

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 生物科

佳作

080321

鐵人三棲特種部隊

-探討毛足大龍蝨習性、分泌物及動物行為

學校名稱：臺南市柳營區柳營國民小學

作者：	指導老師：
小五 張永承	鄭東益
小五 戴子翔	張喬茵
小五 鄭如珊	
小五 陳妍希	
小五 向思羽	

關鍵詞：毛足大龍蝨、分泌物、動物行為

## 摘要

毛足大龍蟲屬於完全變態類的水中昆蟲，幼蟲三齡，卵到成蟲的發育日數約為 91.19 天。

成蟲為肉食兼腐食性，是食屍性分解者中很有效率的清道夫，主要是靠嗅覺來搜尋食物；

幼蟲是獵食性，性情兇猛俗稱水老虎(water tiger)，主要是靠視覺及觸覺來獵取食物。

雄蟲前足跗節所特化的三節有類似吸盤(附著器)的功能，附著器的構造共有四排，每排有兩顆，也有三顆，上面佈滿很密的剛毛，藉由吸盤及毛的特性使得交配順利進行，吸力約 0.266 牛頓。雄雌成蟲皆會分泌的藍白色液體，為水溶性，水中的大肚魚平均約 51 分 35 秒開始受影響，平均約 18 分 32 秒赤蛙科蝌蚪開始游速變慢、身體扭曲最終到昏迷，推論此分泌物可能對於脊椎動物的神經系統(對於神經元的離子通道)有不良的影響。

## 壹、研究動機

老師帶我們到野外水塘去採集水生昆蟲，我們採集到一種從未看過的水生昆蟲，牠的外型圓圓胖胖的很可愛，而且身上會分泌一種藍白色液體，接著我們查了這個水生昆蟲的名字，才知道牠的名字叫做「毛足大龍蟲」。之前自然課中學到一些水生昆蟲的知識(南一版四上第二單元-水中生物、四下第二單元-昆蟲世界及五下第三單元-動物的生活)再加上我們的好奇心和積極研究的心，因此展開了探討毛足大龍蟲的研究。

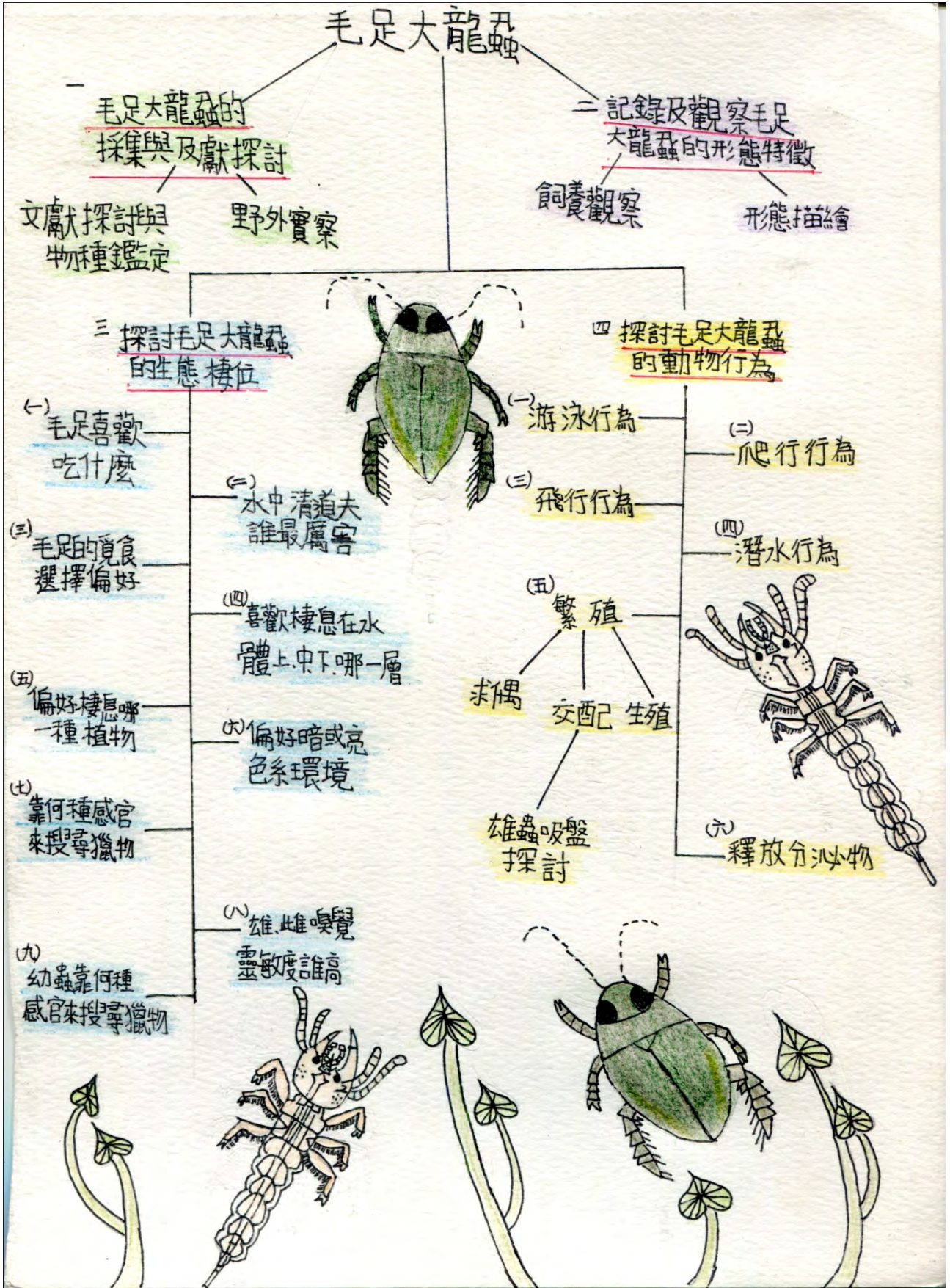
## 貳、研究目的與架構

### 研究目的

- (一)毛足大龍蟲的採集與文獻探討。
- (二)記錄及觀察毛足大龍蟲的形態、特徵。
- (三)探討毛足大龍蟲的生態棲位(Ecological Niche)。
- (四)探討毛足大龍蟲的動物行為(Animal Behavior)。

### 研究進度

研究步驟	105 年					106 年			
	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月
文獻蒐集									
田野調查									
實驗設計與進行									
資料整理與統計									
撰寫作品說明書									



## 參、研究設備與器材

毛足大龍蝨的採集	蝦籠 5 個、保麗龍塊、尼龍繩、水棲昆蟲捕捉網 3 支、小魚乾、朱文錦魚等屍體(向水族館要的)及虱目魚肉。
形態、特徵觀察	培養皿、圖畫紙、解剖顯微鏡 20 & 40 倍率、鑷子 3 枝、昆蟲針、放大鏡、電子游標尺、數位相機。
生態棲位相關實驗	玻璃魚缸 (60 cm ×25 cm ×35 cm ) 3 個、硬塑膠昆蟲箱(28 cm ×18.6 cm ×16.9 cm ) 10 個、軟塑膠飼養箱(25 cm×15.2 cm×14.8 cm) 10 個、高桶箱(70 cm×45 cm×40 cm)一個、低桶箱(70 cm×45 cm×13 cm)一個、顏色不同的底石、土壤、數位相機、可控溫加溫棒 3 組、碼錶 5 個、溫度計 2 枝、pH 儀、溪蝦、福壽螺、琵琶鼠魚、灰龍蝨。
動物行為相關實驗	橡膠手套、皮尺、碼錶、夾鏈袋、長尾夾、大肚魚、水蠶(蜻蜓、豆娘)、蝌蚪(赤蛙科)、囊螺、黑殼蝦。

## 肆、研究過程、方法、結果及討論

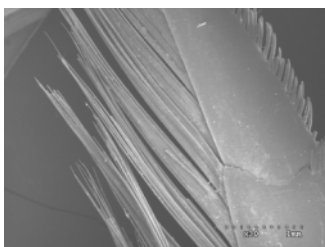
### 【研究一】毛足大龍蝨(本研究報告簡稱為毛足)的採集與文獻探討

#### 一、文獻探討與物種鑑定：

(一)方法:搜尋網路上的資料及昆蟲相關書籍進行閱讀與整理並諮詢某國立大學教授。

(二)結果:在臺灣物種名錄網站、張永仁的昆蟲圖鑑有記載但未有正式的研究紀錄，歸結資料如下表 1-1:

表 1-1 毛足大龍蝨分類地位及與點刻三線大龍蝨的差異比較

分類地位如下: Kingdom Animalia 動物界 Phylum Arthropoda 節肢動物門 Class Insecta 昆蟲綱 Order Coleoptera 鞘翅目 Family Dytiscidae 龍蝨科 Genus <i>Cybister</i> 大龍蝨屬 <i>Cybister limbatus</i> (Fabricius, 1775) 毛足大龍蝨	 <p>圖 1 毛足大龍蝨的後足有很多緣毛 (此為 SEM 下後足的照片)</p>
--	--

台灣龍蝨科現有的紀錄有 27 屬 61 種，其中 *Cybister* 屬的有 7 種。

和 點刻三線大龍蝨(*Cybister tripunctatus*) 做比較，兩者外型皆為橢圓形、體色呈墨綠色、兩片翅鞘上各有縱向點狀刻痕線三條，幼蟲期皆為三齡，性情兇猛幼蟲俗稱水老虎(water tiger)。雄蟲前足跗節前三節皆特化為吸盤狀、後足為刷狀的游泳足，其差別在於毛足大龍蝨平均體長體寬較大，且後足的緣毛很多且密(如圖 1)，因此中文名稱為「毛足大龍蝨」。其為完全變態類昆蟲，生活史為卵→幼蟲→蛹→成蟲。分佈於台灣低海拔地區的池塘、沼澤等水域。除台灣外，亦分佈於日本、中國等地區。由於外型狀似烏龜，所以早期農村社會叫牠為「水龜仔」，而毛足大龍蝨是大龍蝨屬中體型最大的。成蟲毛足大龍蝨體長約為 4 cm(圖 2 A)，成蟲點刻三線大龍蝨約為 2.7 cm(圖 2 B)

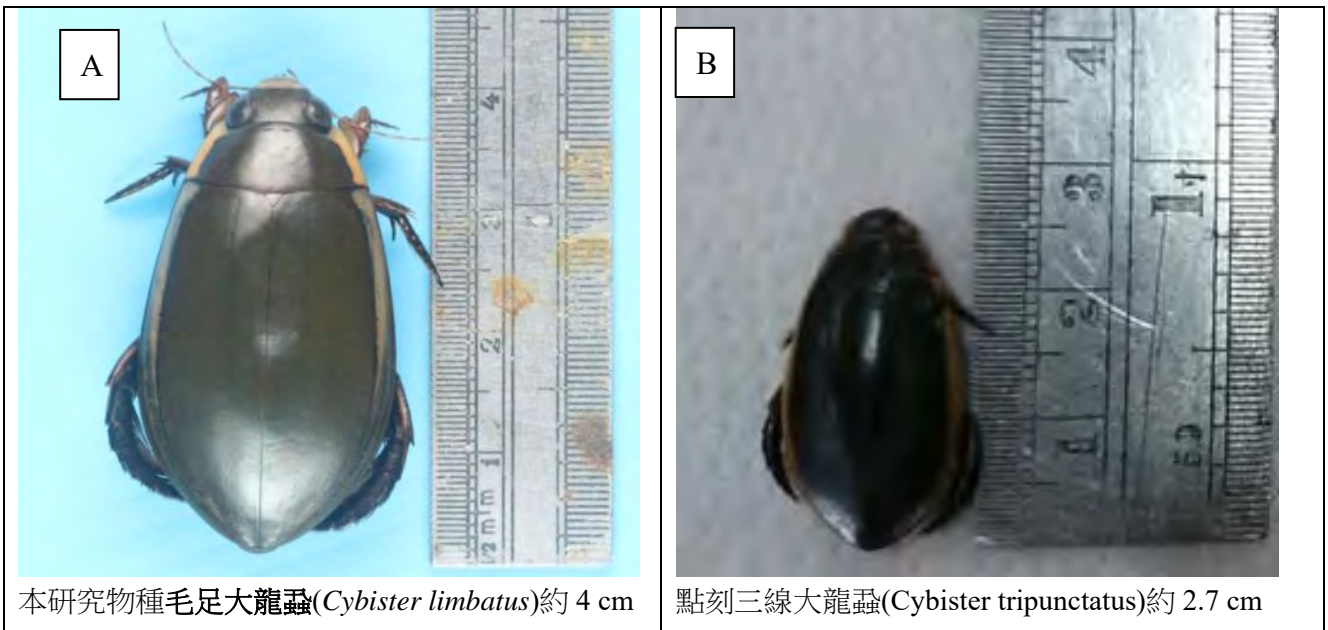


圖 2 毛足及與點三的體型差異。

二、野外實察：

(一)調查方法:

1、捕捉地點：到鄉野田間的埤塘進行。

2、捕捉方式：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(虱目魚肉、小魚乾或大麥蟲)，並在蝦籠內放入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。約十公尺放置一個蝦籠，共設 3~5 個陷阱，五~十天後收籠。



圖 3 野外調查情形。

(二)結果：採集到的水生動物總數如下表 1-2

時間:105.9 ~106. 3

物種 隻次	毛足大 龍蝨	澤蛙	仰泳 椿	拉氏清 溪蟹	灰龍 蝨	點刻三線 大龍蝨	姬牙 蟲	負子 蟲	水蠶	巴西 烏龜
總計(隻)	38	3	56	1	23	7	2	13	23	2

註：.野調的日期及捕獲的物種、隻數詳見實驗日誌。

- (三)討論：1.我們用蝦籠式誘餌陷阱法來採集，發現用小魚乾、虱目魚肉、大麥蟲當餌料等誘集皆有捕獲毛足，推測毛足為肉食性(腐食性)。
- 2.棲息地的特徵為除了有水生植物外，岸邊也是泥巴地，因此能讓雌成蟲產卵，幼蟲也能上陸挖蛹室化蛹

	
拉氏清溪蟹	灰龍蝨
	
蜻蜓水蠶	負子蟲
	
毛足大龍蝨(大)與點刻三線大龍蝨(小)	赤蛙科蝌蚪及螺

	
<p>仰泳椿</p>	<p>拉都希氏赤蛙(幼蛙)</p>



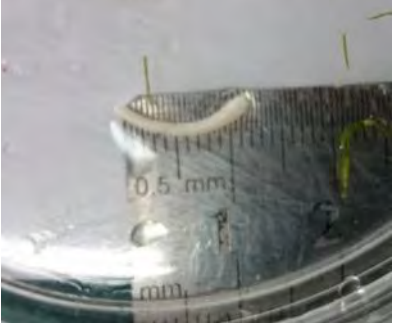



圖 4 野調所誘集到的水生動物。

## 【研究二】記錄及觀察毛足大龍蟲的形態、特徵

### 一、飼養觀察：

(一)方法：以水族箱、水箱等容器長時間飼養、觀察、測量並拍照、錄影。

1、紀錄毛足生活史：(1)、將捕捉到的毛足成蟲(♂)(♀)各三隻放入水族箱內，其內放入布袋蓮、水蘊草、水芋讓毛足抓取攀附。(2)、每日餵食兩隻大麥蟲或小魚乾。(3)、等待產卵。(4)、紀錄卵期。(5)、等待其孵化後，將各一齡幼蟲飼養於一公升容器，放入小型大肚魚供其捕食。(6)、將三齡幼蟲放入有水及泥土的摹擬生態水域裝置中，讓其化蛹。(7)、紀錄各齡期、蛹期與測量各齡期的體長。(8)、量測野外捕撈的成蟲體長與體寬並比較雄蟲與雌蟲是否有差異。

		
<p>室內觀察區及產卵環境之一</p>	<p>毛足在布袋蓮上咬洞產卵</p>	<p>毛足的卵</p>
		
<p>飼養幼蟲之一處</p>	<p>餵食成蟲</p>	<p>幼蟲捕食小魚</p>







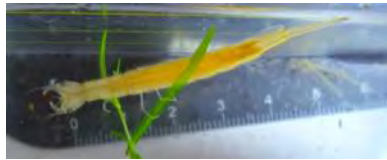
		
量測成蟲體長	量測成蟲體寬	自然死亡的毛足做成標本

圖 5 飼養觀察。

2、觀察成蟲、幼蟲各部位構造及功能：描繪的部位包括全身背部、全身腹部、觸角、大顎鬚、下唇鬚、口器、前足、中足、後足及呼吸板、氣孔等主要分類特徵。

(二)結果：如下表 2-1 毛足各階段齡期及身體各部位形態特徵。

蟲期	圖片	期間(天)	體(卵)長(mm)	頭(卵)寬(mm)	形態特徵
卵		$14.69 \pm 1.54$	$12.74 \pm 0.5$	$2.48 \pm 0.13$	卵為米白色呈現圓柱彎曲細長型。雌蟲將卵產於水生植物內，每個咬痕洞內可產1~3顆卵。(n = 5)
一齡	  平常會倒掛水面下	$8.2 \pm 0.98$  在水中游走捕食獵物	$33.16 \pm 0.98$  或蟄伏等待獵物	$2.54 \pm 0.13$	身體呈黃褐色，左右兩邊兩條黑色條紋，身體細長柔軟，左右各六顆單眼，頭呈倒梯形，具柑狀口器，無翅。前、中、後足細長，藉由腹部尾端呼吸構造來呼吸，平常會倒掛水面下或在水中游走。(n = 5)
二齡	 剛蛻皮，呈淡黃色半透明狀	$21.8 \pm 0.98$	$62.27 \pm 0.55$	$5.3 \pm 0.03$	二齡蟲相較於一齡蟲比較活躍，較能主動覓食，取食量較大。(n = 5)

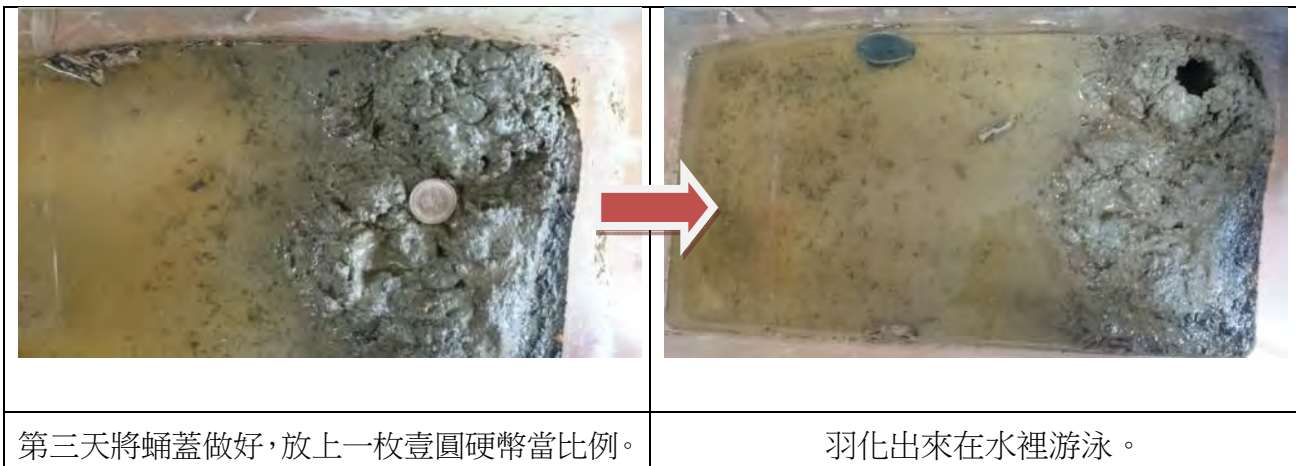


<p>三齡</p>		<p>15.5 ± 0.5</p>	<p>86.83 ± 0.41</p>	<p>7.26 ± 0.18</p>	<p>蟲體腹部變得更粗大，大顎也明顯變大，單眼更為明顯 游動較二齡蟲緩慢，腹部末三節左右細毛變多。(n = 2)</p>
<p>蛹</p>		<p>32(含前蛹期)</p>	<p>脫皮至三齡幼蟲共有二隻，在快上陸化蛹前，幼蟲已不再捕食，上陸挖好洞後，第一天蛹室尚未密合，仍可看見幼蟲在裡面蠕動，結果第二天又發現幼蟲又爬出蛹室外，但也沒有進食，第三天才把蛹室開口完成，實驗過程中挖開蛹室來觀察，但仍無發現變蛹，因此我們決定等久一點再挖，結果卻羽化了，未來我們會利用類似內視鏡頭來觀察蛹室內的變化，如變蛹時便可拍照紀錄。</p>		
<p>蛹室</p>		<p>整體蛹室長約 7 cm，寬約 5 cm，呈球狀，裡面的洞口約 3 cm，深約 3.5 cm。</p>			

※上述各幼蟲的體長、頭寬為脫皮後隔天所量測。

上陸化蛹過程:105.11.27 上陸挖蛹室，105.11.29 有蛹室但無蓋，105.11.30 有蛹蓋了，105.12.6 及 105.12.12 兩天檢查是否化蛹，仍無化蛹，且驚動到幼蟲時會發出ㄗㄗㄗ的聲音，最後於 105.12.29 變成蟲出來。入蛹室到羽化約 32 天;另一隻則死於蛹室內無爬出。

	
<p>發現三齡幼蟲開始不進食時，就是開始準備上陸化蛹了。</p>	<p>利用頭盾及身體頂出一個圓甕狀蛹室，需一天的時間，但起初無蛹蓋，過第二天會再爬離出來。(上圖中可見其三齡幼蟲身體)</p>



第三天將蛹蓋做好，放上一枚壹圓硬幣當比例。

羽化出來在水裡游泳。

圖 6 三齡幼蟲上陸化蛹羽化情形。

**蛻皮：**蛻皮時身體會停住不動，前、中足會挺起，前胸背面會裂開，接著由頭部先出來，整個蛻皮過程約10分鐘左右。剛脫完皮為淡黃色，約三個小時開始變黑褐色。



圖 7 幼蟲蛻皮。

歸納統整:如下表 2-2 各齡期發育時間:

室內溫度約 20°C~26°C

單位:天	卵期	一齡	二齡	三齡	蛹期	卵到成蟲
時間(天)	14.69	8.2	21.8	15.5	32	91.19

註：1、卵期計算為室內飼養雌蟲咬洞產完卵後直到在水箱中發現一齡幼蟲為準。

2、所飼養的一齡幼蟲至三齡幼蟲時，大部分皆死亡，到要化蛹時只有兩隻三齡上陸，一隻羽化沒有成功，因此蛹數數據仍需加強。

3、目前仍佈置產卵環境，讓雌蟲產卵，正持續在建立更完善的生命史。

## (二)結果：

1、成蟲的體長、體寬雄雌各 5 隻: (n=5)

表 2-3:雄雌蟲體長、體寬比較表

單位(mm)	雄蟲(♂)	雌蟲(♀)
體長平均	38.6 ± 1.05	37.73 ± 1.32
體寬平均	21.18 ± 0.33	20.75 ± 0.49

註：1、體長為頭部尖端至腹部尾端。

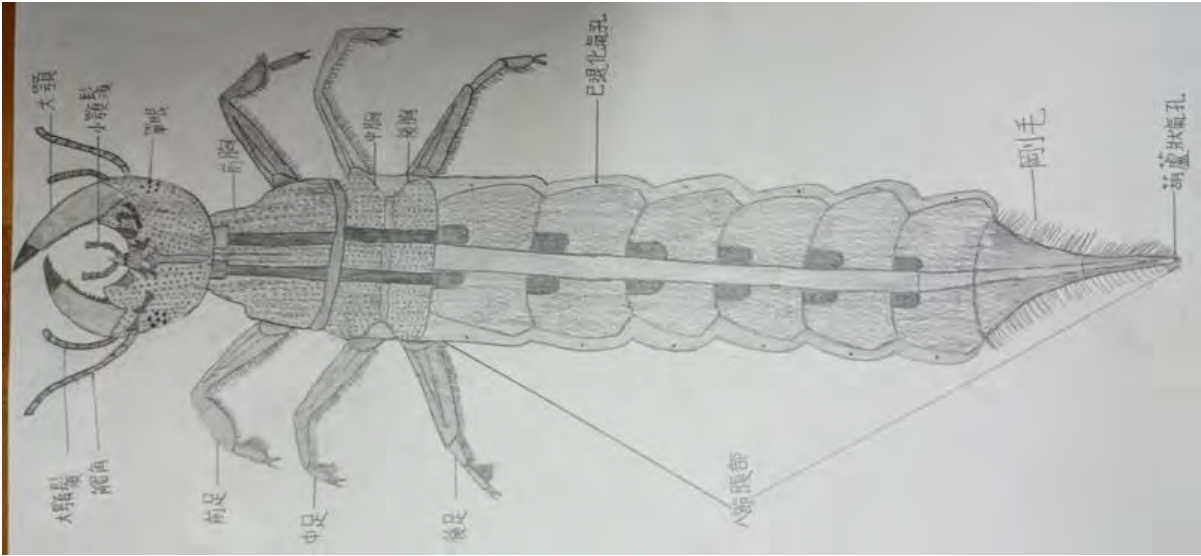
2、體寬為身體最寬處(腹部第一節)。

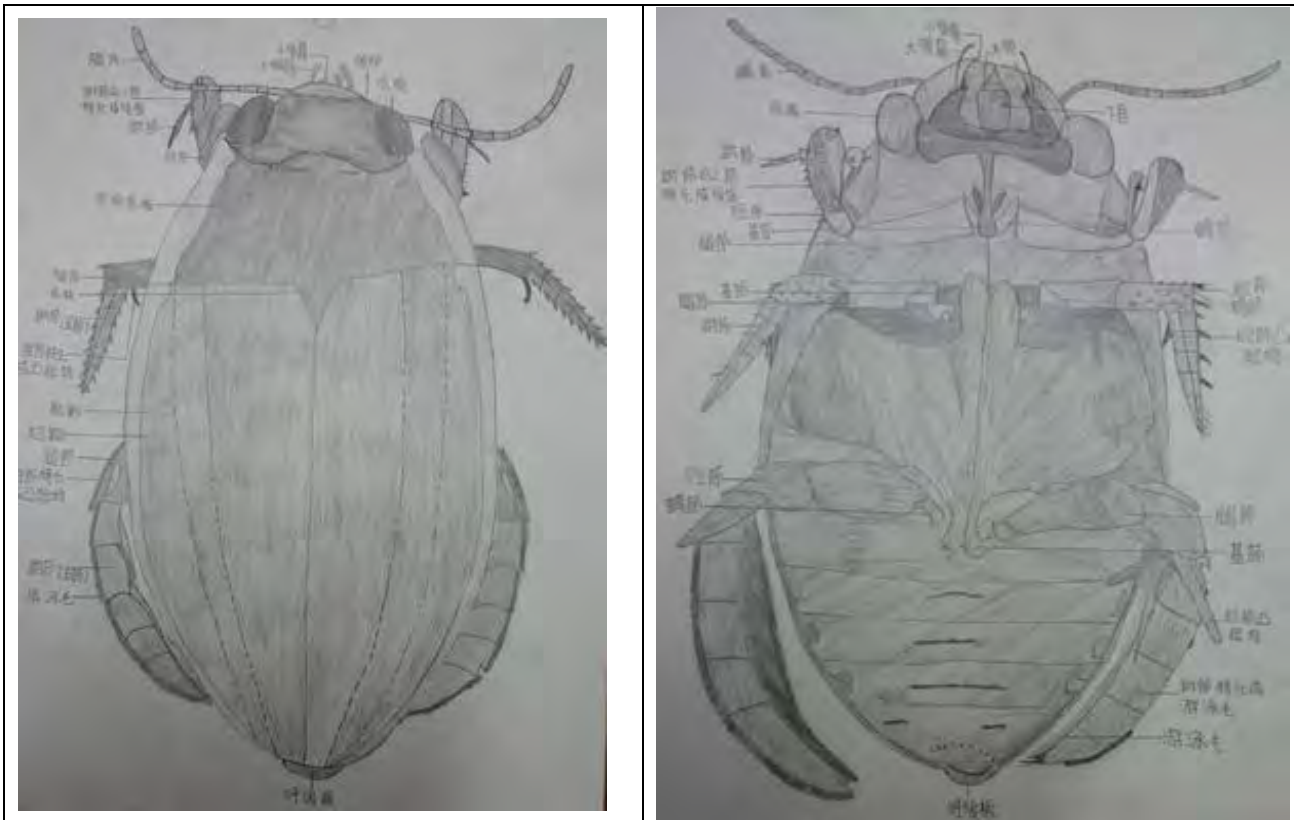
3、從野外捕捉的成蟲隨機抽樣雄 5 隻、雌 5 隻。





4、平均長度為四捨五入取至小數第二位。

※雄蟲與雌蟲大小相當。


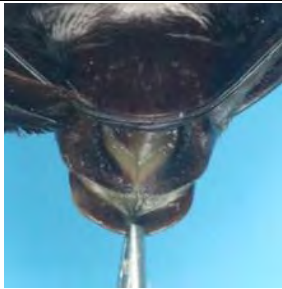

3.幼蟲、成蟲各部位構造及功能：將形態觀察的描述、手繪圖及攝影照片整理如下表 2-4：





部位	描述	手繪圖	照片
頭部(背面)	背面的頭部能明顯看出兩隻複眼但無單眼、有一對觸角、一對大顎鬚、一對下唇鬚(從腹面延伸出來)		
頭部(腹面)	有咀嚼式口器(大顎、小顎、下唇)、觸角、大顎鬚、下唇鬚等構造。		
觸角	(1)是絲狀觸角，有9節，從口器上方，從兩顆複眼邊緣長出。 (2)顏色從黃褐到黑褐色都有。		

<p>前足 (雄)</p>	<p>腿節為黃黑褐色，其餘各節呈淡褐色。 跗節有 5 節，有 3 節特化呈掌形吸盤，吸盤共橫列 4 排，約 65 顆吸附器。 吸盤的功能在於交配時能吸附住雌蟲的背面以順利交配。(後文有 SEM 照片)</p>		
<p>前足 (雌)</p>	<p>基節、轉節、腿節呈黃褐色，跗節呈黑褐色，跗節也是 5 節，脛節末有突起物。</p>		
<p>中足</p>	<p>基、轉、腿節呈黃褐色，脛節、跗節呈黑褐色，脛節下緣有長條狀的兩突起刺，可抵抗外敵攻擊，全足呈現黑褐到紅褐分布;其跗節為 5 節。</p>		
<p>後足 游泳足</p>	<p>全足為黑褐色到黑色分布，兩根脛節突起刺較中足明顯，被刺到有疼痛感。 其跗節為 5 節。後足特化呈游泳足，其游泳時後足剛毛會展開成刷狀以推動水而幫助滑行。</p>		
<p>腹部</p>	<p>腹部共 5 節;第 2、3、4 節左右兩側各有一黃色斑點。 毛足游至水面上呼吸換氣時是利用呼吸板頂破水的表面，再將氣體儲放在外翅內腹甲上，在背內形成氣泡層，即為腹甲式呼吸法。</p>		

呼吸板	呼吸板內存於腹部最末節，在毛足游到水面換氣時才會伸出;共有兩小節，雌雄皆有。(右圖為用鑷子將死去的成蟲腹部呼吸板拉開的狀態)		
氣孔	將剛死去的成蟲前翅剪開後，發現在前胸背板下緣左右兩側有明顯的氣孔。(右圖為右側的氣孔)		

### 【研究三】探討毛足大龍蟲的生態棲位

#### 一、毛足喜歡吃什麼食物?

(一) 方法：分別餵食不同的食物: 觀察成蟲、幼蟲是否會吃食?

1. 活體類: 大肚魚、水蠶、福壽螺、蝌蚪(赤蛙科)、大麥蟲、麵包蟲、仰泳蝽、負子蟲、蝦子(黑殼蝦、溪蝦)
2. 屍體類: 蟑螂、赤紅蟲、蛾、蒼蠅、魚屍體、螃蟹、青蛙、蜜蜂、蜻蜓...等。
3. 植物類: 黃帝豆、空心菜、菠菜、小白菜、紅蘿蔔、茭白筍。

		
吃食大肚魚	吃食水蠶	吃食福壽螺
		
吃食麵包蟲	吃食溪蝦	吃食蟑螂

		
吃食魚屍體	吃食螃蟹	吃食青蛙
		
吃食蜜蜂	吃食蜻蜓	吃食植物類
		
能明顯看出幼蟲的六顆單眼	幼蟲吸食大肚魚	幼蟲吸食大肚魚會變換吸食位置
		
幼蟲準備吃食蝌蚪	能吃食比自身大的蝌蚪	吃蝦子過程(身體暫時變紅)

圖 8 成蟲幼蟲吃食不同類別食材。

(二) 結果 1：

表 3-1 成蟲對於不同食材的進食結果表

會進食的類別	部分進食類別	不會進食的類別
動物屍體類全部吃食	仰泳蝽、負子蟲、蝦子(黑殼蝦、溪蝦)、蝌蚪	植物類全部不吃食

(三) 結果 2：

表 3-2 幼蟲對於不同食材的進食結果表

會進食的類別	部分進食類別	不會進食的類別
動物屍體類不會主動吃食	仰泳蝽、黑殼蝦、蝌蚪、大肚魚	植物類全部不吃食

(四) 討論：1.實驗過程中發現像福壽螺、蝌蚪、水蠶…等行動速度比較緩慢的，常常被成蟲吃食，而移動速度較快者，比較不會被毛足成蟲所捕捉。 2.成蟲與幼蟲皆不進食植物類包含葉菜類、果實類。 3.幼蟲不會主動吃食屍體類的食物，除非屍體被水波擾動或用夾子夾取食餌到幼蟲面前擾動吸引其注意才會吃食。 4.幼蟲吸食獵物會變換吸食位置，可能原先位置的組織液已被吸食完進而變換吸食位置吸食其它部位的組織液。 5.成蟲會群食，幼蟲則無。 6.由於水生及陸生動物屍體皆會被毛足成蟲吃食，令我們感到好奇的是一般淡水生態系中有哪些分解者呢？又這些物種中哪種分解效率較高呢？於是我們設計了以下「水中清道夫誰最厲害」實驗。

## 二、「水中清道夫誰最厲害」

- (一)方法：1.查閱水中生物相關資料，歸納靜水域中的分解者。  
 2.將毛足、福壽螺、溪蝦、灰龍蝨、琵琶鼠魚各放入 1L 的容器，放入 500mL 水，再各別放入一隻體長約 1.5cm 的小魚乾。  
 3.從放入小魚乾即用碼錶開始計時到吃食完畢所需的時間，以同物種不同個體

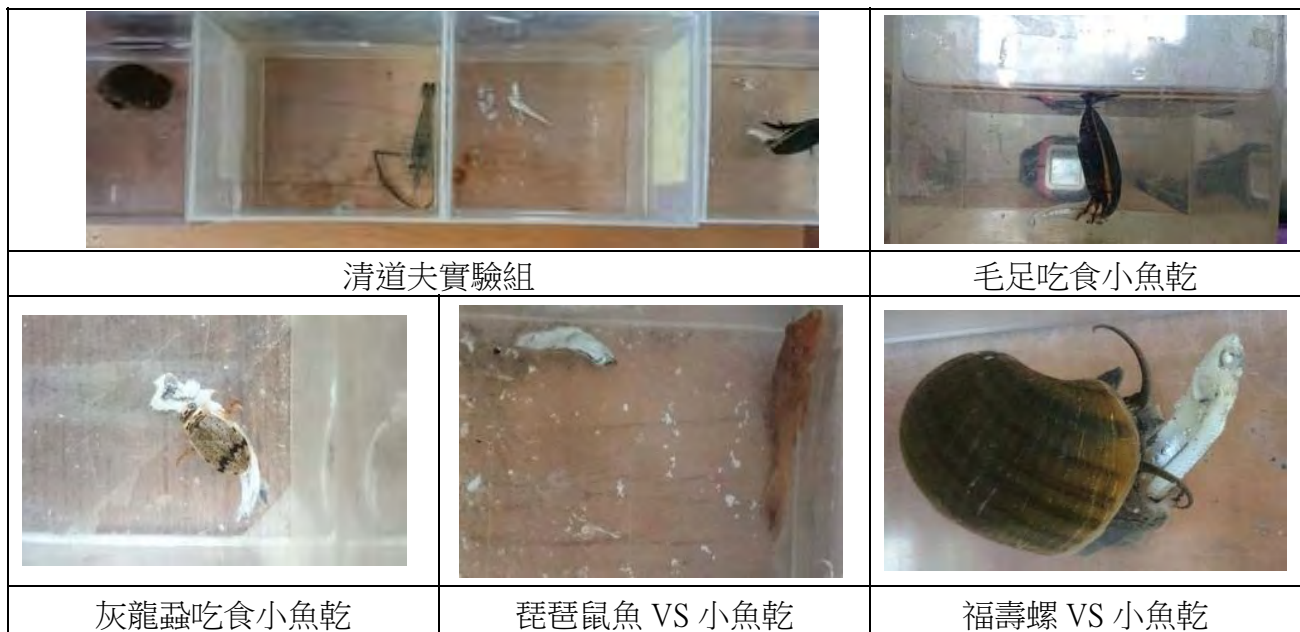


圖 9 各分解者的進食狀況。

(二)、結果:如下表 3-3 表 3-3 各分解者清除小魚乾的時間表

清道夫物種	毛足	福壽螺	溪蝦	灰龍蝨	琵琶鼠魚
吃完所花時間 A	17 分 42 秒	5 日 20 時	10 日 12 時	13 時 44 分	9 日 21 時
吃完所花時間 B	22 分 53 秒	4 日 19 時	9 日 18 時	19 時 22 分	5 日 23 時
吃完所花時間 C	19 分 33 秒	3 日 19 時	11 日 16 時	19 時 54 分	9 日 15 時
平均所花時間(日)	約 0.01 日	約 4.81 日	約 10.64 日	約 0.74 日	約 8.49 日
換算成小時為	約 0.24 時	約 115.44 時	約 255.36 時	約 17.76 時	約 203.76 時
清食完速率比序	1	3	5	2	4

註：1.上述時間是指從放入小魚乾到被吃完的總時間(包含了一開始的物種對小魚乾的搜尋時間+處理時間+沒吃完的等待時間直到屍骸不見或僅剩脊椎骨) 2.平均時間用四捨五入法取小數到第二位。



### (三)、討論:

1. 毛足組幾乎無剩餘屍骸。
2. 灰龍蝨組、琵琶鼠魚組及福壽螺組仍有一些屍屑。
3. 溪蝦組仍剩脊椎骨。綜合上述，若有毛足大龍蝨存在的水塘，屍體應該很快就被分解，可說是最有效率的水中清道夫(屬於食屍性分解者)。

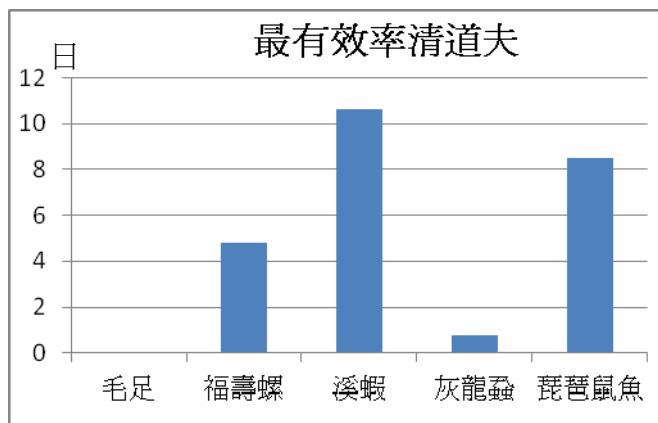


圖 10 各分解者清食日數統計圖。

### 三、毛足的覓食選擇偏好

※想法:延續研究三之一，既然毛足是屬於肉食兼腐食性的水中昆蟲，除了屍體外，那牠是否有偏好吃食水中的那些活體呢?

(一)方法： 1.設置五盒(ABCDE)塑膠箱，各放入毛足成蟲一隻、泥鰱、赤蛙科蝌蚪、珠文錦魚、福壽螺、溪蝦各一隻。 2.紀錄被捕食的種類與順序，以推論毛足的取食偏好。

#### 覓食選擇偏好實驗組



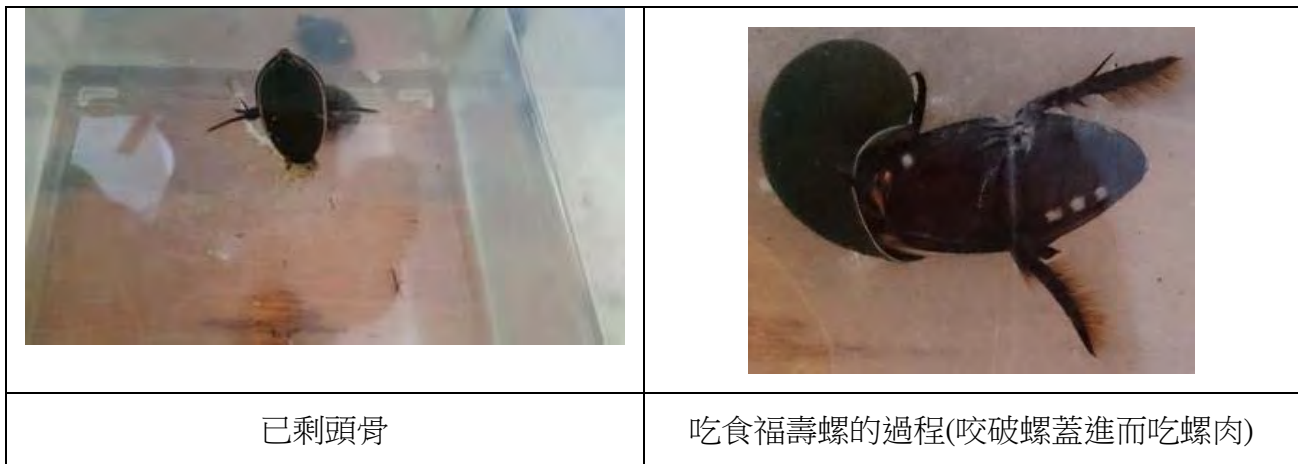


圖 11 毛足的覓食選擇偏好。

(二)結果：表 3-4 為 5 盒實驗組中的取食順序。

※為了便於統計，我們將同一盒內第一被吃食的物種給予五點，第二被吃食的給予四點，第三被吃食的給予三點，第四被吃食的給予二點，第五被吃食的給予一點。

取食順序	A	B	C	D	E	換算所得點數
珠文錦魚	3	4	5	4	3	3+2+1+2+3=11
溪蝦	4	3	2	5	5	2+3+4+1+1=11
泥鰍	5	2	4	1	2	1+4+2+5+4=16
赤蛙科蝌蚪	1	5	3	2	4	5+1+3+4+2=15
福壽螺	2	1	1	3	1	4+5+5+3+5=22

(三)討論:

- 1.結果顯示毛足在捕食所提供的各物種中以捕食福壽螺為第一優先，推論福壽螺在水底爬行相對其他物種的速度慢，容易讓毛足搜尋到，雖然牠有螺蓋，但毛足仍能咬破螺蓋進而吃食之，其餘物種被捕食差異不大。
- 2.綜合分析，在野外水田中，毛足能捕食水中的動物，即使無其他屍體類讓牠吃食，只要有螺類，牠便能覓食，不會影響其生存，除了螺類外，無偏好吃食何種水中動物。

#### 四、毛足喜歡棲息在水體中的上、中、下哪一層呢?

※想法:我們知道毛足是水生昆蟲，但其棲位是屬於哪一階層呢?

(一)方法：1.於水位高度 30 cm 的魚缸(高度等分成 3 等分;上、中、下各 10 cm)內放入 5 隻毛足，從上午 8:00 開始實驗，於中午 1 點、下午 4 點記錄在各層的數量，共記錄七天，統計分析其結果。



圖 12 水深棲息

(二)結果: 如下表 3-5 表 3-5 棲息於水體上、中、下層的隻次統計表

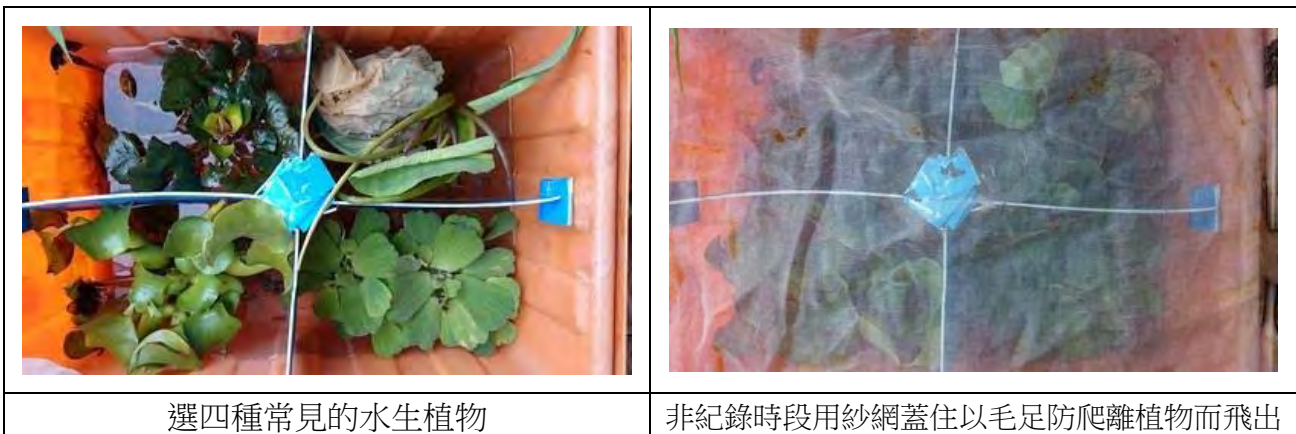
觀測時間	11/17	11/18	11/21	11/22	11/23	11/24	11/25
8:00	下層 5 隻	下層 5 隻	上層 1 隻中層 1 隻下層 3 隻	下層 5 隻	下層 5 隻	下層 5 隻	下層 5 隻
13:00	下層 5 隻	上層 1 隻下層 4 隻	下層 5 隻	下層 5 隻	下層 5 隻	下層 5 隻	上層 1 隻下 層 4 隻
16:00	上層 1 隻下層 4 隻	上層 4 隻下層 1 隻	下層 5 隻	上層 2 隻下層 3 隻	下層 5 隻	中層 1 隻下 層 4 隻	上層 3 隻下 層 2 隻
各觀測時段 總計隻次	上層:13 隻		中層:2 隻		下層:90 隻		
平均每次觀 察時棲位	上層:13 隻÷共 21 次觀 察=0.62 隻		中層:2 隻÷共 21 次觀察= 0.09 隻		下層:90 隻÷共 21 次觀察 =4.28 隻		

(三)討論:實驗結果顯示,毛足偏好棲息於水裡的下層,但在換氣時會游至水面上,推論躲在底層可以避敵,以免被天敵(水鳥)攻擊。

### 五、毛足偏好棲息於哪一種植物?

※想法:野外採集時,棲息地有許多水生植物,我們想了解是否毛足有偏好棲於哪一種植物呢?

(一)方法:1.隨機取十隻毛足放入一個長方形大水桶(52x36.5x29.5cm),水位高 20cm。2. 利用珍珠板固定,使水桶分成四等分,固定水生植物,但底下毛足可自由游動。3.四格分別放入水芋、布袋蓮、菱角植株、大萍。4. 一天紀錄三次,分上午 8:00、中午 13:00、下午 15:00,共記錄十天,三十次,統計分析其結果。5.計數時將隔板壓下以免毛足亂游而影響隻數。6.在非紀錄時段投入食餌,四格平均餵食毛足小魚乾、麵包蟲。



選四種常見的水生植物

非紀錄時段用紗網蓋住以毛足防爬離植物而飛出

圖 13 水生植物選擇棲息偏好。

(二)結果:共記錄十天，三十次

表 3-6 漂浮性水生植物的棲息選擇平均數

種類	水芋	布袋蓮	菱角植株	大萍
平均值(隻次)	3.30	1.50	2.63	2.57

(每次記錄詳見實驗日誌)

(上表平均為利用四捨五入法過到小數第二位)

(三)討論:結果顯示，毛足停棲在四種水生植物的差異並不明顯，雖然布袋蓮棲息隻次較少，但毛足除了會在水芋咬洞產卵，布袋蓮也會，觀察過程中甚至發現毛足也會爬離水面棲息於露出的水生植物表面，綜合分析，在這四種水生植物，毛足沒有特別喜好棲息於哪一種。

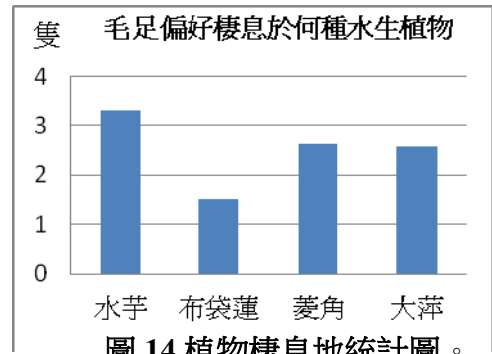


圖 14 植物棲息地統計圖。

## 六、毛足偏好何種色系環境呢?

※想法:飼養過程中，晚上一打開水族箱上的燈，發現毛足就像遇到天敵般到處亂竄，急著找地方躲藏，可見至少牠能感測光線的明暗，因此我們設計底下的實驗，驗證除了牠能感測光線的明暗外是否還有顏色的偏好。

(一)方法 1：(1).將昆蟲箱平分成兩部份，底層各鋪設黑色及白色的石頭。(2).放入十隻毛足，每日觀察紀錄 3 次 (8:00、13:00、15:00)，記錄隻數，共紀錄七天。(3).計數躲藏在底石及上來換氣的都包含在內。(4).餵食時平均分散位置投擲，以免影響實驗結果。

(二)結果：如下表 4-14 顏色偏好統計表



圖 15 黑與白環境實驗。

(二)結果:共記錄七天，二十一次  
表 3-7 毛足偏好何種色系的環境

底石顏色	黑色	白色
平均值(隻次)	4.86	5.14

(每次記錄詳見實驗日誌)

(上表平均為利用四捨五入法過到小數第二位)

(三)討論:實驗結果顯示毛足無偏好在何種色系環境，主要還是停棲於底部居多。

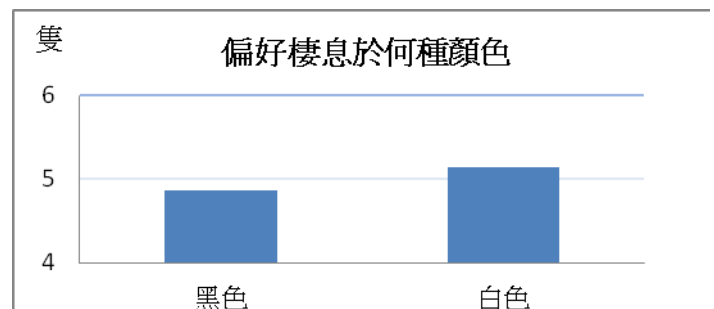


圖 16 偏好棲息於何種顏色統計圖。

## 七、毛足是靠嗅覺或視覺或振動來搜尋獵物呢?

※想法:平日飼養觀察時,餌料很明顯地在毛足身旁,為什麼毛足游過來游過去,卻無法精準地游到餌料位置,而是在餌料位置旁動著觸角,好像在找東西,最後才找到食物呢?使我們感覺到牠是不是「大近視眼」呢?於是我們設計底下實驗來驗證毛足是靠嗅覺來找到獵物還是靠視覺或震動。

### ※視覺實驗:


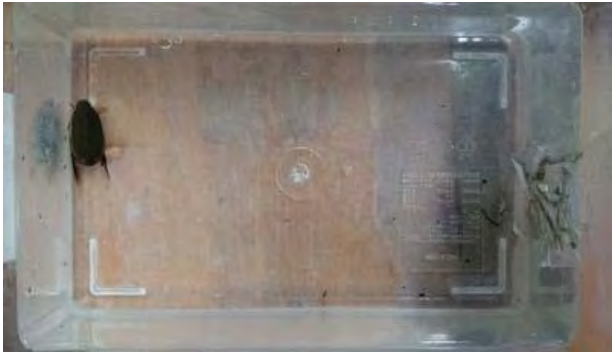


(一)方法 1: 1.分別設置五個塑膠箱(為A、B、C、D、E五組),並各別放入一隻飢餓三天的毛足。2.將體長約 1cm 長的小魚乾五隻放置透明夾鏈袋內,使其可以「看見」獵物而「聞」不到。3.紀錄從將夾鏈袋放入水中而毛足攀附住食餌所經過的搜尋時間,每組重複五次實驗,每次 30 分鐘。若有成功,則間隔五分鐘後再做下次實驗。 ※水溫為 20~22°C

### ※嗅覺實驗:

方法 2: 如上述步驟,但將透明夾鏈袋改成有色紗網,放入虱目魚肉使其味道能傳遞出來但毛足卻「看不見」獵物。

### ※振動實驗:

方法 3: 1.在硬塑膠盒(28 cm × 18.6 cm× 16.9 cm)內注入 5 cm 的水深。將節拍器、綿線與支撐棒及昆蟲針組成振源裝置,模擬陸生昆蟲掉落於水面上產生的波動,放至塑膠盒的右邊,為實驗組,左邊用膠帶黏著綿線及昆蟲針,當作對照組。2. 將飢餓三天的毛足放置於塑膠盒中間處,測試其對振動反應。選擇 5 隻(A、B、C、D、E)進行測試。3. 每次測試時間為 10 分鐘,每次間隔休息時間 5 分鐘,每隻測試五次,共計二十五次。若趨進振源則視為對振動

	
<p>視覺實驗</p>	<p>視覺實驗近照</p>
	
<p>嗅覺實驗</p>	<p>嗅覺實驗近照</p>



振動反應實驗裝置



振動反應實驗近照

圖 17 靠何種感官搜尋獵物。

(二)結果 1、2 與 3:視覺實驗組無攀附住夾鏈袋,都在箱底游動或停止休息。而嗅覺實驗組(虱目魚肉)共二十五次試驗其平均時間為 5 分 45 秒 60 毫秒,然而振動實驗二十五次只有一次明顯地在振源旁游動,其餘都沒有。記錄詳如實驗日誌。

(三)討論 1、2 與 3:只有在嗅覺實驗組毛足才有攀附住目標餌料,過程中發現毛足的觸角一直在上下振動,推論觸角應具有大量的氣味接受器而視覺實驗組中的毛足皆游來游去或停靠某一點而無找到食餌;模擬陸生昆蟲掉落水面上的振動也無法吸引毛足前來覓食,調快節拍頻率到 160、180、200 赫茲也是一樣,從結果中很明顯的驗證出毛足成蟲主要是靠嗅覺來找到獵物,視覺與振動不明顯。

※**延伸實驗想法**:既然已經知道毛足是靠嗅覺來找尋食物,那雄雌誰較靈敏呢?於是我們設計底下的實驗。

## 八、雄雌毛足何者嗅覺靈敏度較高?

- (一)方法: 1.分別設置五個塑膠箱(為 ABCDE 五組),並各別放入一對飢餓三天的雄雌毛足。  
2.容器兩端夾有色紗網,一端放入大麥蟲屍體,一端放入石頭(對照組)。3.紀錄哪種性別的毛足先找到裝有大麥蟲屍體的紗網,記錄毛足攀附住食餌所經過的搜尋時間,每組重複五次實驗。若有成功,將紗網取出,間隔五分鐘後再做下次實驗。



雄、雌何者嗅覺靈敏度高



一端放入大麥蟲屍體,一端放入石頭

圖 18 雄、雌嗅覺靈敏度。

(二)結果:如下表 3-8 嗅覺靈敏度共二十五次實驗平均

嗅覺靈敏度	雄蟲	雌蟲
搜尋時間	9 分 21 秒 60 毫秒	7 分 51 秒 60 毫秒

※各組記錄詳如實驗日誌。

(三)討論:實驗結果雌蟲比雄蟲更快找到食餌,我們推論成蟲雌蟲可能因為要更多的營養來產

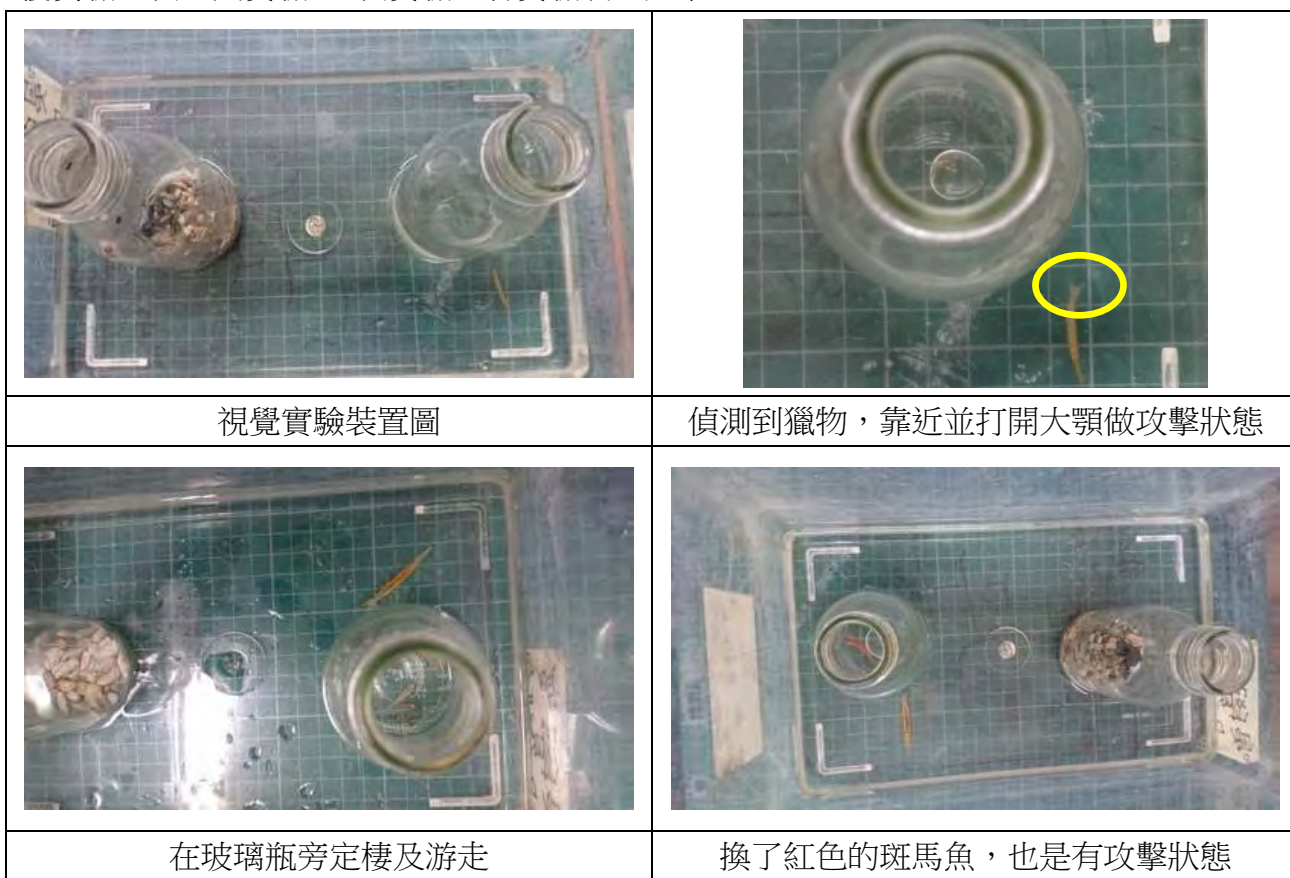
生卵，因此相對的比雄蟲更迫切需要食物，所以相對的搜尋獵物的效率比雄蟲高。

### 九、毛足幼蟲主要是靠何種感官來覓食呢？

※想法:毛足幼蟲主要捕捉水中的小型動物屬於獵食性，不攻擊屍體，那牠到底是靠視覺、觸覺還是嗅覺來偵測食物呢？

#### ※視覺實驗:

(一)方法: 1.準備一個長方形透明壓克力盒(27 cm × 11.5 cm × 12 cm)，水位 5 cm，每個盒子下方放一張有方格的墊板，目的是將盒子等分成兩半，在盒內兩邊放入兩個透明玻璃瓶(底部直徑 4 cm、高 8 cm)。 2.其中一瓶內放入 5 隻長度約 1 cm 的大肚魚(也有試紅色的斑馬魚)為實驗組，另一瓶放入小石頭為對照組。 3.將一隻飢餓三天的大肚魚幼蟲放置於中間後開始計時，實驗時間為 30 分鐘，若幼蟲靠近玻璃瓶且大顎打開(或攻擊)視為有反應，並統計攻擊機率。 4.每次實驗結束後，休息 5 分鐘再進行下一次實驗。 5.共實驗 5 隻幼蟲(ABCDE)，每隻重覆實驗 3 次，共實驗 15 次實驗，將實驗裝置如下：



視覺實驗裝置圖

偵測到獵物，靠近並打開大顎做攻擊狀態

在玻璃瓶旁定棲及游走

換了紅色的斑馬魚，也是有攻擊狀態

#### (二)結果:如表 3-9 幼蟲視覺實驗統計表

有靠近魚瓶 並大顎打開 攻擊狀態	實驗第 1 次	實驗第 2 次	實驗第 3 次	次數 統計
A 隻	V	V		2
B 隻	V	V	V	3
C 隻	V	V		2
D 隻	V		V	2
E 隻	V	V		2
視覺反應比率	$11 \div 15 = 0.73 = 73\% > 50\%$			

圖 19 幼蟲靠視覺感官覓食。

#### (三)討論:

實驗過程中，幼蟲會到處游走，但當爬至魚瓶約 4 cm 時並發現有魚在游動時，就會有打開大顎的現象，表示已偵測到有魚，可證明有視覺但更靠近瓶子發現好像進不去後，就邊游走邊停棲於瓶身，也曾對另一瓶裝石頭的瓶子做攻擊狀，我們推論可能游動時的水波讓影像有閃動吸引其注意，但是是少數。

※嗅覺實驗:

(一)方法:1.分別設置五個塑膠箱(為 ABCDE 五組),並各別放入一隻幼蟲,兩邊各夾有色紗網。2.將大麥蟲放入有色紗網,使味道能傳遞出來但幼蟲卻「看不見」獵物,另一個放石頭(為對照組)。3.紀錄從將有色紗網放入水中而幼蟲攀附住紗網的次數,每組重複三次實驗,每次實驗為三十分鐘,若有成功,則間隔五分鐘後再做下次實驗。



(三)結果:

皆無靠近網袋也沒有攻擊網袋的情況。

圖 20 幼蟲的嗅覺實驗狀況。

※觸覺實驗:

(一)方法 1:1.在硬塑膠盒(28 cm × 18.6 cm × 16.9 cm)內注入 5 cm 的水深。將節拍器、綿線與支撐棒及昆蟲針組成振源裝置,模擬陸生昆蟲掉落於水面上產生的波動,放至塑膠盒的一邊,為實驗組,另一邊用膠帶黏著綿線及昆蟲針,當作對照組。2. 將飢餓三天的幼蟲放置於塑膠盒中間處,測試其對振動反應。選擇 5 隻(A、B、C、D、E)進行測試。3. 每次測試時間為 10 分鐘,每次間隔休息時間 5 分鐘,每隻測試 3 次,共計 15 次。若趨進振源則視為對振動有反應,振動頻率為每分鐘 120 赫茲。



幼蟲振動實驗裝置圖

在旁計時

幼蟲靠近振動源

(二)結果 1:

有靠近振源 並大顎打開 攻擊狀態	實驗第 1 次	實驗第 2 次	實驗第 3 次	次數統計
A 隻	V		V	2
B 隻	如下表 3-10 幼蟲觸覺實驗統計表			2
C 隻	V	V		2
D 隻	V			1
E 隻	V	V	V	3
振動反應比率	$10 \div 15 = 0.67 = 67% > 50%$			

圖 21 幼蟲震動實驗。

(三)討論:雖然幼蟲對振動有所反應,會受振源吸引,但當被吸引靠近時,發現不是獵物,部分幼蟲便游走掉了,不會一直在振源旁邊。既然幼蟲對振動有反應,我們設計一個全暗環境,試驗幼蟲是否能捕食到大肚魚,實驗過程如下。

(一)方法 2:1.將幼蟲放入一公升容器,加入 700 毫升的水,再放入一隻大肚魚,將實驗裝置放



入全無透光的櫃子裡，測試幼蟲是否能在全暗環境補食到大肚魚，每次實驗三天，重複實驗五隻幼蟲。



圖 22 全暗環境下幼蟲捕食大肚魚。

(二)結果 2:實驗結果，五隻幼蟲皆成功捕食大肚魚，不過有一隻幼蟲在實驗結束打開櫃子時與大肚魚皆死亡，推測可能是幼蟲本身個體因素而亡。

(四)討論 3:從實驗結果得知，幼蟲能在無光環境捕食到大肚魚，可見觸覺能幫助牠捕食，綜合分析，幼蟲能靠視覺、觸覺捕食而獵物，但嗅覺相對不靈敏。

#### 【研究四】探討毛足大龍蟲的動物行為

※想法:我們知道毛足是能爬、能游、能飛，但到底游多快、爬多快、飛多快呢?於是我們設計實驗來解決我們的問題。

一、游泳行為:1 方法: (1).觀察紀錄毛足游泳時的動態模式。(2).隨機選雄雌各五隻，將其放置游道中(起始點至終點為 30 cm)，以碼錶記錄游全程的時間。(3).每隻測五次，雄雌各測二十五次，平均其游泳時間，再利用 30 cm 除以平均時間，計算游泳的平均速率。實驗中若有停止不游的則不採計。

二、爬行行為:1 方法: (1). 觀察紀錄毛足爬行時的動態模式。(2).隨機選雄雌各五隻，將其放置箱子裡(起始點至終點為 10 cm)，以碼錶紀錄爬全程一次的時間。(3).每隻測五次，雄雌各測二十五次，平均其爬行時間，再利用 10 cm 除以平均時間，計算爬行的平均速率。實驗中若有停止不爬的則不採計。

三、飛行行為:1 方法: (1).觀察毛足從爬行到起飛的過程並拍照錄影。(2).從飛起到落下利用碼錶紀錄所經過的時間及利用皮尺量測模擬所飛行的距離。(3)利用飛行的距離÷飛行時間算出飛行平均速率。

2.結果:游泳行為:游泳時，前足、中足一般為蜷縮著，有時中足也會左右擺動，後足為像蛙式划水般同步游動，利用後足上的緣毛將水往後推。下表 4-1 為雄雌游泳各二十五次的平均值。

爬行行為:爬行時六足皆有接觸地面，以三點模式前進，但有時會停止，該數據不予採計，休息五分鐘，重新測量。下表 4-2 為雄雌爬行各二十五次的平均值。飛行行為:下表 4-3 為飛行五次的平均值。





圖 23 爬行、游泳、飛行等行為實驗圖。

表 4-1 游速平均值

性別	雄	雌
平均秒數(秒)	2'97"	3'43"
平均游速(cm/s)	10.10	8.74

表 4-2 爬速平均值

性別	雄	雌
平均秒數(秒)	3'00"	3'32"
平均爬速(cm/s)	3.33	3.01

表 4-3 飛速平均值

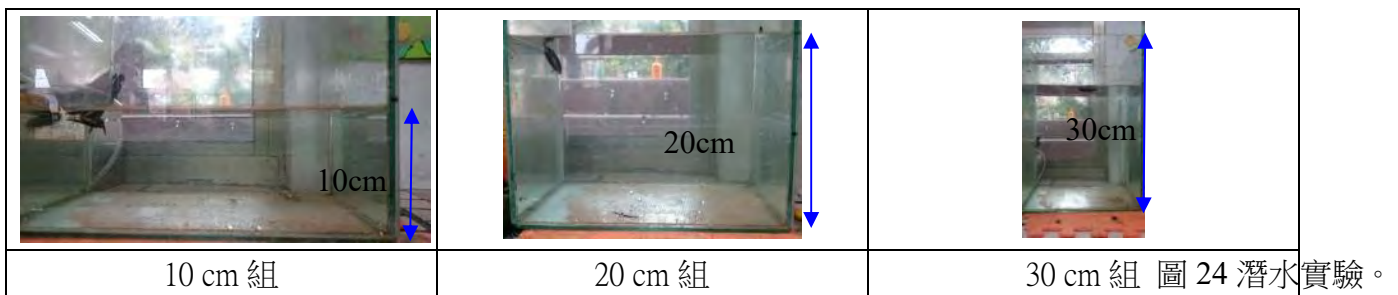
平均距離(cm)	1032.6
平均秒數(秒)	11'21.6"
平均飛速(cm/s)	92.06

※討論:1.雄蟲、雌蟲游速、爬

速不致於相差太多。2.在飛行前，毛足會先爬行，有時會排泄一些液體，之後會開始震動，會發出像引擎轉動的聲音(有錄影檔)，而且聲音頻率會愈來愈高，平均聲音持續 2 分 42 秒 60 毫秒(n = 10)，突然停住之後，後足會順時鐘(往前)旋轉 2~3 圈，之後打開翅鞘飛起，準備飛行過程中會利用前足去刷其觸角，推論可能是在測風向，另外震動時，摸其背部會有很明顯的麻動感而且翅鞘會熱，推論毛足震動是為了預熱內翅或將內翅的水分震掉以利飛行。

**四、潛水換氣行為:**在一般狀況下，毛足能在水中待多久才會上來呼吸呢，不同的深度潛水時間一樣嗎？

1.方法: (1)隨機選取毛足六隻(雄雌各三隻)，每隻實驗十次，每次潛水時間定義為在水面上呼吸到下一次再到水面呼吸的時間。(2)共實驗六十次。(3)以上述方法實驗水位 10 cm、20 cm、30 cm 深的環境。水溫為 18~21°C。



2.結果: 如下表 4-4 雄雌各三隻、每隻實驗十次，水位深 10、20、30cm 潛水實驗平均表

不同水位深度潛水時間	雄	雌
10 cm 組	6 分 4 秒 80 毫秒	8 分 9 秒 60 毫秒
20 cm 組	9 分 30 秒 60 毫秒	5 分 19 秒 80 毫秒
30 cm 組	3 分 51 秒 60 毫秒	5 分 9 秒 60 毫秒

※各組記錄詳如實驗日誌。

3.討論:由實驗結果得知，雄雌蟲的潛水換氣時間並無顯著差異，但水深 30 cm 組的確實潛水時間較短，我們推論由於水較深，相對的水壓較大，毛足耗氧的新陳代謝較快，因此較快上來換氣，但水深 20 cm 組內的深度與潛水時間無相關，對毛足來說，20 cm 與 10 cm 水深對毛足的潛水換氣行為較沒有明顯的影響。

**五、繁殖過程 (求偶行為、交配行為、生殖行為)**

(一)方法:飼養箱內放入水芋及布袋蓮，長期觀察毛足雄與雌之間的行為。

(二)結果:1.在交配前，雄雌皆會有搖晃身體的行為，順逆時鐘方向皆有(有錄影)，屬間歇性搖晃，將有搖晃的時間及次數求其平均，為 1.60 次/秒(n = 13)，我們推測這種行為可能是成熟的成蟲傳遞交配的一種訊息(求偶行為)。2.整個交配過程(含多次交尾，交尾即雄蟲交尾器插入雌蟲泄殖孔、雄蟲只吸附雌蟲不交尾、雄雌分開)能持續一整天，每次交尾時間不一，最長紀錄有達到 28 分之久，最短為 1 分 35 秒。3.完整的交配有紀錄到 18 次交尾。4.交尾後雄蟲大部分仍吸附住雌蟲背部，少部分會放開，有時放開後，雄蟲仍能找到同一隻雌蟲交尾。5.交配完的第二天，才發現水芋及布袋蓮有咬痕，我們試著把咬洞劃開，發現有些洞沒有產卵，有些洞卻有 3 顆卵之多，大部分都是一洞一顆卵。

圖 25 交配行為。

<p>交配時、雄蟲前足吸附住雌蟲背部，中足勾住腹部</p>	<p>雄蟲交尾器插入雌蟲泄殖孔</p>	<p>另一次的交尾，有時交尾時，前足沒有吸附但中足會勾住。</p>
<p>(特寫照)雄蟲交尾器共有 3 部分，即左、中間、右，中間的有兩條勾狀物(插入用)，左右兩部分為固定雌蟲尾端用。</p>	<p>交配過程中每交尾一次後，有時雄蟲仍用前足吸住雌蟲不放。</p>	<p>交配過程，雄雌尾部同時接觸水面換氣。</p>
<p>雌蟲在水芋上咬洞準備產卵</p>	<p>雌蟲在水芋上咬的洞</p>	<p>布袋蓮的氣室及莖也會被咬洞</p>

(三)討論:我們很好奇，到底雄蟲的前足構造是什麼，怎麼可以將游動中的雌蟲牢牢得吸住進而交尾呢?甚至可吸附又放掉(可不用一直吸)。我們寄信給某國立大學的教授，請求協助利用掃描式電子顯微鏡(SEM)協助拍攝毛足大龍蟲的各足構造，也前去大學與教授討論相關問題。

原來大龍蟲屬的雄蟲前足跗節所特化的三節有類似吸盤(附著器)功能，附著器的構造有兩顆，也有三顆，共有四排，還有很密的剛毛，藉由吸盤及毛的特性使得交配得以順利進行。我們很好奇，那到底吸力有多強呢？與另一位應用物理系的教授討論交配的情形，教授分析雄蟲吸住後主要是雌蟲在游動，雄蟲吸盤吸住雌蟲之後應不必刻意用力游，因此其吸附力應不太受速度影響，因此只要測活雄蟲的吸盤吸附力就可當作運動中的吸盤吸附力。(一)方法:1.在磅秤上放上 50 克的物體。2. 讓吸盤吸住磅秤。3. 將雄蟲(吸盤)上拉，一邊觀察磅秤讀數減小的情形。4.當吸盤脫離磅秤的瞬間讀數為 a，由靜力平衡原理可知，**吸附力=50+雄蟲重量-a**。5.取三隻雄蟲實驗，共測得 15 次(見實驗日誌)。6.另外也測死去的雄蟲，是否能吸附住雌蟲及哪些物質。7.另外將迴紋針放入塑膠袋，再用吸盤吸附住塑膠袋，直到吸不起來為止，再將迴紋針放置電子秤量化出其吸盤的力量有多大。(二)結果:1.所測得的 a 平均為 26.33 公克，因此活雄蟲吸附力為 27.17 克重(約 0.266 牛頓) 相當於成蟲(約 3.5 克)的 7.76 倍。2.死去的雄蟲前足仍有吸力，可以將死去的雌蟲吸附起，甚至也可以吸起紙容器碎片、塑膠片等物質。死去的雄蟲吸力量測其結果，吸力能高達 50 支迴紋針約重 16 克重(約 0.156 牛頓)，相當於成蟲(約 3.5 克)的 4.57 倍。


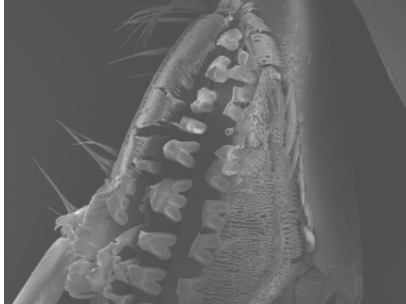
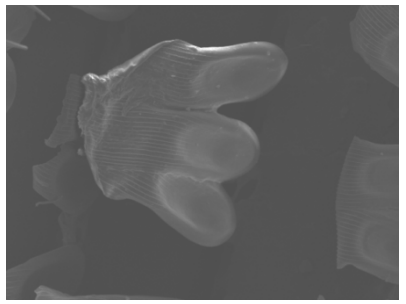
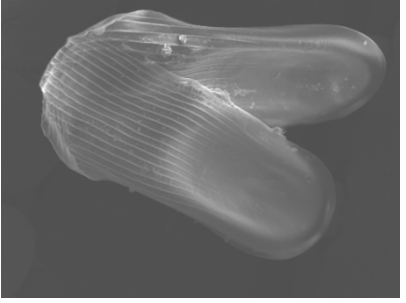
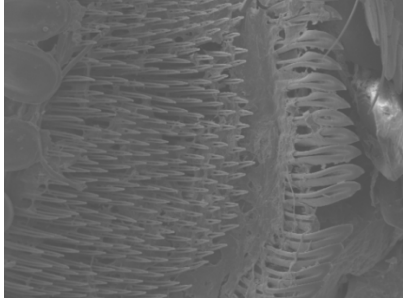
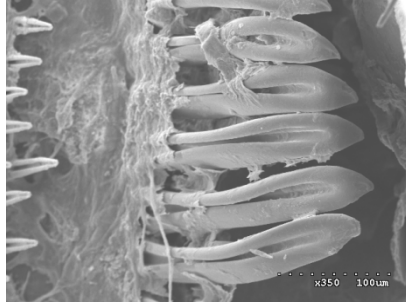




			
SEM 下雄蟲的前足跗節(吸盤)	雄蟲的前足跗節放大照	三顆的吸盤(附著器)	
			
兩顆的吸盤(附著器)	跗節上的剛毛	剛毛放大照	
			
左圖為能吸塑膠片	先讓雄蟲吸盤吸附住量秤	將雄蟲(吸盤)上拉	死成蟲能吸到 50 支迴紋針

圖 26 雄蟲附節吸盤之 SEM 照及量測吸附力照片。

## 六、釋放分泌物:分泌物對水中的生物有何影響?

※想法:我們在做實驗的過中，有發現毛足會分泌一些液體，想了解這種分泌物是否對水生

物會有何影響?

1.方法:(1)飼養過程中,記錄觀察毛足會分泌何種液體及何時會分泌(2)利用滴管、定量(2 cc 裝)收集器及夾鏈袋收集分泌物,再利用 pH 儀量測其酸鹼度。(3)將一隻毛足的分泌物量各別加入五盒大肚魚實驗組(A、B、C、D、E)及五盒赤蛙科蝌蚪實驗組(a、b、c、d、e)中,觀察有何影響,若有影響會有何現象。(4)將分泌物加入水中生物(有黑殼蝦、囊螺、福壽螺、負子蟲),觀察有何影響,若有影響會有何現象。

2.結果:(1).我們發現毛足主要有三處有分泌物產生,分別是口器、前胸背板與頭部接縫處及前胸背板兩側、腹部尾端。大多在擾亂牠或抓取時分泌,在水中也曾分泌,另外雄雌皆會分泌;雄蟲量比雌蟲量多一些。

表 4-5 毛足各分泌物的狀態描述

分泌物位置	口器	前胸背板與頭部接縫處	腹部尾端
分泌物描述	有綠色的也有藍白色的。	分泌物先從藍色變成藍白色再變綠白最後像奶茶的顏色,其雄分泌量約 0.2~0.4 cc 左右,雌蟲約 0.1~0.2cc,氣味難聞像牛奶臭酸的味道。收集後量測其 pH 值為 7.8	顏色呈無色透明狀含一些黑色物質,我們推測為水及排泄物。

(2)分泌的藍白色液體各別與水中生物(大肚魚、蝌蚪、黑殼蝦、囊螺、福壽螺、負子蟲)放在一起的結果是:A 分泌物對大肚魚的影響,其所產生的身體狀態改變為:1.起初呼吸由正常變快(口及鰓蓋開合變快)→2.游泳變得不正常,像無力狀態,胸鰭擺動變慢,又有時會突然游快,最後身體些微呈現 S 型(像抽筋狀態)→最後翻轉游動直至翻白肚(鰓蓋開合最後停止)。

B 其餘黑殼蝦、囊螺、福壽螺、負子蟲皆無影響。下表 4-6 分泌物對大肚魚的影響狀態描述

A 盒大肚魚	B 盒大肚魚	C 盒大肚魚	D 盒大肚魚	E 盒大肚魚
45 分 30 秒時身體已傾斜游泳,呈現像無力狀態,在 59 分 6 秒時,鰓蓋張合由快變慢變無,呈翻肚現象。	51 分 28 秒時胸鰭擺動變慢,無力感,在 1 時 20 分 7 秒時,翻白肚,鰓蓋開合最後停止,呈奄奄一息狀態。	53 分 42 秒時尾巴彎曲像抽筋狀態,身體漸漸側游,在 1 時 30 分 18 秒呈現昏迷狀態,沉至水底,鰓蓋打開停止。	48 分 26 秒時游動不自然,身體歪斜游動,1 時 7 分 30 秒時,尾部側彎,口部張合變慢,最後側躺於底部。	58 分 49 秒時發現鰓蓋開合變快,1 時 35 分時,各鰭擺動變慢,身體似抽筋般,最後呈現奄奄一息。

大肚魚平均開始受影響(出現不自然徵兆)時間:約 51 分 35 秒。下表 4-7 分泌物對蝌蚪的影響狀態描述

a 盒蝌蚪	b 盒蝌蚪	c 盒蝌蚪	d 盒蝌蚪	e 盒蝌蚪
18 分 23 秒開始受影響,即游泳姿勢不平衡,51 分 23 秒已沉於水底一動也不動。	19 分 13 秒開始受影響,嘴巴動很快,游泳無力感,52 分 55 秒已沉於水底。	17 分 16 秒開始受影響,游泳軟弱無力,48 分 52 秒已沉於水底且呈現翻肚狀態。	19 分 20 秒開始受影響,時而側游時而翻身,53 分 42 秒時呈現奄奄一息。	18 分 27 秒開始受影響,想要游離該環境的樣子,51 分 32 秒已一動也不動了。

蝌蚪平均開始受影響(出現不自然徵兆)時間:約 18 分 32 秒。

		
腹部尾端的排泄物	收集乳狀淡藍色液體	利用 pH 儀測其酸鹼度

		
將分泌物收集於定量收集器	起初分泌物對大肚魚無影響	45 多分時漸漸游泳有些傾斜
		
漸漸身體側游有抽筋現象	鰓蓋張合由快變慢變無，呈翻肚現象	分泌物加入蝌蚪實驗組，起初蝌蚪是正常狀態
		
游泳姿勢不平衡，側游且嘴巴動很快。	最後呈翻肚現象，奄奄一息狀態	分泌物對負子蟲、黑殼蝦、螺皆無影響

圖 27 分泌物對水中生物的影響。

### 3.討論:

1. 由實驗結果推論，毛足的藍白色分泌物可能對部分動物有麻痺、昏迷甚至奄奄一息的現象，因此我們認為毛足覓食的方式除了靠嗅覺搜尋外，也可能會分泌該液體幫助牠進食，我們另外有做一隻毛足與 20 隻蝌蚪共處一室共五組的實驗，發現有些蝌蚪游速變慢，甚至停滯，我們推論可能毛足有分泌該物質，部分蝌蚪受到影響進而吃食蝌蚪。 2.我們與教授討論分泌物的成分，教授指導我們說可能是一種生物鹼，雖然生物鹼大都存在於植物中，但也有少數存在於動物的紀錄(箭毒蛙)，它是具有生理活性的鹼性有機化合物，其分子主要由碳、氫及氮原子構成，是許多含氮化合物的通稱，作用於神經系統，對呼吸、心臟有刺激作用。分泌物對水中動物的影響實驗，除了大肚魚、蝌蚪以外其餘水中動物都安然無恙，我們推論分泌物可能對神經系統比較完整的生物有較劇烈的影響，對於神經元的離子通道有負面的影響。因此實驗中的大肚魚有明顯的抽筋現象，蝌蚪無力沉底呈現昏迷最後呼吸中止。

## 伍、結論

- 一、分類地位為動物界/節肢動物門/昆蟲綱/鞘翅目/龍蝨科/大龍蝨屬的毛足大龍蝨。雄雌的明顯差異在雄蟲前足跗節有 5 節，有 3 節特化呈掌形吸盤，吸盤共橫列 4 排，約 65 顆吸盤。與點刻三線大龍蝨外型色澤相仿，但明顯大一號；從卵到成蟲約需 91.19 天。
- 二、毛足成蟲為肉食兼腐食性，主要是靠嗅覺來搜尋食物(屍體類)，幼蟲為肉食性(不具腐食性)，主要是靠視覺及觸覺來獵食，相反的嗅覺不靈敏。
- 三、若有毛足存在的水田，其分解屍體的速率是分解者中(福壽螺、溪蝦、灰龍蝨、琵琶鼠魚)最快的，是為食屍性分解者中非常有效率的清道夫。
- 四、毛足在捕食所提供的各物種中以捕食福壽螺為第一優先，其餘物種被捕食差異不大。

- 五、毛足**偏好棲息於水裡的下層**，推論躲在底層可以避敵，以免被天敵(水鳥)攻擊。
- 六、毛足**沒有特別喜好棲息於哪一種水生植物**(水芋、布袋蓮、菱角植株、大萍)。
- 七、毛足無偏好在何種色系的環境，**主要還是停棲於底部居多**。
- 八、**雌蟲**搜尋獵物的效率比**雄蟲**高。
- 九、毛足**為三棲性**，爬速平均為 3.17 (cm/s)，游速平均為 9.42 (cm/s)，飛速平均為 79.78 (cm/s)。
- 十、雄蟲、雌蟲的潛水換氣時間並**無顯著差異**，但水深較深的環境其潛水換氣時間較短。
- 十一、**在交配前，雄雌皆會有搖晃身體的行為**，順逆時鐘方向皆有，屬間歇性搖晃，平均為 1.60 次/秒，推測這種行為可能是成熟的成蟲傳遞交配的一種訊息(求偶行為)。
- 十二、雌蟲交配後所咬的洞有些沒有產卵，有些洞卻有 3 顆卵之多，大部分都是一洞一顆卵。
- 十三、雄蟲前足跗節所特化的三節有類似吸盤(附著器)功能，附著器的構造有兩顆，也有三顆，共有四排，還有很密的剛毛，藉由吸盤及毛的特性使得交配得以順利進行，**活雄蟲**吸力約 27.17 克重(約 0.266 牛頓) 相當於成蟲(約 3.5 克)的 7.76 倍。**死雄蟲**吸力約 16 克重(0.156 牛頓)，相當於成蟲(約 3.5 克)的 4.57 倍。
- 十四、毛足於前胸背板與頭部接縫處及前胸背板兩側所分泌的藍白色液體會使得大肚魚、蝌蚪身體扭曲到昏迷，**推論此分泌物可能對於脊椎動物的神經系統**(對於神經元的離子通道)有不良的影響，導致獵物麻痺而游速變慢甚至奄奄一息，進而吃食之。

「毛足大龍蟲」為平地水塘中常見的水生甲蟲，有很多特殊性，例如，所分泌的藍白色液體會使水中脊椎動物產生游速變慢、身體扭曲最終到昏迷的現象。雄蟲前足跗節的吸附器特殊構造，也許未來可應用在游泳救生手套，我們相信這是一種很棒的仿生科技發想，但相關的研究非常少，因此大部分的人對其了解有限，藉由本次的研究能讓大家對牠們有更多的認識，建議可當作鄉土教材。

## 陸、參考文獻

- 書籍資料:
- 一、廖智安(2014)。昆蟲，就該這樣養!(水棲篇)。台中市。晨星出版社。
  - 二、金南吉、崔達秀(2012)。圖解昆蟲的世界。臺北市。貓頭鷹出版社。
  - 三、黃仕傑(2012)。昆蟲臉書。臺北市。天下文化出版社。
  - 四、吳怡欣、何嘉浩(2001)。點刻三線大龍蟲 (Cybister tripunctatus Olivier) 之形態與生活史研究。動物園學報 13：1-9。

網路資料:

- 一、臺灣物種名錄-毛足大龍蟲。民 105 年 8 月 31 日，取自 [http://taibnet.sinica.edu.tw/chi/taibnet\\_species\\_detail.php?name\\_code=333095](http://taibnet.sinica.edu.tw/chi/taibnet_species_detail.php?name_code=333095)
- 二、臺灣大學昆蟲標本館數位典藏-龍蟲。民 105 年 8 月 31 日，取自 [http://www.imdap.entomol.ntu.edu.tw/CommonInsectImage.php?CIindex=image&L=C&CI\\_ID=14236](http://www.imdap.entomol.ntu.edu.tw/CommonInsectImage.php?CIindex=image&L=C&CI_ID=14236)
- 三、蟲林探險趣-陸海空樣樣行-龍蟲。民 105 年 9 月 1 日，取自 <https://tc.edu.tw/lifetype12/index.php?op=ViewArticle&articleId=3368&blogId=145>

## 柒、未來研究的方向

未來若能測定出分泌物的成分，可能會發現出對人類有所貢獻的化學物質(醫療藥物)，造福人類，如箭毒蛙的生物鹼開發抗阿茲海默症藥物及麻醉藥物。

## 【評語】 080321

本件作品觀察探討毛足大龍蝨構造，且詳細描述毛足大龍蝨的成長、獵食方式、交配行為，並發現毛足大龍蝨可能藉由分泌物麻痺脊椎動物的神經系統，進而補食，相當完整。部分實驗設計宜可再精準。在討論吸盤的吸附力方面，雄性前足吸盤吸附力與速度有正相關的研究，建議參考 2014 年由中興大學物理系紀凱容老師研究團隊發表在 J Royal Society Interface 的文獻。

作品海報



# 摘要

毛足大龍蝨屬於完全變態類的水中昆蟲，幼蟲期為三齡，卵到成蟲的發育日數約為91.19天。成蟲為肉食兼腐食性，主要是靠嗅覺來搜尋食物；幼蟲是獵食性，性情兇猛俗稱水老虎(water tiger)，主要是靠視覺及觸覺來獵取食物，成蟲是食屍性分解者中很有效率的清道夫。雄蟲前足附節所特化的三節有類似吸盤(附著器)的功能，附著器的構造有兩顆，也有三顆，共有四排，還有很密的網毛，藉由吸盤及毛的特性使得交配順利進行。雄雌成蟲皆會分泌的藍白色液體，為水溶性，平均約51分35秒大肚魚(n=5)開始受影響，平均約18分32秒(n=5)赤蛙科蝌蚪開始受影響，流速變慢、身體扭曲最終到昏迷，推論此分泌物可能對於脊椎動物的神經系統(對於神經元的離子通道)或呼吸系統有不良的影響。

## 壹、研究動機

老師帶我們到野外水塘去採集水生昆蟲，我們採集到一種從未看過的水生昆蟲，牠的外型圓圓胖胖的很可愛，接著我們查了這個水生昆蟲的名字，經過查詢後，才知道牠的名字叫做「毛足大龍蝨」。之前自然課中學到一些水生昆蟲的知識(南一版四上第二單元-水中生物、四下第二單元-昆蟲世界及五下第三單元-動物的生活)再加上我們的好奇心和積極研究的心，因此展開了探討毛足大龍蝨的研究。

## 參、研究設備與器材

(請參閱作品說明書P.3)

## 肆、研究過程、方法、結果及討論

### 【研究一】毛足大龍蝨(本研究報告簡稱為毛足)的採集與文獻探討

#### 一、文獻探討與物種鑑定：

(一)方法：搜尋網路上的資料及昆蟲相關書籍進行閱讀與整理並諮詢某國立大學教授。

(二)結果：在臺灣物種名錄網站、張永仁的昆蟲圖鑑有記載但未有正式的研究紀錄，歸結資料如右表1-1：

#### 二、野外實察

##### (一)調查方法：

- 1、捕捉地點：到鄉野田間的埤塘進行。
- 2、捕捉方式：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(虱目魚肉、小魚乾或大麥蟲)並在蝦籠內放入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，約十公尺放置一個蝦籠，共設3~5個陷阱，五~十天後收籠。



圖3野外調查情形

### 【研究二】記錄及觀察毛足大龍蝨的形態、特徵

#### 一、飼養觀察：

(一)方法：以水族箱、水箱等容器長時間飼養、觀察、測量並拍照、錄影。

- 1、紀錄毛足生活史：(1)、將捕捉到的毛足成蟲(♂)(♀)各三隻放入水族箱內，其內放入布袋蓮、水蘊草、水芋讓毛足抓取攀附。(2)、每日餵食兩隻大麥蟲或小魚乾。(3)、等待產卵。(4)、紀錄卵期。(5)、等待其孵化後，將各一齡幼蟲飼養於一公升容器，放入小型大肚魚供其捕食。(6)、將三齡幼蟲放於有水及泥土的實驗裝置中，讓其化蛹。(7)、紀錄各齡期、蛹期與測量各齡期的體長。(8)、量測野外捕撈的成蟲體長與體寬並比較雄蟲與雌蟲是否有差異。



圖5飼養觀察

2、觀察成蟲、幼蟲各部位構造及功能：描繪的部位包括全身背部、全身腹部、觸角、大顎鬚、下唇鬚、口器、前足、中足、後足及呼吸板、氣孔等主要分類特徵。

(二)結果：如下表2-1 毛足各階段齡期及身體各部位形態特徵。

蟲期	圖片	期間(天)	體(卵)長(mm)	頭(卵)寬(mm)	形態特徵
卵		14.69±1.54	12.74±0.5	2.48±0.13	卵為米白色呈現圓柱彎曲細長型。雌蟲將卵產於水生植物內，每個咬痕洞內可產1~3顆卵。(n=5)
一齡		8.2±0.98	33.16±0.98	2.54±0.13	身體呈黃褐色，左右兩邊兩條黑色條紋，身體細長柔軟，左右各六顆單眼，頭呈倒梯形，具柑狀口器，無翅。前、中、後足細長，藉由腹部尾端呼吸構造來呼吸，平常會倒掛水面下或在水中行走。(n=5)
二齡		21.8±0.98	62.27±0.55	5.3±0.03	二齡蟲相較於一齡蟲比較活躍，較能主動覓食，取食量較大。(n=5)
三齡		15.5±0.5	86.83±0.41	7.26±0.18	蟲體腹部變得更粗大，大顎也明顯變大，單眼更為明顯，游動較二齡蟲緩慢，腹部末三節左右細毛變多。(n=2)
蛹		32(含前蛹期)			脫皮至三齡幼蟲共有二隻，在快上陸化蛹前，幼蟲已不再補食，上陸挖好洞後，第一天蛹室尚未密合，仍可見幼蟲在裡面動，結果第二天又發現幼蟲又爬出蛹室外，但也沒有進食，第三天才把蛹室開口完成，實驗過程中挖開蛹室來觀察，但仍無發現變蛹，因此我們決定等久一點再挖，結果卻羽化了，未來我們會利用類似內視鏡頭來觀察蛹室內的變化，如變蛹時便可拍照紀錄。
蛹室					整體蛹室長約7cm，寬約5cm，呈球狀，裡面的洞口約3cm，深約3.5cm。

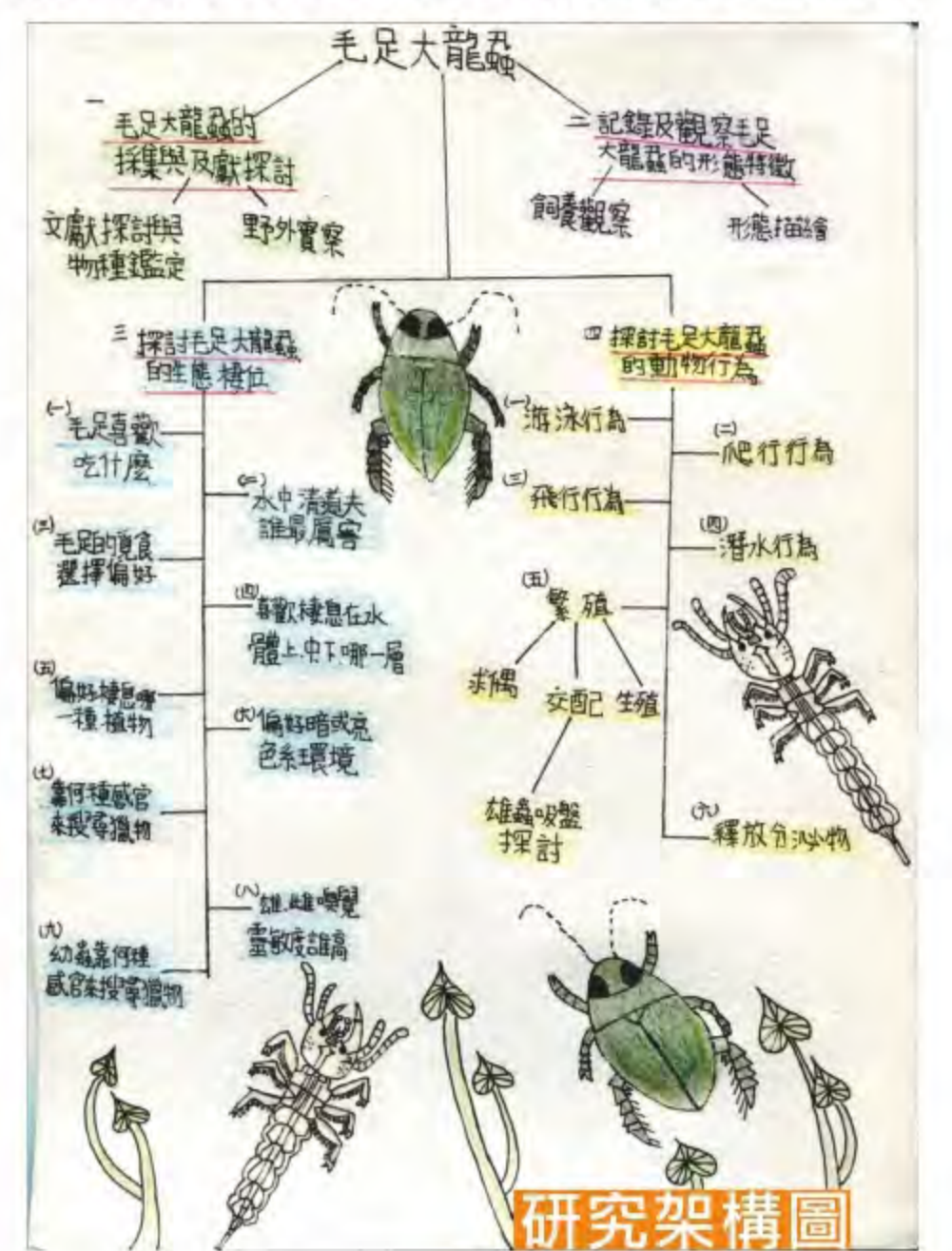
※上述各幼蟲的體長、頭寬為脫皮後隔天所量測。

## 貳、研究目的及架構

- 研究目的 (一)毛足大龍蝨的採集與文獻探討。  
 (二)記錄及觀察毛足大龍蝨的形態、特徵。  
 (三)探討毛足大龍蝨的生態棲位(Ecological Niche)。  
 (四)探討毛足大龍蝨的動物行為(Animal Behavior)

#### 研究進度

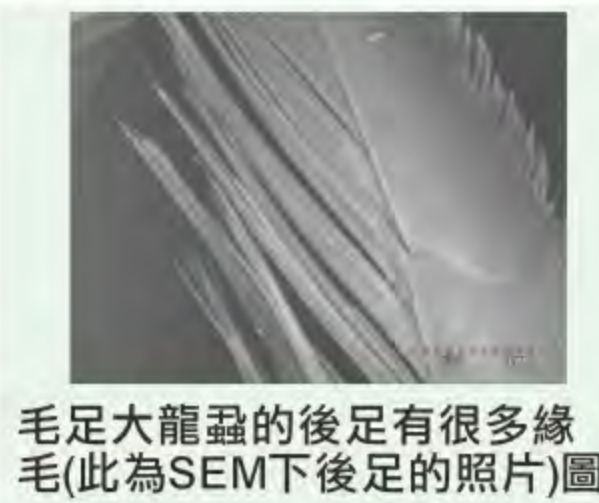
研究步驟	105年					106年			
	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月
文獻蒐集									
田野調查									
實驗設計與進行									
資料整理與統計									
撰寫作品說明書									



研究架構圖

表1-1 毛足分類地位及與點三的差異比較

分類地位如下：  
 Kingdom Animalia 動物界  
 Phylum Arthropoda 節肢動物門  
 Class Insecta 昆蟲綱  
 Order Coleoptera 鞘翅目  
 Family Dytiscidae 龍蝨科  
 Genus Cybister 大龍蝨屬  
 Cybister limbatus (Fabricius, 1775) 毛足大龍蝨



毛足大龍蝨的後足有很多緣毛(此為SEM下後足的照片)圖



點刻三線大龍蝨(Cybister tripunctatus)約2.7cm



本研究物種毛足大龍蝨(Cybister limbatus)約4cm

圖2 毛足及與點三的體型差異

台灣龍蝨科現有的紀錄有27屬61種，其中Cybister屬的有7種，比較點刻三線大龍蝨(Cybister tripunctatus)，兩者外型皆為橢圓形、體色呈墨綠色、兩片翅鞘上各有縱向點刻痕線三條，幼蟲期皆為三齡，性情兇猛幼蟲俗稱水老虎(water tiger)。雄蟲前足附節前三節皆特化為吸盤狀、後足為刷狀的游泳足，其差別在於毛足大龍蝨平均體長體寬較大，且後足的緣毛很多且密，因此中文名稱為毛足大龍蝨。其為完全變態類昆蟲，生活史為卵→幼蟲→蛹→成蟲。分佈於台灣低海拔地區的池塘、沼澤等水域。除台灣外，亦分佈於日本、中國等地區。由於外型狀似烏龜，所以早期農村社會叫牠為「水龜仔」，而毛足大龍蝨是大龍蝨屬中體型最大的。

(二)結果：採集到的水生動物總數如下表 1-2:水生動物總數 採集時間:105.9~106.3

物種	毛足大龍蝨	澤蛙	仰泳椿	拉氏清溪蟹	灰龍蝨	點刻三線大龍蝨	姬牙蟲	負子蟲	水蠶	巴西烏龜
總計(隻)	38	3	56	1	23	7	2	13	23	2

(三)討論：1.我們用蝦籠式誘餌陷阱法來採集，發現用小鱼乾、虱目魚肉、大麥蟲當餌料等誘集皆有捕獲毛足。2.棲息地的特徵除了有水生植物外，岸邊也是泥地，因此能讓雌成蟲產卵，幼蟲也能上陸挖蛹室化蛹。※下圖為長期野調過程中所誘集到的水生動物照片。



圖4野調所誘集到的水生動物



圖6 三齡幼蟲上陸化蛹羽化情形

上陸化蛹過程：  
 105.11.27上陸挖蛹室，  
 105.11.29有蛹室但無蓋，  
 105.11.30有蛹蓋了，  
 105.12.6及105.12.12  
 兩天檢查是否化蛹，仍  
 無化蛹，且驚動到幼蟲  
 時會發出出出??的聲音，  
 最後於105.12.29  
 成蟲出來。  
 入蛹室到羽化約32天；  
 另一隻則死於蛹室內無  
 爬出。

蛻皮：蛻皮時身體會停  
 住不動，前、中足會挺  
 起，前胸背面會裂開，  
 接著由頭部先出來，整  
 個蛻皮過程約10分鐘左  
 右。剛脫完皮為淡黃色，  
 約三個小時開始變黑  
 褐色。



圖7幼蟲蛻皮

歸納統整:如下表2-2各齡期發育時間: 室內溫度約20°C~26°C

單位:天	卵期	一齡	二齡	三齡	蛹期	卵到成蟲
時間	14.69	8.2	21.8	15.5	32	91.19

註：

- 1、卵期計算為室內飼養雌蟲咬洞產完卵後直到在水箱中發現一齡幼蟲為準。
- 2、所飼養的一齡幼蟲至三齡幼蟲時，大部分皆死亡，到要化蛹時只有兩隻三齡上陸，一隻羽化沒有成功，因此蛹數數據仍需加強。
- 3、目前仍佈置產卵環境，讓雌蟲產卵，正持續在建立更完善的生命史。

#### (二)結果：

1、成蟲的體長、體寬雄雌各5隻:(n=5)

表2-3:雄雌蟲體長、體寬比較表

單位(mm)	雄蟲(♂)	雌蟲(♀)
體長平均	38.6±1.05	37.73±1.32
體寬平均	21.18±0.33	20.75±0.49

- 註：1、體長為頭部尖端至腹部尾端。  
 2、體寬為身體最寬處(腹部第一節)。  
 3、從野外捕捉的成蟲隨機抽樣雄5隻、雌5隻。  
 4、平均長度為四捨五入取至小數第二位。  
 ※雄蟲與雌蟲大小相當。

3.幼蟲、成蟲各部位構造及功能：將形態觀察的描述、手繪圖及攝影照片整理如下表2-4：

表2-4：

部位	描述	手繪圖	照片
頭部背面	背面的頭部能明顯看出兩顆複眼但無單眼、有一對觸角、一對大顎鬚、一對下唇鬚(從腹面延伸出來)。		
頭部腹面	有咀嚼式口器(大顎、小顎、下唇)、觸角、大顎鬚、下唇鬚等構造。		
觸角	(1)是絲狀觸角，有9節，從口器上方，從兩顆複眼邊緣長出。(2)顏色從黃褐色到黑褐色都有。		

部位	描述	手繪圖	照片
前足(雄)	腿節為黃黑褐色，其餘各節呈淡褐色。附節有5節，有3節特化呈掌形吸盤，吸盤共橫列4排，約65顆吸附器。吸盤的功能在於交配時能吸附住雌蟲的背面以順利交配。(後文有SEM照片)		
前足(雌)	基節、轉節、腿節呈黃褐色，附節呈黑褐色，附節也是5節，腿節末有突起物。		
中足	基、轉、腿節呈黃褐色，脛節、附節呈黑褐色，脛節下緣有長條狀的兩突起刺，可抵抗外敵攻擊，全足呈現黑褐色到紅褐色分布，其附節為5節。		
後足游泳足	全足為黑褐色到黑色分布，兩根脛節突起刺較中足明顯，被刺到有疼痛感。其附節為5節。後足特化呈游泳足，其游泳時後足剛毛會展開成刷狀以推動水而幫助滑翔。		
腹部	腹部共5節：第2、3、4節左右兩側各有一黃色斑點。毛足游泳至水面上呼吸換氣時是利用呼吸板頂破水的表面，再將氣體儲存在外翅內腹甲上，在背內形成氣泡層，即為腹甲式呼吸法。		
呼吸板	呼吸板內存於腹部最末節，在毛足游泳至水面換氣時才會伸出；共有兩小節，雌雄皆有。		
氣孔	將剛死去的成蟲前翅剪開後，發現前胸背板下緣左右兩側有明顯的氣孔。(右圖為右側的氣孔)		

### 【研究三】探討毛足大龍蟲的生態棲位

#### 一、毛足喜歡吃什麼食物?

一、方法：詳見說明書 P13或由作者現場說明



圖8成蟲幼蟲吃食情況

(二)結果1：表3-1 成蟲對於不同食材的進食結果表

會進食的類別	部分進食類別	不會進食的類別
動物屍體類全部吃食	仰泳蝽、負子蟲、蝦子(黑殼蝦、溪蝦)、蝌蚪	植物類全部不吃食

(三)結果2：表3-2 幼蟲對於不同食材的進食結果表

會進食的類別	部分進食類別	不會進食的類別
動物屍體類不會主動吃食	仰泳蝽、蝦子(黑殼蝦)、蝌蚪、大肚魚	植物類全部不吃食

(四)討論：1.實驗過程中發現像福壽螺、蝌蚪、水蘆...等行動速度比較緩慢的，常常被成蟲吃食，而移動速度較快者，比較不會被毛足成蟲所捕捉。2.植物類包含葉菜類、果實類成蟲與幼蟲皆不進食。3.幼蟲不會主動吃食屍體類的食物，除非屍體被水波擾動或用夾子夾取食餌到幼蟲面前擾動吸引其注意才會吃食。4.幼蟲吸食獵物會變換吸食位置，可能原先位置的組織液已被吸食完進而變換吸食位置吸食其它部位的組織液。5.由於水生及陸生動物屍體皆會被毛足成蟲吃食，令我們感到好奇的是一般淡水生態系中有哪些分解者呢？又這些物種中哪種分解效率較高呢？於是我們設計了底下實驗。

#### 二、「水中清道夫誰最厲害」

(一)方法：詳見說明書 P15或由作者現場說明



圖9各分解者的進食狀況

(二)結果：如下表3-3

清道夫物種	毛足	福壽螺	溪蝦	灰龍蟲	琵琶鼠魚
吃完所花時間A	17分42秒	5日20時	10日12時	13時44分	9日21時
吃完所花時間B	22分53秒	4日19時	9日18時	19時22分	5日23時
吃完所花時間C	19分33秒	3日19時	11日16時	19時54分	9日15時
平均所花時間(日)	約0.01日	約4.81日	約10.64日	約0.74日	約8.49日
清食完速率比序	1	3	5	2	4

(三)討論：

- 毛足組幾乎無剩餘屍骸。
- 灰龍蟲組、琵琶鼠魚組及福壽螺組仍有一些屍屑。
- 溪蝦組仍剩脊椎骨。綜合上述，若有毛足大龍蟲存在的水塘，屍體應該很快就被分解，可說是最有效率的水中清道夫(屬於食屍性分解者)。

#### 三、毛足的覓食選擇偏好

※想法：延續研究三之一，既然毛足是屬於肉食兼腐食性的水中昆蟲，除了屍體外，牠是否有偏好吃食水中的那些活體呢？

(一)方法：詳見說明書 P16或由作者現場說明



圖11毛足的覓食選擇偏好

(二)結果：表3-4為5盒實驗組中的取食順序。

※為了便於統計，我們將同一盒內第一被吃食的物種給予五點，第二被吃食的給予四點，第三被吃食的給予三點，第四被吃食的給予二點，第五被吃食的給予一點。

取食順序	A	B	C	D	E	換算所得點數
珠文錦魚	3	4	5	4	3	3+2+1+2+3=11
溪蝦	4	3	2	5	5	2+3+4+1+1=11
泥鰍	5	2	4	1	2	1+4+2+5+4=16
赤蛙科蝌蚪	1	5	3	2	4	5+1+3+4+2=15
福壽螺	2	1	1	3	1	4+5+5+3+5=22

#### 四、毛足喜歡棲息在水體中的上、中、下哪一層呢?

※想法：我們知道毛足是水生昆蟲，但其棲位是屬於哪一階層呢?

(一)方法：詳見說明書 P17或由作者現場說明

(二)結果：如下表 3-5

觀測時間	11/17	11/18	11/21	11/22	11/23	11/24	11/25
8:00	下層5隻	下層5隻	上層1隻 中層1隻 下層3隻	下層5隻	下層5隻	下層5隻	下層5隻
13:00	下層5隻	上層1隻 下層4隻	下層5隻	下層5隻	下層5隻	下層5隻	上層1隻 下層4隻
16:00	上層1隻 下層4隻	上層4隻 下層1隻	下層5隻	上層2隻 下層3隻	下層5隻	中層1隻 下層4隻	上層3隻 下層2隻
各觀測時段總計隻次	上層:13隻		中層:2隻		下層:90隻		
平均每次觀察時棲位	上層:13隻 ÷ 共21次觀察 = 0.62隻		中層:2隻 ÷ 共21次觀察 = 0.09隻		下層:90隻 ÷ 共21次觀察 = 4.28隻		

(三)討論：實驗結果顯示，毛足偏好棲息於水裡的下層，但在換氣時會游至水面上，推論躲在底層可以避敵，以免被天敵(水鳥)攻擊。

#### 五、毛足偏好棲息於哪一種植物?

※想法：野外採集時，棲息地有許多水生植物，我們想了解是否毛足有偏好棲於哪一種植物呢?

(一)方法：詳見說明書 P18或由作者現場說明



圖13水生植物選擇棲息偏好

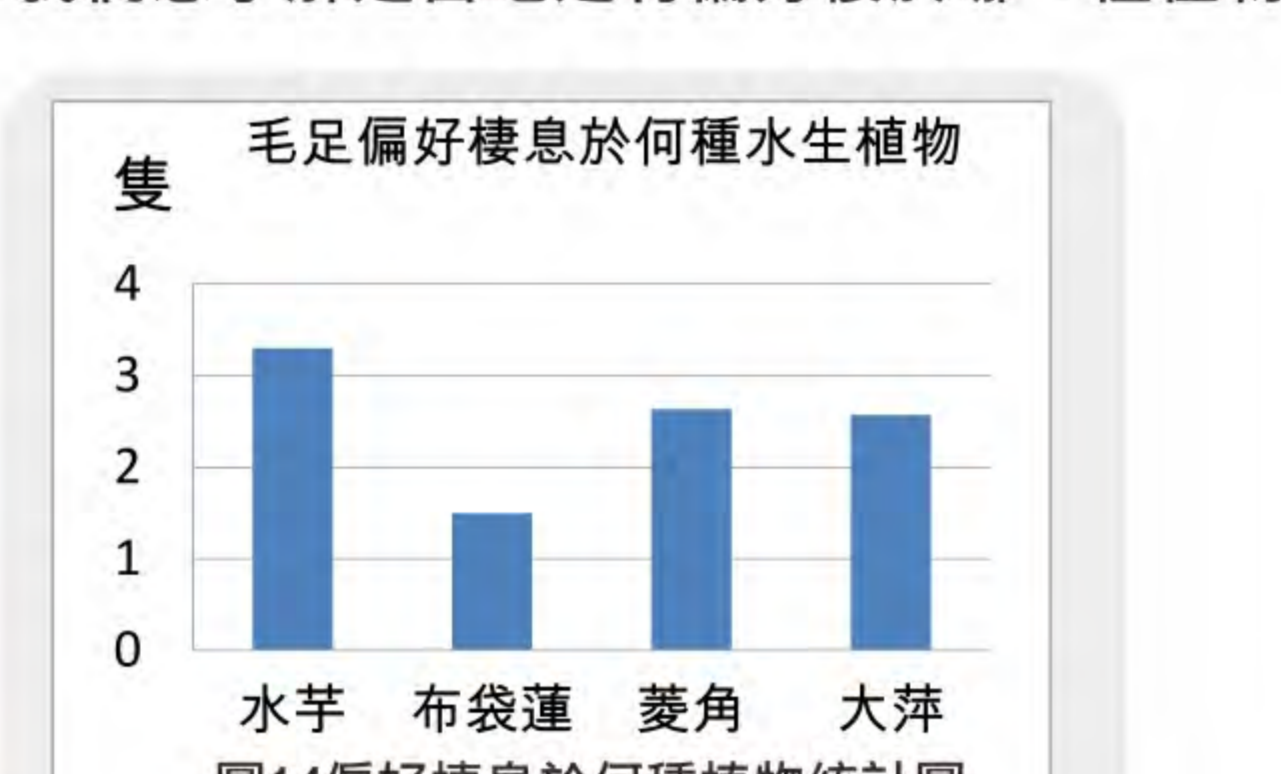


圖14偏好棲息於何種植物統計圖

(二)結果：共記錄十天，三十次

種類	水芋	布袋蓮	菱角植株	大萍
平均值(隻次)	3.30	1.50	2.63	2.57

(每次記錄詳見實驗日誌)(上表平均為利用四捨五入法到小數第二位)

(三)討論：結果顯示，毛足停棲在四種水生植物的差異並不明顯，雖然布袋蓮棲息隻次較少，但毛足除了會在水芋咬洞產卵，布袋蓮也會，觀察過程中甚至發現毛足也會爬離水面棲息於露出的水生植物表面，綜合分析，在這四種水生植物，毛足沒有特別喜好棲息於哪一種。

#### 六、毛足偏好何種色系環境呢?

※想法：飼養過程中，晚上一打開水族箱上的燈，發現毛足就像遇到天敵般到處亂竄，急著找地方躲藏，可見至少牠能感測光線的明暗，因此我們設計底下的實驗，驗證除了牠能感測光線的明暗外是否還有顏色的偏好。

(一)方法1：詳見說明書 P19或由作者現場說明

(二)結果：如下表 3-7 顏色偏好統計表



圖15偏好黑與白環境實驗

(二)結果：共記錄七天，二十一次

底石顏色	黑色	白色
平均值(隻次)	4.86	5.14

(每次記錄詳見實驗日誌)(上表平均為利用四捨五入法到小數第二位)

(三)討論：實驗結果顯示毛足無偏好在何種色系環境，主要還是停棲於底部居多。

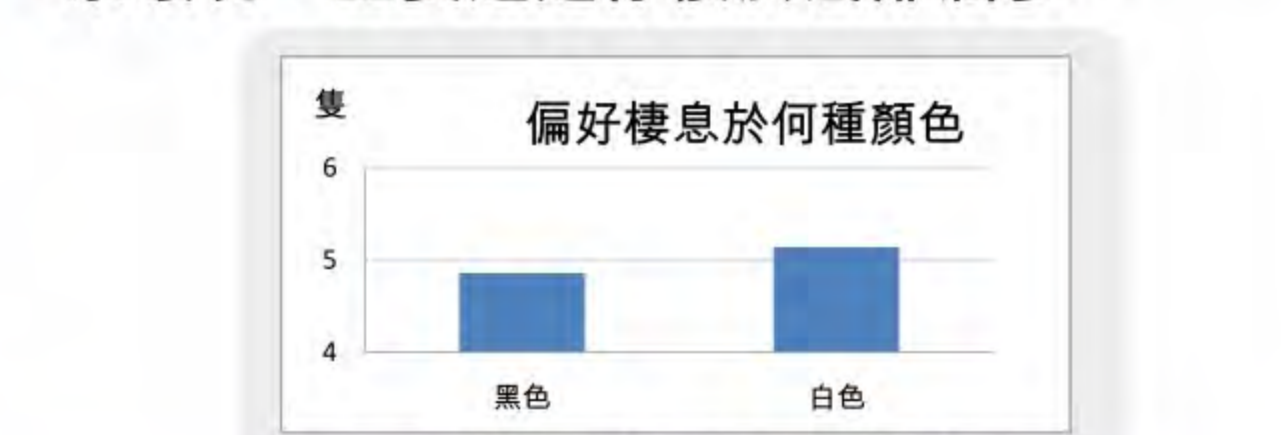


圖16偏好棲息於何種顏色統計圖

#### 七、毛足是靠嗅覺或視覺或振動來搜尋獵物呢?

※想法：平日飼養觀察時，餌料很明顯地在毛足身旁，為什麼毛足游過來游過去，卻無法精準地游到餌料位置，而是在餌料位置旁動著觸角，好像在找東西，最後才找到食物呢？使我們感覺到牠是不是「大近視眼」呢？於是我們設計底下實驗來驗證毛足是靠嗅覺來找到獵物還是靠視覺或震動。

※視覺實驗：方法1：詳見說明書 P20

※嗅覺實驗：方法2：詳見說明書 P20

※振動實驗：方法3：詳見說明書 P21

(二)結果1、2與3：視覺實驗組無攀附夾鏈袋，都在箱底游動或停止休息。而嗅覺實驗組(虱目魚肉)共二十五次試驗其平均時間為5分45秒60毫秒，然而振動實驗二十五次只有一次明顯地在振源旁游動，其餘都沒有。記錄詳如實驗日誌。

(三)討論1、2與3：只有在嗅覺實驗組毛足才有攀附目標餌料，過程中發現毛足的觸角一直在上下振動，推論觸角應具有大量的氣味接受器而視覺實驗組中的毛足皆游來游去或停靠某一點而無找到食餌；模擬陸生昆蟲掉落水面上的振動也無法吸引毛足前來覓食，調節節拍頻率到160、180、200赫茲也是一樣，從結果中很明顯的驗證出毛足成蟲主要是靠嗅覺來找到獵物，視覺與振動不明顯。

※延伸實驗想法：既然已經知道毛足是靠嗅覺來找尋食物，那雄雌誰較靈敏呢？於是我們設計底下的實驗。

#### 八、雄雌毛足何者嗅覺靈敏度較高?

(一)方法：詳見說明書 P21或由作者現場說明

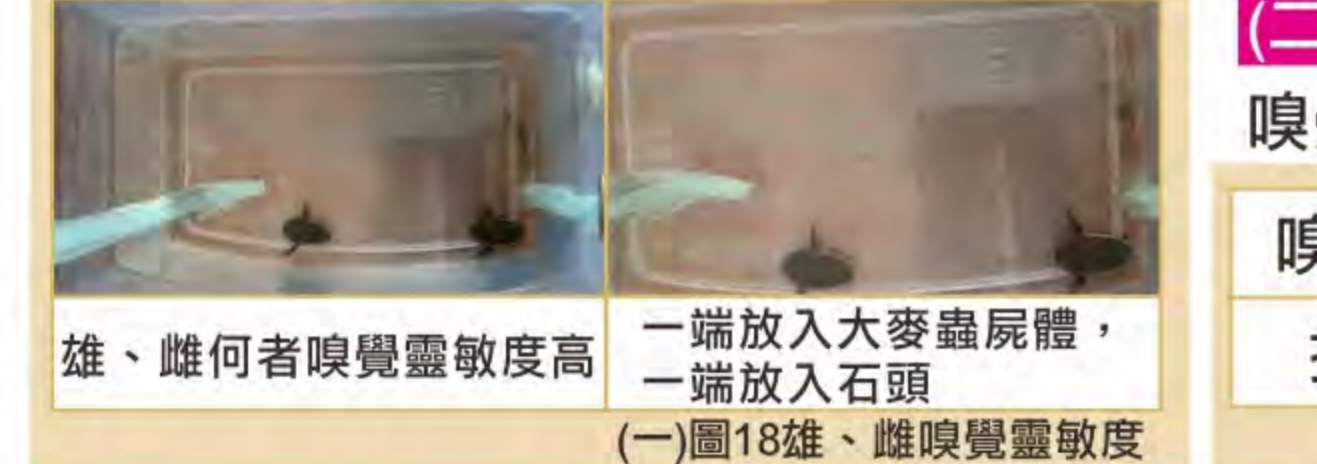


圖18雄、雌嗅覺靈敏度

(二)結果：如下表3-8

嗅覺靈敏度	雄蟲	雌蟲
搜尋時間	9分21秒60毫秒	7分51秒60毫秒

※各組記錄詳如實驗日誌。

(三)討論：實驗結果雌蟲比雄蟲更快找到食餌，我們推論成蟲雌蟲可能因為要更多的營養來產生卵，因此相對的比雄蟲更迫切需要食物，所以相對的搜尋獵物的效率比雄蟲高。

#### 九、毛足幼蟲主要是靠何種感官來覓食呢?

※想法：毛足幼蟲主要捕捉水中的小型動物屬於獵食性，不攻擊屍體，那牠到底是靠視覺、觸覺還是嗅覺來偵測食物呢?

※視覺實驗：

(一)方法：詳見說明書 P22或由作者現場說明

(二)結果：如表3-9幼蟲視覺實驗統計表

有靠近魚瓶並大顎打開攻擊狀態	實驗第1次	實驗第2次	實驗第3次	次數統計
A隻	V	V		2
B隻	V	V	V	3
C隻	V	V		2
D隻	V		V	2
E隻	V	V		2
視覺反應比率	11 ÷ 15 = 0.73 = 73% > 50%			



圖19幼蟲靠視覺感官覓食

(三)討論：實驗過程中，幼蟲會到處游走，但當爬至魚瓶約4cm時並發現有魚在游動時，就會有打開大顎的現象，表示已偵測到有魚，可證明有視覺但更靠近瓶子發現好像進不去後，就邊游走邊停棲於瓶身，也曾對另一瓶裝石頭的瓶子做攻擊狀，我們推論可能游動時的水波讓影像有閃動吸引其注意，但是是少數。

※嗅覺實驗：

(一)方法：詳見說明書 P22

(二)結果：皆無靠近網袋也沒有攻擊網袋的情況。



圖20幼蟲的嗅覺實驗狀況

### ※觸覺實驗:

(一)方法1-1: 詳見說明書 P23或由作者現場說明



圖21幼蟲振動實驗

有靠近震源並大顎打開攻擊狀態	實驗第1次	實驗第2次	實驗第3次	次數統計
A隻	V		V	2
B隻	V	V		2
C隻	V	V		2
D隻	V			1
E隻	V	V	V	3

視覺反應比率  $10 \div 15 = 0.67 = 67\% > 50\%$

(三)討論: 雖然幼蟲對振動有所反應, 會受振源吸引, 但當被吸引靠近時, 發現不是獵物, 部分幼蟲便游走掉了, 不會一直在振源旁邊。既然幼蟲對振動有反應, 我們設計一個全暗環境, 試驗幼蟲是否能捕食到大肚魚, 實驗過程如下。

(一)方法2-1: 詳見說明書 P23或由作者現場說明

(二)結果2: 實驗結果, 五隻幼蟲皆成功捕食大肚魚, 不過有一隻幼蟲在實驗結束打開櫃子時與大肚魚皆死亡, 推測可能是幼蟲本身個體因素而亡。



圖22全暗環境下幼蟲捕食大肚魚

(三)討論3: 從實驗結果得知, 幼蟲能在無光環境捕食到大肚魚, 可見觸覺能幫助牠捕食, 綜合分析, 幼蟲能靠視覺、觸覺捕食而獵物, 但嗅覺相對不靈敏。

### 【研究四】探討毛足大龍蟲的動物行為

※想法: 我們知道毛足是能爬、能游、能飛, 但到底游多快、爬多快、飛多快呢? 於是我們設計實驗來解決我們的問題。

- 一、游泳行為: 方法: 詳見說明書 P24。
- 二、爬行行為: 方法: 詳見說明書 P24。
- 三、飛行行為: 方法: 詳見說明書 P24。

### 結果:

游泳行為: 游泳時, 前足、中足一般為蜷縮著, 有時中足也會左右擺動, 後足為像蛙式划水般同步游動, 利用後足上的緣毛將水往後推。下表4-1為雄雌游泳各二十五次的平均值。

爬行行為: 爬行時六足皆有接觸地面, 以三點模式前進, 但有時會停止, 該數據不予統計, 休息五分鐘, 重新測量。下表4-2為雄雌爬行各二十五次的平均值。

飛行行為: 下表4-3為飛行五次的平均值。

表4-1 游泳平均值			表4-2 爬速平均值			表4-3 飛速平均值	
性別	雄	雌	性別	雄	雌	平均距離(cm)	1032.6
平均秒數(秒)	2'97"	3'43"	平均秒數(秒)	3'00"	3'32"	平均秒數(秒)	11'21.6"
平均游速(cm/s)	10.10	8.74	平均爬速(cm/s)	3.33	3.01	平均飛速(cm/s)	92.06

※討論: 1.雄蟲、雌蟲游速、爬速不致於相差太多。2.在飛行前, 毛足會先爬行, 有時會排泄一些液體, 之後會開始震動, 會發出像引擎轉動的聲音(有錄影檔, 現場播放), 而且聲音頻率會愈來愈高, 平均聲音持續2分42秒60毫秒(n=10), 突然停住之後, 後足會順時鐘(往前)旋轉2~3圈, 之後打開翅鞘飛起, 準備飛行過程中會利用前足去刷其觸角, 推論可能是在測風向, 另外震動時, 摸其背部會有很明顯的麻動感而且翅鞘會熱, 推論毛足震動是為了預熱內翅或將內翅的水分震掉以利飛行。

四、潛水換氣行為: 在一般狀況下, 毛足能在水中待多久才會上來呼吸呢, 不同的深度潛水時間一樣嗎?

1.方法: 詳見說明書 P25或由作者現場說明

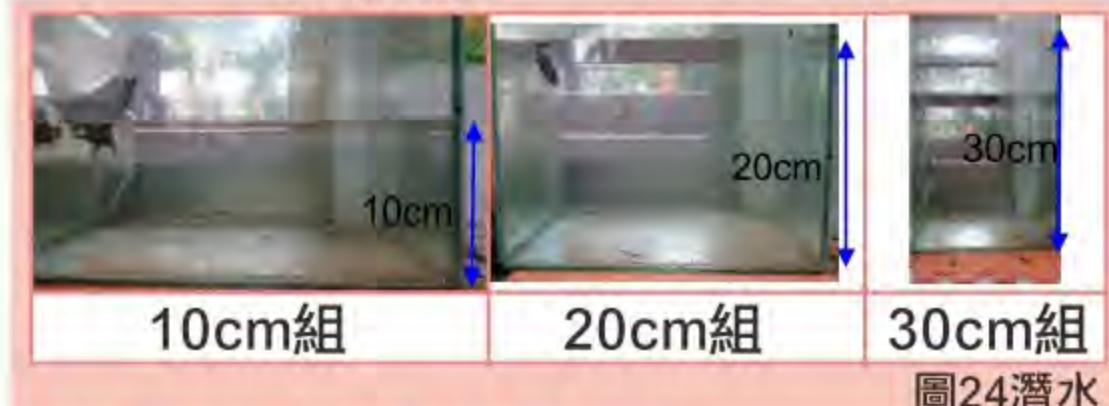


圖24潛水

※各組記錄詳如實驗日誌。

2.結果: 如下表4-4雄雌各三隻、每隻實驗十次, 水位深10、20、30cm潛水實驗平均表

表4-4		
不同水位深度潛水時間	雄	雌
10cm組	6分4秒80毫秒	8分9秒60毫秒
20cm組	9分30秒60毫秒	5分19秒80毫秒
30cm組	3分51秒60毫秒	5分9秒60毫秒

3.討論: 由實驗結果得知, 雄雌蟲的潛水換氣時間並無顯著差異, 但水深30cm組的確潛水時間較短, 我們推論由於水較深, 相對的水壓較大, 毛足耗氧的新陳代謝較快, 因此較快上來換氣, 但水深20cm組內的深度與潛水時間無相關, 對毛足來說, 20cm與10cm水深對毛足的潛水換氣行為較沒有明顯的影響。

### 五、繁殖過程(求偶行為、交配行為、生殖行為)

(一)方法: 飼養箱內放入水芋及布袋蓮, 長期觀察毛足雄與雌之間的行為。

(二)結果: 1.在交配前, 雄雌皆會有搖晃身體的行為, 順逆時鐘方向皆有(有錄影檔, 現場播放), 屬間歇性搖晃, 將有搖晃的時間及次數求其平均, 為1.60次/秒(n=13), 我們推測這種行為可能是成熟的成蟲傳遞交配的一種訊息(求偶行為)。2.整個交配過程(含多次交尾, 交尾即雄蟲交尾器插入雌蟲泄殖孔、雌蟲只吸附雌蟲不交尾、雌蟲分開)能持續一整天, 每次交尾時間不一, 最長紀錄有達到28分之久, 最短為1分35秒。3.完整的交配有紀錄到18次交尾。4.交尾後雌蟲大部分仍吸附住雌蟲背部, 少部分會放開, 有時放開後, 雌蟲仍能找到同一隻雌蟲交尾。5.交配完的第二天, 才發現水芋及布袋蓮有咬痕, 我們試著把咬洞劃開, 發現有些洞沒有產卵, 有些洞卻有3顆卵之多, 大部分都是一洞一顆卵。



(三)討論: 我們很好奇, 到底雌蟲的前足構造是什麼, 怎麼可以將游動中的雌蟲牢牢吸住進而交尾呢?甚至可吸附又放掉(可不用一直吸)。我們寄信給某國立大學的教授, 請求協助利用掃描式電子顯微鏡協助拍攝毛足大龍蟲的各足構造, 也前去大學與教授討論相關問題。原來大龍蟲屬的雄蟲前足所特化的三節有類似吸盤(附著器)功能, 附著器的構造有兩顆, 也有三顆, 共有四排, 還有很密的網毛, 藉由吸盤及毛的特性使得交配得以順利進行, 雌蟲前足附節的吸附器特殊構造, 也許未來可應用在游泳救生手套, 我們相信這是一種很棒的仿生科技發想。不過吸盤的吸力有多大, 與雌蟲爭脫速率的大小是否有關聯是未來努力的方向。

### 六、釋放分泌物: 分泌物對水中的生物有何影響?

※想法: 我們在做實驗的過中, 有發現毛足會分泌一些液體, 想了解這種分泌物是否對水中生物會有何影響?

1.方法: (1)飼養過程中, 記錄觀察毛足會分泌何種液體及何時會分泌(2)利用滴管、定量(2cc裝)收集器及夾鏈袋收集分泌物, 再利用電子pH儀量測其酸鹼度。(3)將一隻毛足的分泌物量各別加入五盒大肚魚實驗組(A、B、C、D、E)及五盒赤蛙科蝌蚪實驗組(a、b、c、d、e)中, 觀察有何影響, 若有影響會有何現象。(4)將分泌物加入水中生物(有黑殼蝦、囊螺、福壽螺、負子蟲), 觀察有何影響, 若有影響會有何現象。

2.結果: (1)我們發現毛足主要有三處有分泌物產生, 分別是口器、前胸背板與頭部接縫處及前胸背板兩側、腹部尾端。大多在擾亂牠或抓取時分泌, 在水中也曾分泌, 另外雄雌皆會分泌;雌蟲量比雄蟲量多。

表4-5 毛足各分泌物的狀態描述

分泌物位置	口器	前胸背板與頭部接縫處	腹部尾端
分泌物描述	有綠色的也有藍白色的。	分泌物先從藍色變成藍白色再變綠白最後像奶茶的顏色, 其雄分泌量約0.2~0.4cc左右, 雌蟲約0.1~0.2cc, 氣味難聞像牛奶臭酸的味道。收集後量測其pH值為7.8	顏色呈無色透明狀含一些黑色物質, 我們推測為水及排泄物。

(2)分泌的藍白色液體各別與水中生物(大肚魚、蝌蚪、黑殼蝦、囊螺、福壽螺、負子蟲)放在一起的結果是分泌物對大肚魚的影響, 其所產生的身體狀態改變為: 1.起初呼吸由正常變快(口及鰓蓋開合變快)→2.游泳變得不正常, 像無力狀態, 胸鰭擺動變慢, 又有時會突然游快, 最後身體些微呈現S型(像抽筋狀態)→最後翻轉游動直至翻白肚(鰓蓋開合最後停止)。(3)其餘黑殼蝦、囊螺、福壽螺、負子蟲皆無影響。

下表4-6分泌物對大肚魚的影響狀態描述

表4-6				
A盒大肚魚	B盒大肚魚	C盒大肚魚	D盒大肚魚	E盒大肚魚
45分30秒時身體已傾斜游泳, 呈現無力狀態, 在59分6秒時, 鰓蓋張合由快變慢變無, 呈翻肚現象。	51分28秒時胸鰭擺動變慢, 無力感, 在1時20分7秒時, 翻白肚, 鰓蓋開合最後停止, 呈奄奄一息狀態。	53分42秒時尾鰭彎曲像抽筋狀態, 身體漸漸側游, 在1時30分18秒呈現昏迷狀態, 沉至水底, 鰓蓋打開停止。	48分26秒時游動不自然, 身體歪斜游動, 1時7分30秒時, 尾部側彎, 口部張合變慢, 最後側躺於底部。	58分49秒時發現鰓蓋開合變快, 1時35分時, 各鰭擺動變慢, 身體似抽筋般, 最後呈現奄奄一息。

大肚魚平均開始受影響(出現不自然徵兆)時間:約51分35秒。

下表4-7分泌物對蝌蚪的影響狀態描述

表4-7				
a盒蝌蚪	b盒蝌蚪	c盒蝌蚪	d盒蝌蚪	e盒蝌蚪
18分23秒開始受影響, 即游泳姿勢不平衡, 51分23秒已沉於水底一動也不動。	19分13秒開始受影響, 嘴巴動很快, 游泳無力感, 52分55秒已沉於水底。	17分16秒開始受影響, 游泳軟弱無力, 48分52秒已沉於水底且呈現翻肚狀態。	19分20秒開始受影響, 時而側游時而翻身, 53分42秒時呈現奄奄一息。	18分27秒開始受影響, 想要游離該環境的樣子, 51分32秒已一動也不動了。

蝌蚪平均開始受影響(出現不自然徵兆)時間:約18分32秒



### 3.討論:

- 由實驗結果推論, 毛足的藍白色分泌物可能對部分動物有麻痺、昏迷甚至奄奄一息的現象, 因此我們認為毛足覓食的方式除了靠嗅覺搜尋外, 也可能會分泌該液體幫助牠進食, 我們另外有做一隻毛足與20隻蝌蚪共處一室共五組的實驗, 發現有些蝌蚪游速變慢, 甚至停滯, 我們推論可能毛足有分泌該物質, 部分蝌蚪受到影響進而吃食蝌蚪。
- 我們與教授討論分泌物的成分, 教授指導我們說可能是一種生物鹼, 雖然生物鹼大都存在於植物中, 但也有少數存在於動物的紀錄, 它是具有生理活性的鹼性有機化合物, 其分子主要由碳、氫及氮原子構成, 是許多含氮化合物的通稱, 作用於神經系統, 對呼吸、心臟有刺激作用。分泌物對水中動物的影響實驗, 除了大肚魚、蝌蚪以外其餘水中動物都安然無恙, 我們推論分泌物可能對神經系統比較完整的生物有較劇烈的影響, 對於神經元的離子通道有負面的影響, 因此實驗中的大肚魚有明顯的抽筋現象, 蝌蚪無力沉底呈現昏迷最後呼吸中止。

### 伍、結論

- 分類地位為動物界/節肢動物門/昆蟲綱/鞘翅目/龍蝨科/大龍蝨屬的毛足大龍蝨, 其成蟲雄蟲與雌蟲大小相當。雌蟲的明顯差異在雌蟲前足附節有5節, 有3節特化呈掌形吸盤, 吸盤共橫列4排, 約65顆吸盤。與點刻三線大龍蝨外型色澤相仿, 但明顯大一號; 從卵到成蟲約需91.19天。
  - 毛足成蟲為肉食兼腐食性, 主要是靠嗅覺來搜尋食物(屍體類), 幼蟲為肉食性(不具腐食性), 主要是靠視覺及觸覺來獵食, 相反的嗅覺不靈敏。
  - 若有毛足存在的水田, 其分解屍體的速率是分解者中(福壽螺、溪蝦、灰龍蝨、琵琶鼠魚)最快的, 是為食屍性分解者中非常有效率的清道夫。
  - 毛足在捕食所提供的各物種中以捕食福壽螺為第一優先, 其餘物種被捕食差異不大。
  - 毛足偏好棲息於水裡的下層, 推論躲在底層可以避敵, 以免被天敵(水鳥)攻擊。
  - 毛足沒有特別喜好棲息於哪一種水生植物(水芋、布袋蓮、菱角植株、大萍)。
  - 毛足無偏好在何種色系的環境, 主要還是停棲於底部居多。
  - 雌蟲搜尋獵物的效率比雄蟲高。
  - 毛足為三棲性, 爬速平均為3.17 (cm/s), 游速平均為9.42 (cm/s), 飛速平均為79.78 (cm/s)。
  - 雄蟲、雌蟲的潛水換氣時間並無顯著差異, 但水深較深的環境其潛水換氣時間較短。
  - 在交配前, 雄雌皆會有搖晃身體的行為, 順逆時鐘方向皆有, 屬間歇性搖晃, 平均為1.60次/秒, 推測這種行為可能是成熟的成蟲傳遞交配的一種訊息(求偶行為)。
  - 雌蟲交配後所咬的洞有些沒有產卵, 有些洞卻有3顆卵之多, 大部分都是一洞一顆卵。
  - 雄蟲前足附節所特化的三節有類似吸盤(附著器)功能, 附著器的構造有兩顆, 也有三顆, 共有四排, 還有很密的網毛, 藉由吸盤及毛的特性使得交配得以順利進行。
  - 毛足於前胸背板與頭部接縫處及前胸背板兩側所分泌的藍白色液體會使得大肚魚、蝌蚪身體扭曲到昏迷, 推論此分泌物可能對於脊椎動物的神經系統(對於神經元的離子通道)有不良的影響, 導致獵物麻痺而游速變慢甚至奄奄一息, 進而吃食之。
- 毛足大龍蝨為平地水塘中常見的水生甲蟲, 有很多特殊性, 例如, 所分泌的藍白色液體會使水中脊椎動物產生游速變慢、身體扭曲最終到昏迷的現象。雌蟲前足附節的吸附器特殊構造, 也許未來可應用在游泳救生手套, 我們相信這是一種很棒的仿生科技發想, 但相關的研究非常少, 因此大部分的人對其了解有限, 藉由本次的研究能讓大家對牠們有更多的認識, 建議可當作鄉土教材。

### 陸、參考文獻

詳見說明書 P30

### 柒、未來研究的方向

- 毛足龍蝨前足吸盤的吸力有多大, 與雌蟲爭脫速率的大小是否有關聯是未來努力的方向。
- 學校儀器設備有限, 無法分析出分泌物的成分, 未來若能測定出該物質成分, 可能會發現出對人類有所貢獻的化學物質。