4	7	30	3	145	601	9
物種	中華粗仰椿	負子蟲	水螳(黑色)	水螳(肉色)	蜻蜒水螳	豆娘水螳	鼓甲蟲(南方圓鼓甲)	大肚魚	蓋斑門魚(水族館購買)
總計	60	13	15	134	32	4	17	13	6

表1-1 野外採集水生昆蟲的種類及數量

- (三)討論:
  1. 除了蓋斑門魚(水族館購買)、大肚魚及野生孔雀魚(山間溝渠撈捕),全部都是棲地採集到的。
  2. 三種方法都能採集到,數量以小仰泳椿最多,甚至有看到群體飛離水池。

### 【研究二】觀察水生動物的形態、特徵

- 一、形態與特徵:
  - (一)方法:在學校以水族箱、水箱、桶子等容器長時間飼養、觀察並拍照、錄影。
  - 1、觀察水生動物的形態及特徵
  - (二)結果:將他們的外型畫下來並描述出來。下表2-1 為水生動物身體的形態構造

物種	形態描述	照片	繪圖
斑節水螳螂	全身細長柔軟,呈褐色,複眼呈圓形,頭呈倒三角形,具刺吸式口器。前足特化成類似螳螂之捕捉足,中後足細長,腹部尾端具呼吸管,與螳螂的形態相似,因此稱為水螳螂。		
太平洋麗龍虱	前胸背板為黃褐色,近翅鞘和頭部後緣有黑色斑紋,翅鞘底面黃褐色,中央為黑色斑紋,邊緣有格子狀的黃斑,兩根細細的觸角。		
點刻三線大龍虱	體型為橢圓形,體色呈墨綠色且光滑具光澤,背面兩側具黃褐色長條斑紋,兩片翅鞘上各有縱向點刻刻痕線三條,後足以葉狀。		
姬牙蟲	體背隆突光亮,黑色無斑紋,腹面褐色,各腳黃褐色,附節黑色。其胸部腹面中央具龍骨狀突起,狀似牙齒,因此稱為牙蟲。		
水電	體背褐色且密布細毛,前胸背板中央有一條不明顯的縱紋,腹面灰白色,前足縮於頭部下面,中、後足細長。		
臺灣紅娘華	體色為深褐色,有繃刀狀的前肢用來捕捉獵物,尾部有二條細長的呼吸管。		
小划椿	頭部與前胸背板同寬,複眼褐色,體背褐色,小槓板褐色,前翅革質翅翅到後緣有一條斜線分割,下半部具多條黑褐色的縱紋或呈影狀條紋。		
小仰泳椿	整體呈現細長狀,頭部圓狀,腹部尾端逐漸尖細,呈流線形,背部翅鞘呈透明白色,因夾藏空氣所以有亮亮白白的反光,前中足都縮於胸部,靠後足滑步。		
中華粗仰椿	整體呈現船型狀具流線形,頭部圓狀,腹部尾端逐漸尖細,腹面有兩個淡藍色色斑。		
負子蟲	身體圓而扁平,前腳特化為捕捉腳,利於捕捉其他小型動物,後腳則特化為游泳腳善於游泳,身體兩側著生緣毛。		
水螳 Helobdella	體型可伸長或呈球狀,背面呈暗褐色,腹面平坦,具吻部,無雜色斑。		
水螳 Barbronia	體長稍扁,好像圓柱形,身體可伸長,具吻部,背面綠中帶黑,腹面平坦,黃褐色。		
鼓甲蟲 Denticus australis	身體呈卵圓形,扁平,藍黑色,有金屬光澤,前足細長,中足和後足短扁,功能像槳一樣幫助游泳。		
蜻蜒水螳	身體寬扁或圓胖,沒有尾鰭。		
豆娘水螳	身體細長,腹部末端有三片尾鰭。		
蓋斑門魚	體略呈長卵形而體側扁平。口小,關於吻端上位;口斜裂,尾鰭內凹,上下葉細長,鰓蓋後上方有一暗綠色圓斑,周圍為黃色或紅色邊。		
大肚魚	無鱗,體背部淡灰至暗褐色,有螢光,腹面淡白色,腹部後端有一黑色斑。		
野生孔雀魚	身體延長,前部略呈楔狀,後部側扁,體黃褐色,具有金色光澤,但體色的變異很大,常具有鮮艷的橘黃色或藍青色斑紋。		

圖4-形態及特徵

### 【研究三】探討採集到的水生動物對捕食子子的效益

- 一、是否會取食子子?



圖5-吃食子子

- (一)方法:參閱說明書或作者現場解說。
- (二)結果:水生動物對子子吃食的結果,如表3-1進食的結果

會取食子子的類別		不會取食的類別
斑節水螳螂、太平洋麗龍虱、點刻三線大龍虱、姬牙蟲、小仰泳椿、中華粗仰椿、負子蟲、水螳(黑)、水螳(肉)、蜻蜒水螳、豆娘水螳、蓋斑門魚	水電、姬牙蟲、小划椿	

- (三)討論:
  1. 水電、姬牙蟲、小划椿皆不會捕食子子,推測原因為:水電因為腳的細毛有表面張力的關係,因此無法伸入水面下捕食子子。另外,姬牙蟲、小划椿為腐食性,不主動攻擊子子。
  2. 其餘的都为肉食性昆蟲,皆會捕食子子。因為我們好奇這些水生動物捕食子子每天是否有上限值,於是我們設計以下這個實驗。

## 二、水生動物每日取食子子的量

(一)方法：參閱說明書或作者現場解說。

(二)結果：如下表3-2

物種	斑節水螳螂	太平洋麗龍蝦	點刻三線大龍蝦	鼓甲蟲	小仰泳椿	中華粗仰泳	負子蟲	水蛙(黑色)	水蛙(肉色)	蜻蜓水蚤	豆娘水蚤	蓋斑門魚	野生孔雀魚	大肚魚
第一次	49	39	38	50	26	37	43	12	2	50	49	50	24	39
第二次	48	50	12	49	25	23	49	11	1	31	47	50	32	50
第三次	47	46	47	50	19	30	50	42	4	48	40	50	47	50
平均	48	45	32.3	49.66	23.3	30	47.3	21.6	2.33	43	45.3	50	34.3	46.3

※取食子子前三名物種依序為：蓋斑門魚 > 鼓甲蟲 > 斑節水螳螂，負子蟲是第四名(昆蟲類的第三名)

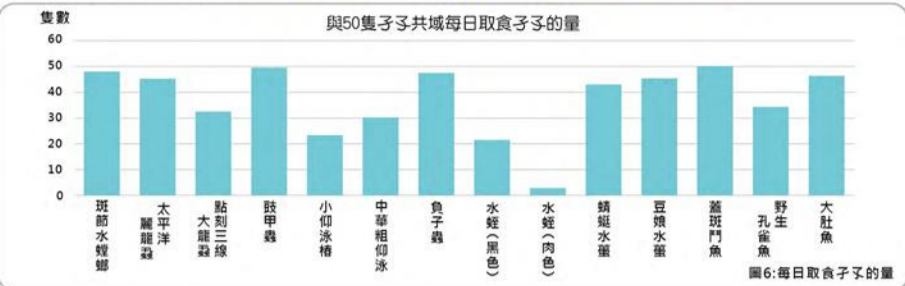


圖6:每日取食子子的量

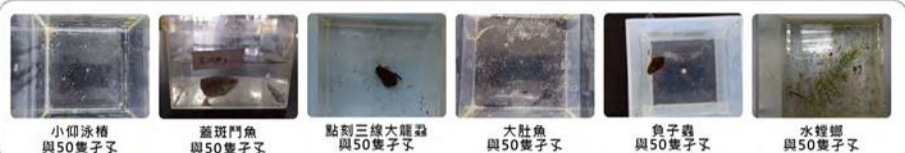


圖6:每日吃食子子的量

(三)討論：

- 根據實驗結果，蓋斑門魚是最會吃食子子的生物，但以水生昆蟲來說，負子蟲、斑節水螳螂、鼓甲蟲、太平洋麗龍蝦、蜻蜓水蚤、中華粗仰泳也很會捕食子子，密度50隻子子/500ml的環境內每日平均超過30隻子子。
- 我們以最會吃食的幾種水生動物來進一步做實驗，將500隻子子與一隻水生動物放在一起，紀錄一天的吃食量，統計如下表。

水生動物	蓋斑門魚	鼓甲蟲	斑節水螳螂	負子蟲
方法:與500隻子子在一公升容器5cm水位高的環境，一天取食子子的量。(重複三次)	不到三小時的時間，子子全數一掃而空，真可謂子子殺手。(三次都是如此)	第一次:267隻。 第二次:259隻。 第三次:316隻。	第一次:158隻。 第二次:124隻。 第三次:190隻。	第一次:255隻。 第二次:171隻。 第三次:218隻。
平均	500隻	280.67隻	157.33隻	214.67隻

※結果:取食子子能力的水生昆蟲順序:鼓甲蟲 > 負子蟲 > 斑節水螳螂。

## 二之1、延伸實驗-捕食尺寸的限制

※想法：依據上述實驗，選出會吃食子子的物種，觀察是否有尺寸的限制？

(一)方法：參閱說明書或作者現場解說。



圖7:取食的限制

(二)結果：表3-3 捕食尺寸限制

物種	斑節水螳螂	太平洋麗龍蝦	點刻三線大龍蝦	鼓甲蟲	小仰泳椿	中華粗仰泳	負子蟲	水蛙(黑色)	水蛙(肉色)	蜻蜓水蚤	豆娘水蚤	蓋斑門魚	野生孔雀魚	大肚魚
第一次	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
第二次	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
第三次	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

註：✓表示不管4mm或7mm子子都會吃食。

(三)討論：從實驗結果得知，不管是何種尺寸的子子，上述水生動物都會捕食(剛孵化到終齡)

## 二之2、水生動物對於蛹、高齡子子、低齡子子是否有取食偏好？

※想法：既然會捕食子子，那對於捕食高、低齡子子或蛹是否有偏好呢？

(一)方法：參閱說明書或作者現場解說。

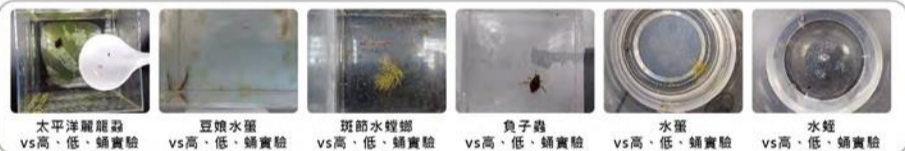


圖8:取食偏好實驗

(二)結果：每種物種做三次，先捕食的紀錄如下表3-4

物種	斑節水螳螂	太平洋麗龍蝦	點刻三線大龍蝦	鼓甲蟲	小仰泳椿	中華粗仰泳	負子蟲	水蛙(黑色)	水蛙(肉色)	蜻蜓水蚤	蓋斑門魚	野生孔雀魚	大肚魚
先捕食蛹	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
先捕食高齡	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
先捕食低齡	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
1小時後剩餘數	0	0	2	0	1	0	0	2	2	0	0	0	0

(三)討論：

- 大部分的水生動物皆有優先捕食高齡、低齡及蛹的情形，無特別偏好，我們推測捕食為隨機捕食，如子子或蛹游動過來隨即攻擊捕食，沒有特別偏好何種尺寸。
- 但以大肚魚及孔雀魚來說，在捕食高齡子子時無法一口吃下，觀察到會先咬子子，好像因為口徑大小的原因，之後咬住之後才慢慢的吞嚥。

## 二之3、不同水體大小是否影響捕食子子的能力呢？

※想法：既然未來是要將這些水生動物應用於戶外進行子子的防治，那麼水量的多寡會影響其捕食能力嗎？

(一)方法：參閱說明書或作者現場解說。

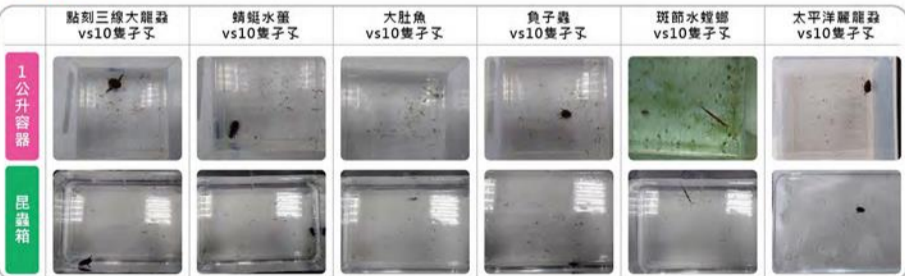


圖9:不同水體大小

(二)結果：表3-5：一公升容器，水位高度5cm。

物種	斑節水螳螂	太平洋麗龍蝦	點刻三線大龍蝦	鼓甲蟲	小仰泳椿	中華粗仰泳	負子蟲	水蛙(黑色)	水蛙(肉色)	蜻蜓水蚤	蓋斑門魚	野生孔雀魚	大肚魚
第一次	9	8	6	10	5	9	9	1	1	6	10	6	7
第二次	8	7	5	10	5	10	9	2	1	5	10	5	6
第三次	9	7	6	10	6	8	10	1	1	6	10	7	7
平均	8.66	7.33	5.66	10	5.33	9	9.33	1.33	1	5.66	10	6	6.66

表3-6：硬塑膠昆蟲箱(28cm x 18.6cm x 16.9cm)，水位高度5cm。

物種	斑節水螳螂	太平洋麗龍蝦	點刻三線大龍蝦	鼓甲蟲	小仰泳椿	中華粗仰泳	負子蟲	水蛙(黑色)	水蛙(肉色)	蜻蜓水蚤	蓋斑門魚	野生孔雀魚	大肚魚
第一次	8	7	5	10	5	10	8	1	0	6	10	6	6
第二次	9	8	7	10	6	10	9	1	1	6	10	5	6
第三次	9	8	4	10	6	9	9	2	1	6	10	6	7
平均	8.66	7.66	5.33	10	5.66	9.66	8.66	1.33	0.66	6	10	5.66	6.33

(三)討論：分析實驗結果得知，不同水體對於同一物種捕食子子的能力是沒有太大相關，但建議未來可以再實驗更大容量的水體或實驗時間加長。

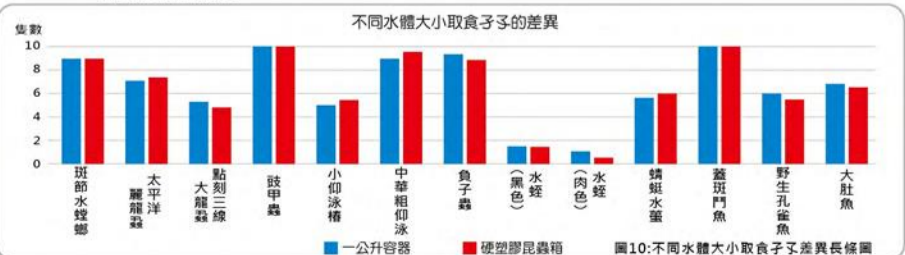


圖10:不同水體大小取食子子差異長條圖

## 二之4、有無水生植物是否影響捕食子子的能力呢？

※想法：因為野外靜水塘可能會有水草大量叢生的現象，我們想知道這樣的環境會影響捕食能力嗎？

(一)方法：參閱說明書或作者現場解說。

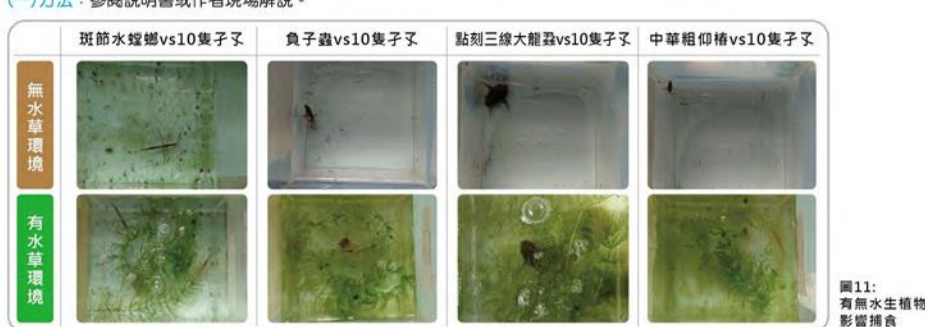


圖11:有無水生植物影響捕食

(二)結果：表3-7 占滿約二分之一的水生植物的環境對於捕食子子的能力

物種	斑節水螳螂	太平洋麗龍蝦	點刻三線大龍蝦	鼓甲蟲	小仰泳椿	中華粗仰泳	負子蟲	水蛙(黑色)	水蛙(肉色)	蜻蜓水蚤	蓋斑門魚	野生孔雀魚	大肚魚
第一次	7	6	4	7	5	9	7	0	1	4	10	5	6
第二次	8	7	6	4	5	8	8	1	0	5	10	6	7
第三次	8	8	5	3	5	8	7	1	0	5	10	5	6
平均	7.66	7	5	4.67	5	8.33	7.33	0.66	0.33	4.66	10	5.33	6.33

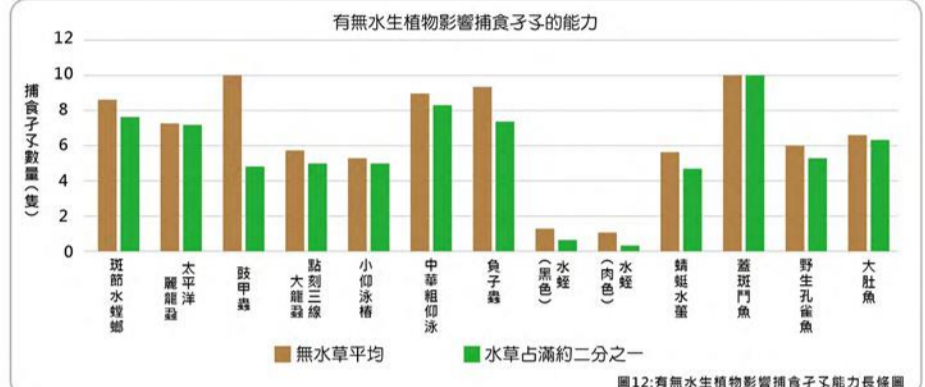


圖12:有無水生植物影響捕食子子能力長條圖

(三)討論：比較上一個實驗的實驗結果(對照組:一公升容器，水位高度5cm高)，發現在占滿約二分之一的水生植物的環境中，水生動物捕食子子的能力稍有下降，但魚類的部分影響不大，因此建議野外水體利用生物防治法來控制子子數量，也需定期清除過多的水生植物以維持捕食子子的效益。

## 二之5、水生動物的耐飢程度呢？

※想法：因為想將這些水生動物推廣至戶外的池塘來防治子子，因此想了解如果沒有額外餵食的情況下，他們的耐飢程度是如何？

(一)方法：參閱說明書或作者現場解說。



圖13:耐飢程度實驗

(二)結果：表3-8

物種	斑節水螳螂	點刻三線大龍蝦	小仰泳椿	鼓甲蟲	中華粗仰泳	負子蟲	水蛙(黑色)	水蛙(肉色)	蜻蜓水蚤	蓋斑門魚	野生孔雀魚	大肚魚
耐飢天數	超過1個月	超過1個月	14天	5天	8天	超過1個月	超過1個月	超過1個月	超過1個月	超過1個月	超過1個月	超過1個月

(三)討論：當實驗物種明顯活動力不足，呈現不自然的狀態，我們隨即停止實驗，結果發現大部分的水生動物皆能耐飢超過一個月，因此一個月內無需特別餵食，但鼓甲蟲最短，只能維持5天，可能與他一游動需要大量能量有關。

## 三、模擬蚊蟲產卵環境放入實驗物種觀察是否有效防治蚊子滋生

※想法：是否水生動物能在蚊卵一孵化即可開始捕食子子？

(一)方法：參閱說明書或作者現場解說。

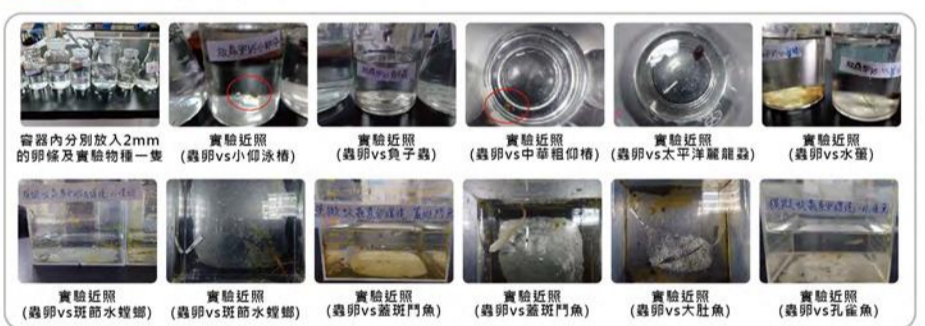


圖14:模擬蚊蟲產卵環境

(二)結果：表3-9

物種	斑節水螳螂	太平洋麗龍蝦	點刻三線大龍蝦	鼓甲蟲	小仰泳椿	中華粗仰泳	負子蟲	水蛙(黑色)	水蛙(肉色)	蜻蜓水蚤	蓋斑門魚	野生孔雀魚	大肚魚	對照組
第一次	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	很多子子
第二次	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	很多子子

註：✓表示實驗結束子子都被吃掉。 X表示實驗結束後有些子子變成蛹。

(三)討論：

- 實驗過程中，小仰泳有死亡，我們馬上重新實驗，推測可能是個體差異所導致。
- 實驗魚類組裡的蚊子卵只要有孵化成子子，馬上就被魚吃掉。
- 潭蛙屬水蛙(肉)在實驗結束後有蛹出現，可見潭蛙屬水蛙來不及吃完子子，而變成了蛹，潭蛙屬水蛙(肉)單一隻在捕食子子的效益上沒有其它的高。
- 其它類別有子子與實驗物種共存的情形發生，推測可能實驗物種處於飽足的狀態，最後仍被捕食一空。

## 【研究四】探討水生動物對子子的捕食行為

### 一、水生動物是靠何種感官(視覺、嗅覺、振動)來偵測獵物的存在呢？

※想法：本次實驗物種是肉食性水棲動物，我們想進一步了解，是利用什麼感官發現獵物的呢？

【視覺】

(一)方法：參閱說明書或作者現場解說。

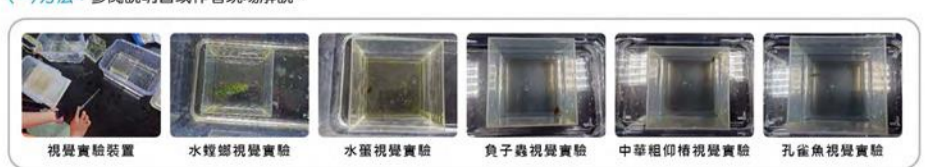


圖15:視覺實驗

(二)結果：表4-1

物種	斑節水螳螂	點刻三線大龍蝦	鼓甲蟲	小仰泳椿	中華粗仰泳	負子蟲	水蛙(黑色)	水蛙(肉色)	蜻蜓水蚤	蓋斑門魚	野生孔雀魚	大肚魚
第一次	X	X	✓	X	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓
第二次	✓	X	✓	X	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓
第三次	X	X	✓	X	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓

中華粗仰泳、負子蟲、鼓甲蟲、蜻蜓水蚤、蓋斑門魚、野生孔雀魚、大肚魚都能游到容器邊緣想捕食子子，因此，這些物種會利用視覺偵測獵物，而斑節水螳螂、巴廷屬的水蛙則部分成功，我們推測這兩種物種非主要以視覺來搜尋獵物，可能還輔以其他感官。

## 嗅覺

※想法：想這些水生動物的嗅覺是否有助於捕食獵物呢？

(一)方法：參閱說明書或作者現場解說。

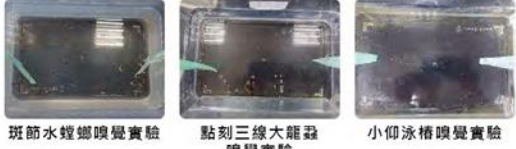


圖16: 嗅覺實驗

(二)結果：表4-2嗅覺實驗

種類	斑節水螳螂	點刻三線大龍虱	鼓甲蟲	小仰泳椿	中華粗仰泳	負子蟲	水蛙(黑色)	水蛙(肉色)	蜻蜓水蚤	蓋斑門魚	野生孔雀魚	大肚魚
第一次	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
第二次	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓
第三次	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓

※結果：我們發現只有斑節水螳螂及蜻蜓水蚤的嗅覺反應不靈敏。

(三)討論：我們推論斑節水螳螂與蜻蜓水蚤對嗅覺的反應不靈敏(嗅覺感官不發達)，但其餘的物種不到5分鐘就找到的有點刻三線大龍虱、蓋斑門魚、野生孔雀魚、大肚魚，推論這四種嗅覺感官較為靈敏。

## 振動

※想法：除了靠視覺、嗅覺偵測獵物外，是否也會偵測水面上的波動而去找食物呢？

(一)方法：參閱說明書或作者現場解說。



圖17: 振動實驗

(二)結果：表4-3振動對實驗物種的行為反應

種類	斑節水螳螂	點刻三線大龍虱	鼓甲蟲	小仰泳椿	中華粗仰泳	負子蟲	水蛙(黑色)	水蛙(肉色)	蜻蜓水蚤	蓋斑門魚	野生孔雀魚	大肚魚
第一次	✓	X	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓
第二次	✓	X	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓
第三次	✓	X	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓

※結果：斑節水螳螂、鼓甲蟲、小仰泳椿、中華粗仰泳、負子蟲、蓋斑門魚、野生孔雀魚、大肚魚對振動都有反應；點刻三線大龍虱、水蛙(黑)、水蛙(肉)及蜻蜓水蚤無反應。

(三)綜合討論：

歸納有反應的物種：表4-4

三種感官都有反應的物種	蓋斑門魚、野生孔雀魚、大肚魚、鼓甲蟲、負子蟲、中華粗仰泳
兩種感官有反應的物種	小仰泳椿、點刻三線大龍虱
僅一種或部分二種感官有反應的物種	蜻蜓水蚤、水蛙(肉)、水蛙(黑)、斑節水螳螂

從這一系列感官實驗中，可以知道蓋斑門魚、野生孔雀魚、大肚魚、鼓甲蟲、負子蟲、中華粗仰泳對於獵物的感知是比較明顯的，難怪捕獲子子的能力也比較強。

## 二、捕食子子的模式

### 一 處理時間

※想法：我們想比較半翅目的水生昆蟲捕食到子子及蛹時的處理時間。

(一)方法：參閱說明書或作者現場解說。



圖18: 處理時間

(二)結果1：處理一隻子子的時間 表4-5

時間	物種	斑節水螳螂	小仰泳椿	中華粗仰泳	負子蟲
處理第一隻子子		58分2秒	22分51秒	22分5秒	10分27秒
處理第二隻子子		58分47秒	20分29秒	29分46秒	18分32秒
處理第三隻子子		54分26秒	18分45秒	24分36秒	16分27秒
平均時間		57分5秒	20分38秒	25分44秒	15分9秒

結果2：處理一隻蛹的時間 表4-6

時間	物種	斑節水螳螂	小仰泳椿	中華粗仰泳	負子蟲
處理第一隻子子		30分0秒	1時15分9秒	36分24秒	16分0秒
處理第二隻子子		32分26秒	1時13分7秒	34分18秒	21分0秒
處理第三隻子子		33分24秒	1時11分23秒	37分26秒	16分21秒
平均時間		31分57秒	1時13分13秒	36分3秒	17分47秒

※結果：四種半翅目水生昆蟲，以負子蟲處理子子及蛹的時間最短。

負子蟲是這四種半翅目中處理子子的時間最短，也是主動性較高的昆蟲，會一直游走一直搜尋獵物，是可以強力推薦放至戶外的池塘、生態池、景觀池或農業蓄水池來防治子子。

※為什麼其他物種不研究處理時間？因為都是直接吃食，非吸食，所以只研究半翅目的處理時間。

### 二 同步處理子子隻數

※想法：我們發現半翅目水生昆蟲能同時捕獲超過一隻以上的子子，因此我們想知道到底可以同時捕幾隻？

(一)方法：參閱說明書或作者現場解說。



圖19: 同步處理子子

(二)結果：我們發現長翅水螳螂、負子蟲及中華粗仰泳都能同步處理三隻子子，即捕捉足各獲取一隻，口器也能刺吸一隻，同工效益很好，但小仰泳椿則無此情形，只能刺吸一隻子子。

### 三 主動捕食&坐等捕食

※想法：我們想了解這些水生動物是主動尋找子子捕食，哪些是屬於坐等型伏擊？

(一)方法：參閱說明書或作者現場解說。

(二)結果：表4-7

種類	斑節水螳螂	點刻三線大龍虱	鼓甲蟲	小仰泳椿	中華粗仰泳	負子蟲	水蛙(黑色)	水蛙(肉色)	蜻蜓水蚤	蓋斑門魚	野生孔雀魚	大肚魚
捕食類型	○	○	✓	✓	✓	✓	✓	✓	○	✓	✓	✓

註：✓為主動捕食，○為坐等捕食

※結果：只有斑節水螳螂及蜻蜓水蚤是屬於坐等伏擊，其餘的都是主動捕食。

### 四 群體捕食、個體捕食

※想法：我們想了解這些水生動物捕食子子會有合作覓食的策略嗎？

(一)方法：參閱說明書或作者現場解說。



圖20: 群體、個別捕食

(二)結果：表4-8

種類	斑節水螳螂	點刻三線大龍虱	鼓甲蟲	小仰泳椿	中華粗仰泳	負子蟲	水蛙(黑色)	水蛙(肉色)	蜻蜓水蚤	蓋斑門魚	野生孔雀魚	大肚魚
捕食個體	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

註：✓為個體捕食

※結果：所有的實驗物種都是個體獨立捕食，沒有合作覓食(即一隻驅趕子子，另一取食)的行為。

## 三、共同防治子子的組合物種

※想法：既然有很多水生動物會捕食子子，哪些組合會比較好呢？

(一)方法：參閱說明書或作者現場解說。



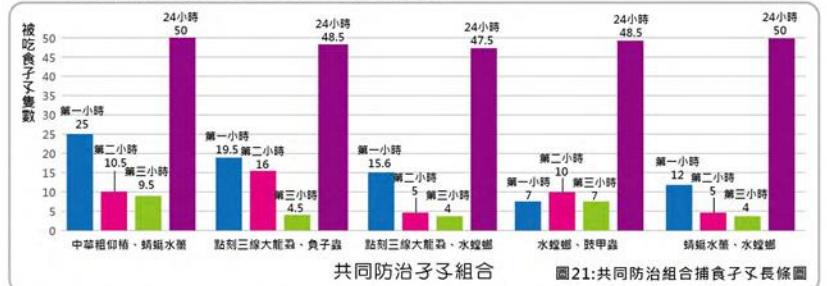
圖21: 共同防治組合

中華粗仰泳與蜻蜓水蚤共同捕食子子；點刻三線大龍虱與負子蟲共同捕食子子；點刻三線大龍虱與水螳螂共同捕食子子。

(二)結果：表4-9

組合物種	第一個小時吃幾隻			第二個小時吃幾隻			第三個小時吃幾隻			24小時共吃幾隻		
	第一次	第二次	平均	第一次	第二次	平均	第一次	第二次	平均	第一次	第二次	平均
中華粗仰泳、蜻蜓水蚤	21	29	25	14	7	10.5	6	13	9.5	50	50	50
點刻三線大龍虱、負子蟲	28	11	19.5	9	23	16	1	8	4.5	47	50	48.5
點刻三線大龍虱、水螳螂	12	19	15.5	5	5	5	6	2	4	45	50	47.5
水螳螂、鼓甲蟲	2	13	7.5	16	4	10	12	2	7	50	47	48.5
蜻蜓水蚤、水螳螂	11	13	12	4	6	5	1	7	4	50	50	50

※結果：第一個小時捕食子子的量，平均以中華粗仰泳、蜻蜓水蚤組合效果最好，第二個小時是點刻三線大龍虱、負子蟲的組合，第三小時是中華粗仰泳、蜻蜓水蚤的組合，最後中華粗仰泳、蜻蜓水蚤的組合及蜻蜓水蚤、水螳螂的組合全數吃完了子子。



(三)討論：本實驗結果可以應用於戶外景觀池或生態池，除了食蚊魚可防治子子外，這些水生昆蟲的組合也是另外一種防治子子的選擇，平均日食子子皆超過47.5隻。另外，因本實驗空間較小(僅有500毫升)，有發現點刻三線大龍虱有要攻擊水螳螂的傾向，因此空間大一些或更多的遮蔽物也許能避免互相攻擊的可能，未來更能放入不同種的物種共存來防治子子，這是可以再進一步研究的方向。

## 【研究五】探討採集到的水生動物對水質(pH值、溫度、鹽度)的容忍度

※想法：想知道這些水生動物對水質的容忍度較好，可運用在子子的防治上。

一 pH值：(一)方法：參閱說明書或作者現場解說。

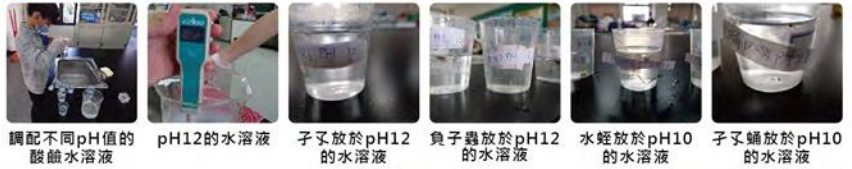


圖23: pH值實驗

(二)結果：表5-1

種類	斑節水螳螂	點刻三線大龍虱	鼓甲蟲	小仰泳椿	中華粗仰泳	負子蟲	水蛙(黑色)	水蛙(肉色)	蜻蜓水蚤	蓋斑門魚	野生孔雀魚	大肚魚	子子及蛹
pH範圍	4-12	4-12	4-12	4-9	4-12	4-12	4-10	4-10	4-12	5-12	5-12	5-12	4-11

※結果：實驗結果得知子子及蛹的pH極限為4及11，因此適存範圍與子子及蛹重疊或更具耐於酸鹼的水生動物更能來防治子子，例如點刻三線大龍虱、鼓甲蟲、中華粗仰泳、負子蟲、斑節水螳螂、蜻蜓水蚤。

二 溫度：(一)方法：參閱說明書或作者現場解說。



圖24: 溫度實驗

(二)結果1：高溫組 表5-2

種類	斑節水螳螂	點刻三線大龍虱	鼓甲蟲	小仰泳椿	中華粗仰泳	負子蟲	水蛙(黑色)	水蛙(肉色)	蜻蜓水蚤	蓋斑門魚	野生孔雀魚	大肚魚	子子及蛹
高溫存活	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

結果2：低溫組 表5-3

種類	斑節水螳螂	點刻三線大龍虱	鼓甲蟲	小仰泳椿	中華粗仰泳	負子蟲	水蛙(黑色)	水蛙(肉色)	蜻蜓水蚤	蓋斑門魚	野生孔雀魚	大肚魚	子子及蛹
低溫存活	✓	✓	✓	X	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓

※結果：高溫約33°C對於水生動物來說還能夠容忍，低溫約10°C，小仰泳椿及蜻蜓水蚤呈現靜止不動狀態，我們立即中止實驗。

三 鹽度：(一)方法：參閱說明書或作者現場解說。



圖25: 鹽度實驗

(二)結果：表5-4

種類	斑節水螳螂	點刻三線大龍虱	鼓甲蟲	小仰泳椿	中華粗仰泳	負子蟲	水蛙(黑色)	水蛙(肉色)	蜻蜓水蚤	蓋斑門魚	野生孔雀魚	大肚魚	子子及蛹
psn鹽度	20	20	15	15	20	20	15	10	20	15	20	20	15

註：鹽度是指1公升水中有多少公克的鹽類，一般用千分之幾表示即psu，1 psu = 1ppt = 1‰ = 1mg/L。

※結果：只有澤蛙(肉色)水蛙的耐鹽度低於子子及蛹的耐鹽度，耐鹽度容忍度較低，其餘物種耐鹽度≥子子及蛹的耐鹽度。

(三)綜合討論：

- 依pH值、溫度、鹽度為實驗項度，我們發現負子蟲、中華粗仰泳、蜻蜓水蚤、斑節水螳螂、鼓甲蟲所能耐受的度是比其它物種好，受汙染的環境仍能存活，甚至比子子的耐度還強，因此建議做為汙染環境的生物防治子子的物種。
- 其它物種在一般戶外水體也都能存活，也可以用來共同防治子子。
- 戶外的蓮花盆除了放入食蚊魚來防治子子外，放入我們實驗功能取食子子、的水生動物，評估過後也是一種好方法。

## 伍 結論

- 目視與網捕法與水中捕撈法及蝦籠式誘餌陷阱法皆採集到水生動物。
- 會取食子子的物種：斑節水螳螂、太平洋龍虱、點刻三線大龍虱、鼓甲蟲、小仰泳椿、中華粗仰泳、負子蟲、巴經屬水蛙(黑)、澤蛙屬水蛙(肉)、蜻蜓水蚤、豆娘水蚤、蓋斑門魚、野生孔雀魚、大肚魚共14種，不會取食的物種：水龜、虎頭蛙、小划蟾。
- 水生動物每日吃食子子(50隻子子共域)的量，魚類以蓋斑門魚最多(50隻全吃完)，其它類以鼓甲蟲最多(取食49.7隻)，斑節水螳螂(取食48隻)次之、負子蟲(取食47.3隻)排昆蟲類第三，另外太平洋龍虱、蜻蜓水蚤、中華粗仰泳也很會捕食子子，每日平均超過30隻子子。另外，每日取食子子(與500隻子子共域)的量，蓋斑門魚全吃完，其它類以鼓甲蟲最多(食265.67隻)、負子蟲(食214.67隻)、斑節水螳螂(食157.33隻)居後。
- 受測會取食子子的水生動物不管是任何種尺寸的子子都會取食，沒有尺寸的限制。
- 捕食為隨機捕食，如子子或蛹游動過來隨即攻擊捕食，沒有特別偏好何種尺寸或蛹。
- 不同水體對於同一物種捕食子子的能力是沒有影響。
- 在占滿約二分之一的水生植物的環境中，水生動物捕食子子的能力稍有下降。
- 大部分的水生動物皆能耐超過一個月。
- 模擬蚊蟲產卵環境實驗，除了澤蛙屬水蛙來不及取完子子，其餘的都數日孵化，子子即被取食。
- 鼓甲蟲、中華粗仰泳、負子蟲、蜻蜓水蚤、蓋斑門魚、孔雀魚、大肚魚都能靠視覺覓食。
- 點刻三線大龍虱、鼓甲蟲、蓋斑門魚、孔雀魚、大肚魚能靠嗅覺覓食。
- 斑節水螳螂、鼓甲蟲、小仰泳椿、中華粗仰泳、負子蟲、蓋斑門魚、孔雀魚、大肚魚對振動都有反應。
- 實驗中的四種半翅目水生昆蟲，以負子蟲處理子子及蛹的時間最短(效能最好)。
- 斑節水螳螂、負子蟲及中華粗仰泳都能同時(時)處理三隻子子。
- 只有斑節水螳螂及蜻蜓水蚤是屬於坐等伏擊，其餘的水生動物都是主動捕食。
- 所有的實驗物種都是個體獨立捕食，沒有合作覓食的行為。
- 中華粗仰泳、蜻蜓水蚤的組合及蜻蜓水蚤、水螳螂的組合全數吃食完子子(共處一室)。
- 依pH值、溫度、鹽度為實驗項度，我們發現負子蟲、鼓甲蟲、中華粗仰泳、水螳螂、蜻蜓水蚤所能耐受的度是比其它物種好，受汙染的環境仍能存活，甚至比子子的耐度還強，因此評估後可做為汙染環境中的生物防治子子物種。

## 陸 未來展望

- 可以探討會捕食子子實驗物種的繁殖效益。
- 目前尚未有水螳螂對子子防治的相關研究，未來可深入探討。
- 在更大的水體將所有的水生動物放在一起，給予水草及較寬廣(模擬野外環境)，觀察彼此之間的互動情形。

## 柒 參考文獻

書籍資料  
一、鄭勝仲、林義祥(2013)。極象圖鑑。台中市：農星出版社。  
二、麥英文(2007)。世界昆蟲圖鑑。貓頭鷹出版社。  
三、張永仁(1998)。昆蟲圖鑑。臺北市：遠流出版社。  
四、楊平世(1994)。臺灣的常見昆蟲。臺北市：復旦出版社。  
五、楊平世(1992)。水棲昆蟲生態入門。臺灣省政府教育廳。  
六、郭玉吉(1988)。昆蟲入門。南投縣：水生昆蟲博物館。  
網路資料  
一、蝦籠昆蟲網-青紋細蟬 *Ischnura senegalensis*。  
民111年9月28日，取自<http://gaga.biody.tw/9701/bx/in94.htm>。  
二、臺灣物種名錄-*Helobdella* 澤蛙屬。民111年11月30日，取自[https://taibnet.sinica.edu.tw/chi/taibnet\\_species\\_detail.php?name\\_code=413847](https://taibnet.sinica.edu.tw/chi/taibnet_species_detail.php?name_code=413847)。  
三、蝦籠昆蟲網-齒穴蟻蟻 *Liothethes flava Oguma*。  
民111年12月7日，取自<http://gaga.biody.tw/9701/bx/in94.htm>。  
四、魚類資料庫-蓋斑門魚 *Macropodus opercularis*。  
民111年12月8日，取自<https://fishdb.sinica.edu.tw/chi/species.php?id=381391>。  
五、魚類資料庫-野生孔雀魚 *Poecilia reticulata*。民111年12月9日，取自<https://fishdb.sinica.edu.tw/chi/species.php?id=381035>。  
六、魚類資料庫-大肚魚 *Gambusia affinis*。民111年12月9日，取自<https://fishdb.sinica.edu.tw/chi/species.php?id=381033>。

## 捌 附錄照片



※很特別、新奇的發現：  
巴經屬水蛙與澤蛙屬水蛙會取食子子，是文獻中所沒有記載的。