

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生物科

最佳團隊合作獎

080322

仰天藏毛怪

—探討普小仰椿象的毛特性、習性及動物行為

學校名稱：臺南市柳營區柳營國民小學

作者：	指導老師：
小六 張宜婕	鄭東益
小六 黃柏瑜	張喬茵
小六 林時頤	
小六 蔡昇原	
小六 何昇達	

關鍵詞：普小仰椿象、腹部邊毛、動物行為

摘要

普小仰椿象(*Anisops ogasawarensis*)屬於漸進變態的水棲昆蟲，生活史包括卵、若蟲與成蟲，生命史約 6 個月。身上表面著生很多細毛，其中腹面側邊的毛間距(約為 $3.585 \mu\text{m}$)及腹部腹面的細毛間距(約為 $6.895 \mu\text{m}$)其可以讓水因其表面張力而防止水進入，但是卻可以保留空氣流通，與蓮葉效應有相同的作用(有超疏水性)。仰椿游至水面時，腹部側邊的毛會打開，有像救生圈般能浮在水面上的功能，沉入水中時，毛則閉合。屬於肉食性，偏好在水中上層活動，空間上的適存值約 8.166 隻/公升;仰椿滑動一次後足前進的距離約為體長的 4.65 倍;捕食策略為主動攻擊，以視覺為主，振動為輔進行偵測，偵測(發現)到獵物距離約 $55.29 \pm 5.6\text{mm}$; 攻擊獵物的時間約 0.29 秒，另外有鳴叫、飛行、跳躍、假死等有趣的行為。

壹、 研究動機

我們在菱角田裡發現了一種滑動速度極快、有時閃閃亮亮且活蹦亂跳的小昆蟲，我們覺得很好奇，採集了一些放在收集盒帶回研究室觀察，查了圖鑑，才知道牠們叫做仰泳椿，仔細一看，我們發現牠的游泳行為十分特殊，腹面朝上、背面朝下、動作敏捷、捕捉獵物也很快，而且還會捕食孑孓。針對這些問題我們產生了一股濃厚的好奇心，想進一步了解牠，因此對仰泳椿展開一連串的研究！

貳、 研究目的及架構

研究目的

- 一、 普小仰椿象的採集與文獻探討。
- 二、 記錄及觀察普小仰椿象的形態、特徵。
- 三、 探討普小仰椿象的生態棲位(Ecological Niche)。
- 四、 探討普小仰椿象的動物行為(Animal Behavior)。

研究進度

研究步驟	104 年				105 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

仰泳椿的採集	昆蟲捕捉網(水網)、昆蟲箱(27×11.5×12 cm)。
仰泳椿的形態、特徵觀察	培養皿、圖畫紙、實體顯微鏡、掃描式電子顯微鏡、鑷子 5 隻、昆蟲針、電子式游標卡尺、數位相機、微型電子秤。
仰泳椿的生態棲位探討實驗	鑷子、1 公升正方形容器(10cm×10cm×10cm)、可控溫加溫棒、溫度、冰塊、橡膠手套、碼錶、pH 儀、沙奇盤、半徑 7cm 的塑膠碗、長方形透明壓克力盒(27×11.5×12 cm)、塑膠手套、孑孓(來源自中興大學提供的卵條)、冷凍赤紅蟲、活體赤紅蟲、絲蚯蚓。
仰泳椿的動物行為相關實驗	藍色透明網袋、節拍器、夾鏈袋、魚屍體、玻璃魚缸(60cm×25cm×35cm)硬塑膠昆蟲箱(28cm×18.6cm×16.9cm)10 個、高桶箱(70cm×45cm×40cm)、長方形低桶箱(57cm×45cm×15cm)、不同顏色的底石、數位相機。

肆、 研究過程、方法、結果及討論

【研究一】仰泳椿的採集與文獻探討。

一、文獻探討與物種鑑定：

- (一)方法：搜尋文獻及昆蟲類相關書籍進行閱讀與整理並請某大學教授協助鑑定。
 (二)結果：發現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：

表 1-1 普小仰椿象的分類地位

分類地位如下： Kingdom Animalia 動物界 Phylum Arthropoda 節肢動物門 Class Insecta 昆蟲綱 Order Hemiptera 半翅目 Family Notonectidae 仰椿科 Genus Anisops 小仰椿屬 <i>Anisops ogasawarensis</i> (Matsumura, 1915) 普小仰椿象	 <p>仰泳椿的英語俗名為 (backswimmer) 圖 1</p>
---	--

台灣仰椿科現有的紀錄有 3 屬 8 種，其中小仰椿屬的有 6 種，仰椿屬於漸進變態，從卵到成蟲需蛻皮 5 次，約 2~6 個月，依溫度而異。根據我們比對圖鑑與請教大學教授後，確定鑑定為普小仰椿象 (*Anisops ogasawarensis*)。在臺灣的低海拔山區、平地暫時性及永久性水田皆有其蹤跡，在水中時是以背部朝下腹部朝上的方式游泳，因此稱為「仰泳椿」，另外多棲息於水草多的水域，也被稱為「松藻蟲」，有翅，翅透明，若枯水期會集體飛行遷移到別處。

文獻中雖有仰泳椿的記錄，但關於普小仰椿象的研究付之闕如，只有圖鑑上粗淺的簡介，在觀察中發現許多有趣的生態行為，於是我們討論後，擬定計畫並著手設計實驗，本文將『普小仰椿象』簡稱「仰椿」。

二、野外採集：

(一)方法：在家鄉的菱角田發現到仰泳椿，而且圖鑑上也說牠分佈在水田，因此我們在家鄉周遭的水田環境(菱角田、蓮花田、岸邊為泥土的魚塭、臨時水窪)進行採集。採集的方式分成以下三種方式：

- 1.目視與網捕法(netting)：在岸邊發現仰泳椿時，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、蝦屍體)並在兩邊綁上保麗龍球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，於五~七天收籠。
- 3.水中捕撈法：沿著岸邊隨機撈取。

(二)結果: 1.主要以目視與網捕法與水中捕撈法為主，蝦籠式誘餌陷阱法皆無採集到。採集樣區及採集到的仰泳椿如下圖 2。

		
目視與網捕法	蝦籠式誘餌陷阱法	水中捕撈法

圖 2

2. 採集樣區及仰泳椿照片，如下圖 3

		
蓮花田樣區 1	草澤埤塘樣區 2	菱角田樣區 3
		
魚塭埤塘樣區 4	樣區內的仰泳椿	水中捕撈後將網中生物倒在岸邊找尋
		
臨時性水窪也發現仰泳椿	目視與網捕法可撈到仰泳椿	捕撈法撈到仰泳椿



圖 3

捕捉到的水生動物總數如下表 1-2：

時間：104.8 ~105.4

表 1-2 野外採集水生昆蟲的種類及數量

物種	普小仰椿象	姬牙蟲	划椿	蜻蜓水蠶	灰龍蟲	負子蟲	豆娘水蠶	姬龍蟲	豆龍蟲
總計	1918	168	12	23	1	14	4	3	71

(三)討論:

- 1.我們發現一般的水田，甚至臨時性的水田(大雨後的荒田)皆可發現其蹤跡，可見其相當常見。
- 2.水中捕撈法及目視與網捕法，以在埤塘樣區及魚塭採用水中捕撈法採集到的數量較多，但蝦籠式誘餌陷阱法(內放魚屍體及蝦肉)皆無採集到，由此可推測其嗅覺較不靈敏。

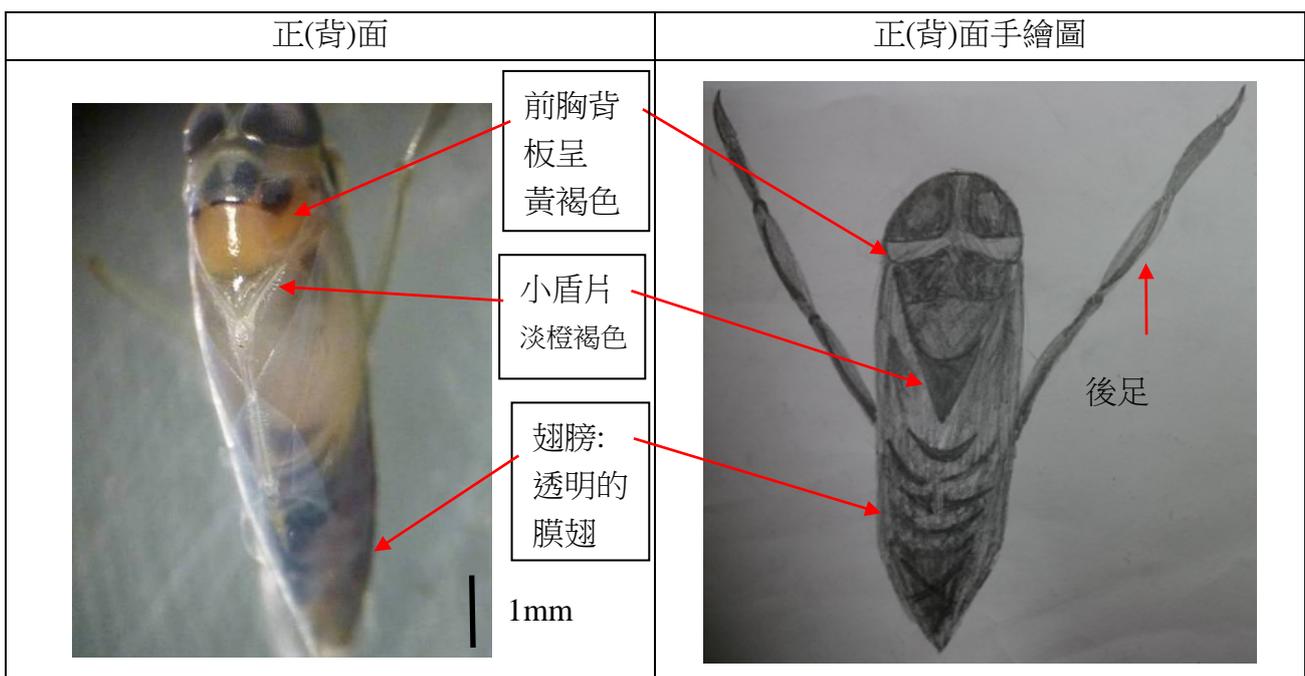
【研究二】觀察普小仰椿象的形態、特徵

一、成蟲形態與特徵：

(一)方法：在學校、家中以水族箱、水箱等容器長時間飼養、觀察、測量並拍照、錄影。

- 1、量測成蟲的體長、最大體寬(頭寬等於胸寬)
- 2、觀察成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、口器、前足、中足、後足、感覺毛、尖突及氣孔等主要分類特徵。

(二)結果：透過形態觀察將身體各部位形態構造整理如下：



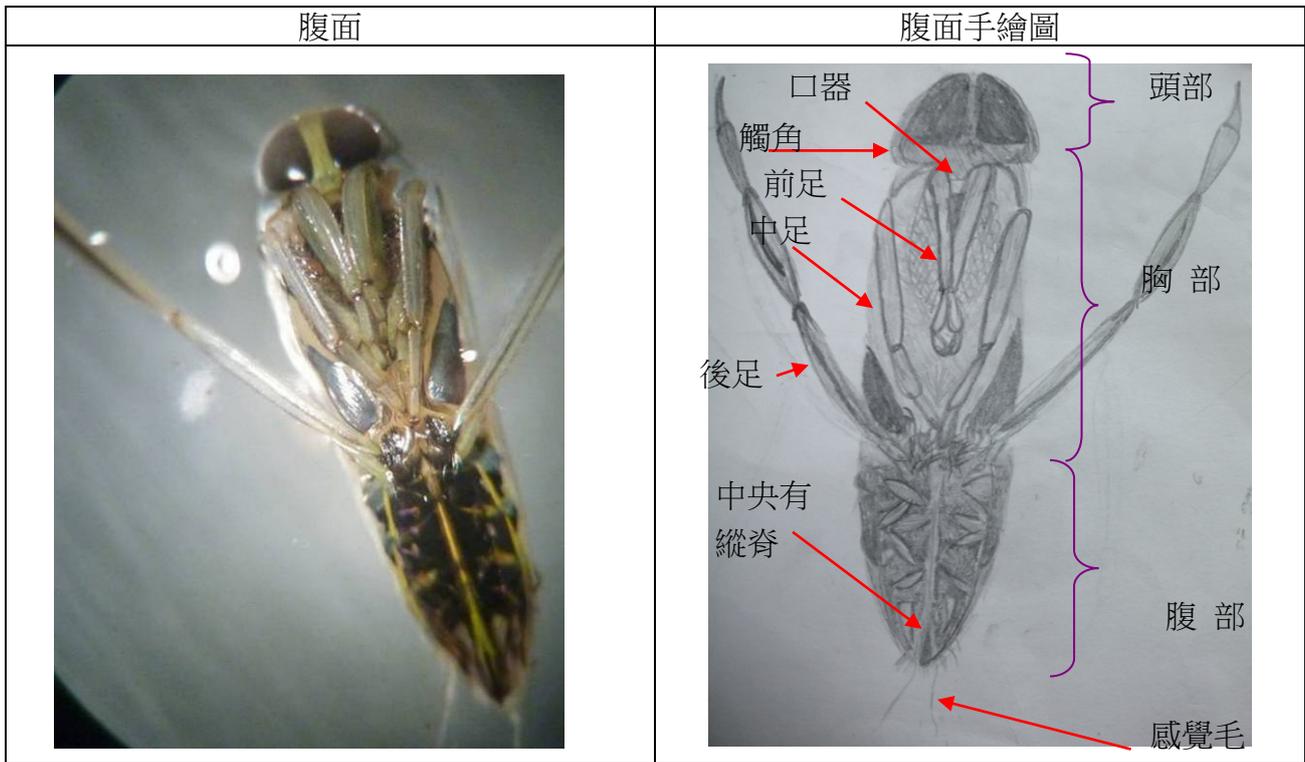


圖 4

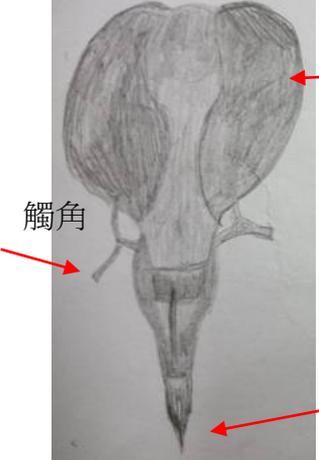
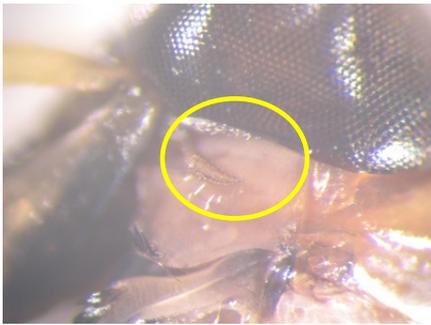
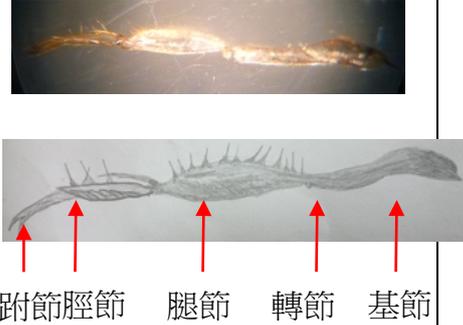
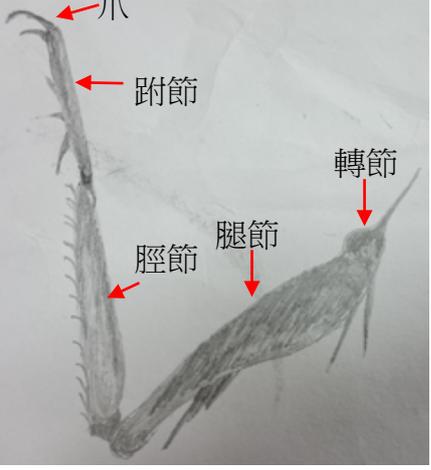
部位	形態與功能描述	照片	繪圖
頭部	頭部的兩顆圓球形複眼約占了整顆頭的三分之二，一對觸角著生於複眼下方呈鬚狀。口器為刺吸式，外觀為三節。		
複眼	兩顆大複眼由無數顆小眼所組成，呈現淡紅棕色。		 <p data-bbox="1023 1899 1469 1984">頭部背面觀，幾乎整個頭被複眼所覆蓋。</p>

表 2-1 成蟲身體各部位形態構造及功能描述

觸角	著生於左右腹眼內側下緣，呈短鬚狀，共3節，具短毛。顏色為黃褐到褐色分布。		 <p>觸角</p>
口器	從複眼下方長出，外觀明顯分成三節，為刺吸式口器，末端為針刺狀，平時隱藏於第三節內。		 <p>三節刺吸式口器</p>
前足(捕捉足)	各節為黃褐色，著生有細毛，長約3.50mm。跗節有1節的是雄蟲;2節的是雌蟲，前跗節為爪狀，可幫助抓取食物。平時蜷縮於腹面。		 <p>爪</p> <p>跗節 脛節 腿節 轉節 基節</p>
中足(捕捉足)	中足細長，長約3.70mm，跗節有2節，末端具有兩爪，也可幫助抓取食物。脛節與跗節著生細毛，其腿節顏色為黑褐其餘淡褐色，平時也蜷縮於腹面，有捕捉及協助抱抓獵物的功能。		 <p>爪</p> <p>跗節</p> <p>脛節</p> <p>腿節</p> <p>轉節</p>

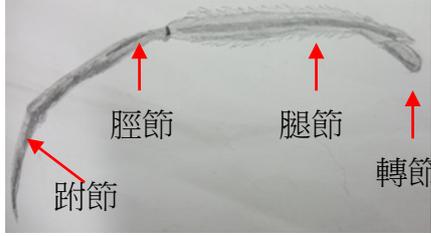
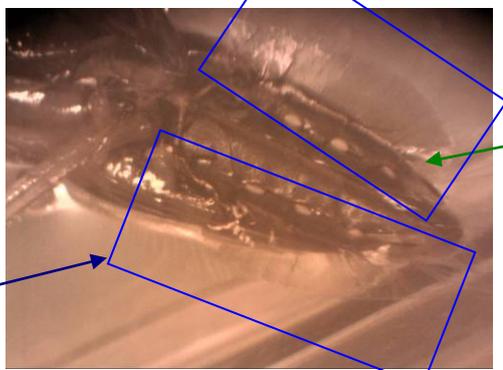
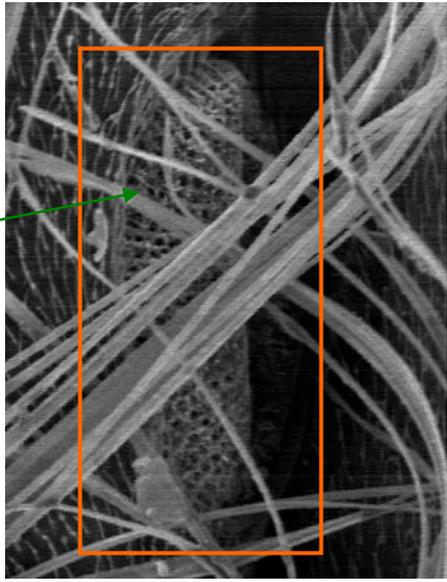
<p>後足(游泳足)</p>	<p>後足細長，長約5.25mm，著生「緣毛」，脛節、跗節扁平如槳狀，主要功能為游泳，跗節無鈎爪。</p>	 <p>翅為透明色</p> 	 <p>脛節 腿節 轉節 跗節</p> <p>緣毛能幫助游泳，腿節最長</p>
<p>腹部</p>	<p>(1) 腹部：腹面可見腹節有6節。腹面最後一節具刺突。 (2) 腹部左右面著生兩片細毛，末節左右側著生7~9根感覺長毛。</p>	 <p>腹部第三到五節兩側各有一小白斑點(氣孔)</p> <p>腹部外觀有六節</p>	 <p>此半圓為氣泡</p> <p>腹部末節左右兩側著生感覺毛約7~9根(平均長2.56mm);仰椿會利用後足清理感覺毛以偵測獵物所在</p>
<p>尖突</p>	<p>位於腹面腹部有一突起物，可幫助換氣時頂破水的表面讓空氣流進翅與背面間儲存起來。</p>		
<p>氣孔</p>	<p>位於腹部第三到第五節腹面左右各一個白色呈長卵圓形。在水面下時，腹部側邊的防水毛會覆蓋住氣孔，仰椿在水面上時，防水毛會打開。最右圖為SEM下氣孔的照片，氣孔為蜂巢式網狀小孔所組成。</p>	 <p>本照片是仰椿位在水面上，利用解剖顯微鏡所拍攝的，方框為腹面兩側的防水毛，此時為打開狀態。仰椿沉入水中後，防水毛會蓋住氣孔。</p>	 <p>SEM 下的氣孔放大照</p>

表 2-2 成蟲體長、體寬: (n=5) ※雄蟲約略與雌蟲相仿

單位(mm)	雄蟲(♂)	雌蟲(♀)
體長平均	7.40	7.23
體寬平均	1.95	1.97

註：1、體長為頭部尖端至腹部尾端。

2、體寬為身體最寬處(頭寬等於胸寬)。

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。

小結: 身體整體呈現細長狀，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。

(三)討論:

我們發現仰椿換氣時，會游至水面，尾端朝上與水面接觸，有時與水面接觸不到 1 秒就游下去，最長的紀錄有停留約 5 秒之久，利用立體顯微鏡拍攝其腹面時，才發現腹部腹面有一突起物(尖突)，我們推論是利用尖突頂破水的表面，做氣體交換，因此我們對仰椿如何將換完的氣體做儲存產生了好奇心，經過長期的觀察，我們發現其翅與身體側邊有亮亮的一層，可能是儲存空氣的地方，因為空氣反射光線所以才亮亮的，但是何種方式能讓空氣保留住呢，於是與老師討論後，猜想仰椿是否有特殊的構造能排(疏)水，使空氣能附著在其翅邊緣夾層處及腹部呢？

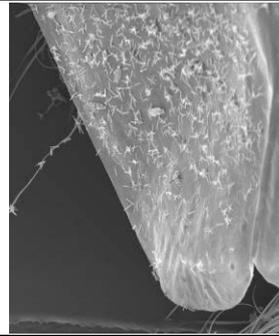
我們聯想到要能疏水就想到「蓮葉效應」，所以至少也要像蓮葉的表面要有大小約 5~15 微米(μm)細微突起的表皮細胞(epidermal cell)才能疏水，而且當水與這類表面接觸時，會因表面張力而形成水珠，使其具有超疏水性(superhydrophobicity)，所以落在葉面上的雨水才會因表面張力的作用形成水珠。

與老師討論後向某國立大學的教授提出我們的想法，他非常願意協助我們利用掃描式電子顯微鏡(SEM)照出仰椿的各部位構造，照片(如下圖 5)，照片呈現仰椿身上密佈細毛，基本上分成四大類：**(1).各足的緣毛，以後足最為密集；(2).身體側邊的毛；(3).腹部腹面的細毛；(4).腹部尾端的感覺毛。**利用 ImageJ 軟體於各部位(SEM)照片上隨機取十樣本(詳見實驗日誌)量測出各長度如下：後足的緣毛約長 $720.953\ \mu\text{m}$ ；腹面側邊的毛長約為 $264.063\ \mu\text{m}$ ；腹部腹面的細毛約為 $15.253\ \mu\text{m}$ ；腹部尾端的感覺毛約為 1.542mm ；而腹面側邊的毛間距約為 $3.585\ \mu\text{m}$ ；腹部腹面的細毛間距約為 $6.895\ \mu\text{m}$ 。

與教授討論後總結出：**腹面側邊的毛間距及腹部腹面的細毛間距以及氣孔的孔直徑(約 $3.928\ \mu\text{m}$)應該是可以讓水因其表面張力而防止水進入，但是卻可以保留空氣流通。**另外查了相關資料得知水分子團簇直徑為 $100\sim 3000\ \mu\text{m}$ ，水蒸氣分子直徑為 $0.0004\ \mu\text{m}$ 。由於仰椿的腹面側邊毛構造及腹部腹面的細毛間距(毛的間距夠小)使水分子進不來，在水面下時，仰椿腹部側邊的毛也會蓋住氣孔，當仰椿浮於水面上時，腹部側邊的毛卻會打開，觀察時，肉眼即可看見腹部側邊的毛打開(如下圖 5 用立體顯微鏡所拍攝的照片)，而且這左右兩片的毛還可以幫助仰椿浮在水面上，從立體顯微鏡即可觀察到此兩片毛有排(疏)水的作用。**因此仰椿的腹部側邊的毛及腹部的細毛與蓮葉效應有相同的作用(有超疏水性)。**另外，我們也推論當仰椿在水中時，由於兩邊腹部側邊的毛蓋住氣孔加上腹部毛的關係，可以疏水也使得腹部腹面存有像氣囊般的狀態而具有浮力，加上後足不定時的擺動平衡，因此仰椿才能在水中的定點停留。揭開仰椿腹面排(疏)水的機制後，不禁令我們讚嘆造物者的神奇，也許未來可應用在泳衣身上，當穿上附有這種有這兩片疏水性的泳衣時，當游到精疲力盡想休息或遇到海難時就可施放開來，等同於穿戴游泳圈一般浮在水面上，這是一種很棒的仿生科技發想。



背面翅內及腹部邊緣都因夾藏氣體反光而亮亮的



凸起物間距
約 $1.486 \mu\text{m}$

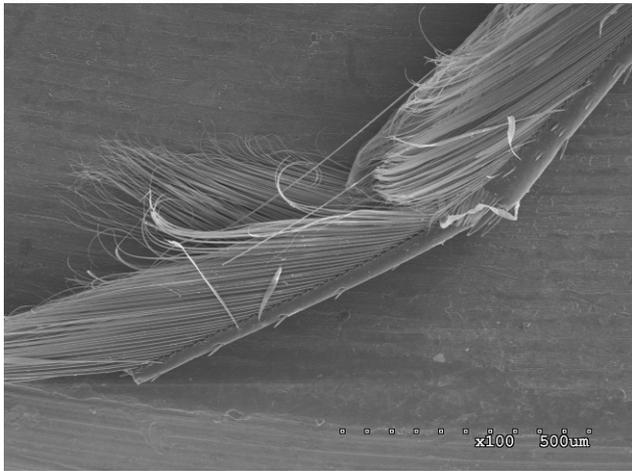
內翅上有很多細微的凸起物，使其具有超疏水性



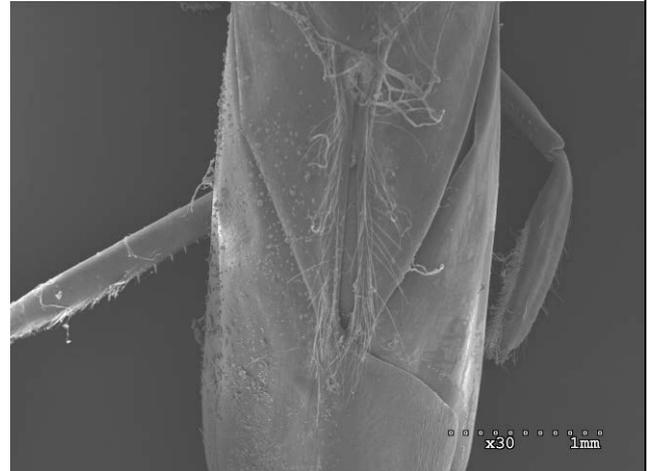
前中足也有很多細毛



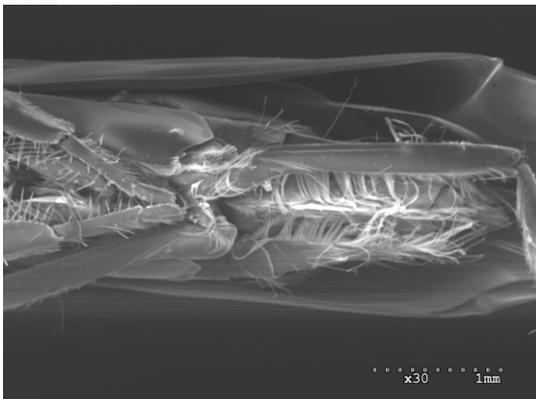
身體側邊著生很多細毛



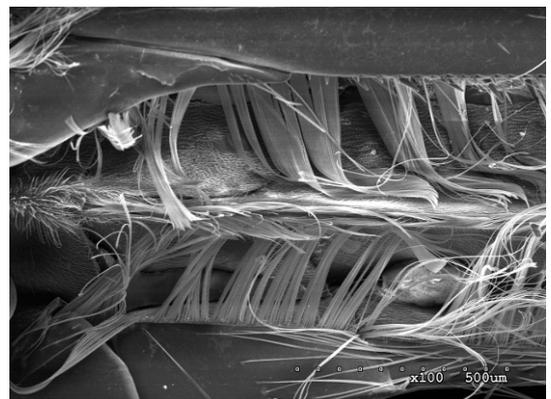
後足的緣毛很厚呈刷狀，能幫助其游泳推進



翅是左翅在上右翅在下;翅上也有細毛



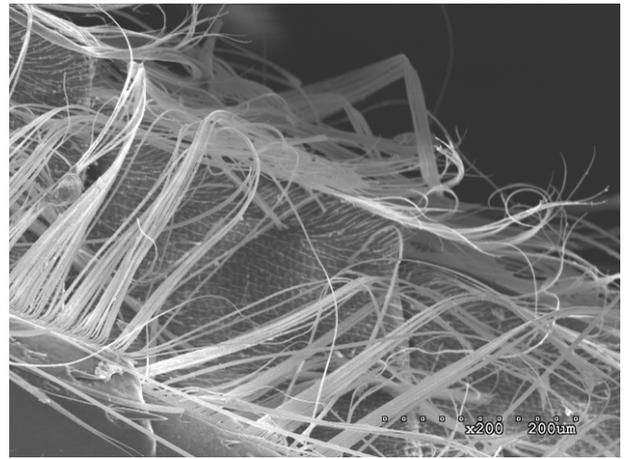
腹部的毛更多



腹部放大(著生很多細毛)



複眼下緣可清楚看到兩根觸角(著生細毛)



腹部側邊的防水毛可蓋住氣孔



本張為立體顯
微鏡所拍攝

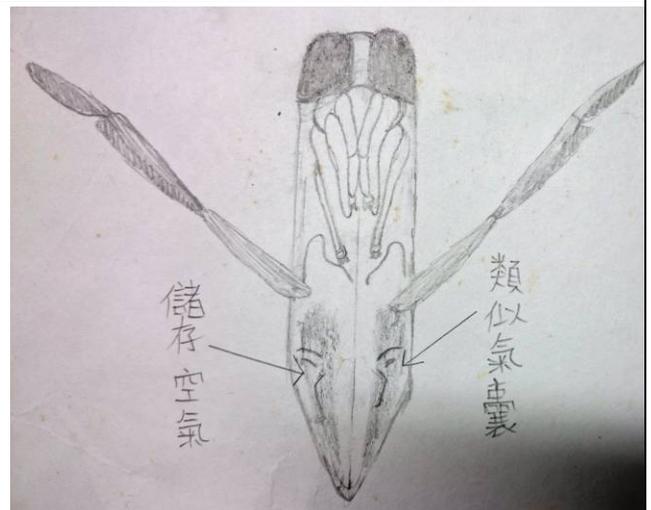


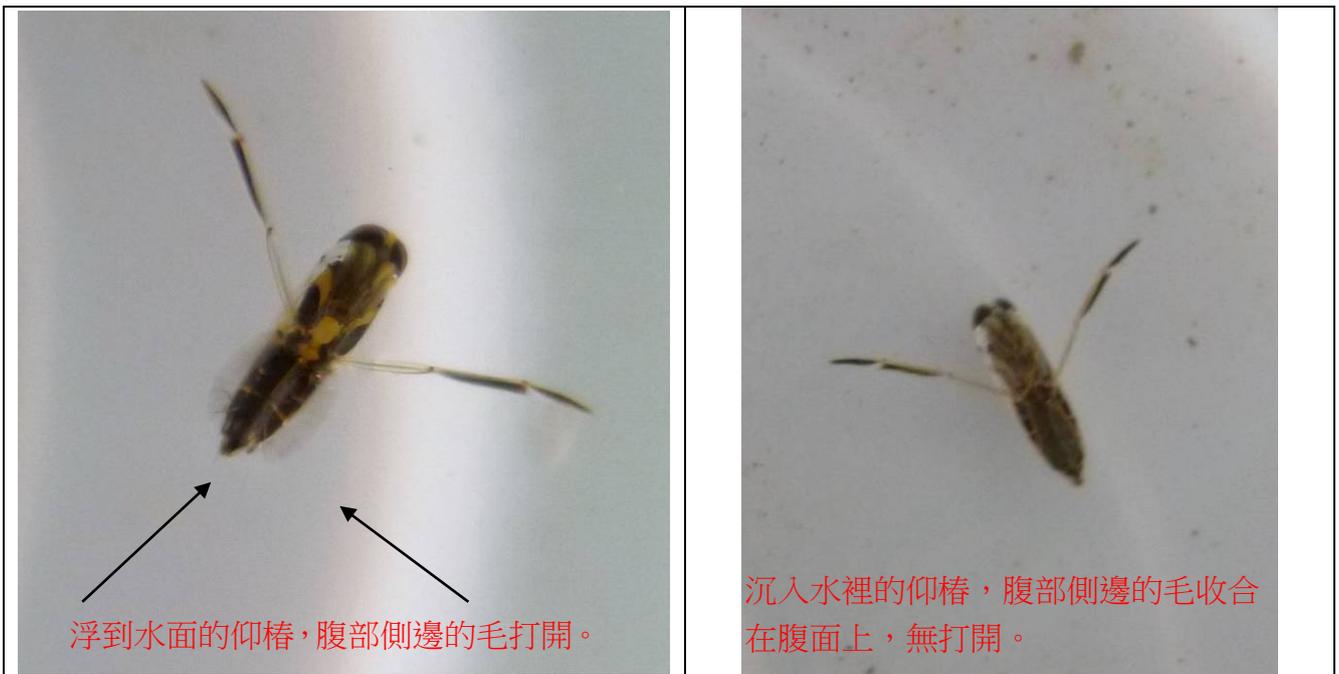
用 ImageJ 軟體量測腹部細毛間距與氣孔孔洞直徑。

仰椿游至水面時，腹部側邊的毛會打開，除了讓氣孔直接與外界流通之外，也有像救生圈般能浮在水面上的功能(因為有疏水性)。



腹部腹面存有像氣囊般的狀態





【研究三】探討普小仰椿象的生態棲位(Ecological Niche)。

圖 5

一、普小仰椿象喜歡吃什麼食物?

(一)方法：餵食不同類別的食材: ※觀察是否會進食?

1. 活體類:大肚魚(仔魚)、水蠶(蜻蜓)、豆龍蝨、黑殼蝦、孑孓(家蚊)、赤紅蟲、蝌蚪、絲蚯蚓。
2. 屍體類:赤紅蟲、魚屍體、蟑螂、水蠶、螽蟴、蜘蛛、蒼蠅。
3. 植物類:水蘊草、金魚藻、水芙蓉、槐葉蘋、布袋蓮。

			
餵食大肚魚魚屍體	餵食絲蚯蚓(近照)	餵食孑孓(家蚊)	餵食赤紅蟲(活體)
			
餵食蝌蚪	餵食絲蚯蚓(會聚集在一起)	餵食豆龍蝨	餵食赤紅蟲(屍體)
			
餵食蟑螂屍體	餵食螽蟴屍體	餵食蜘蛛屍體	餵食蒼蠅屍體

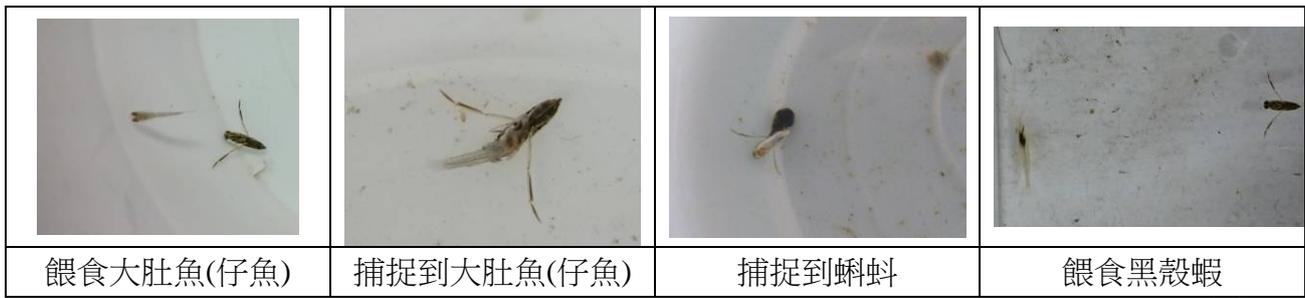


圖 6

表 3-1 對於不同食材的吃食結果

會吃食的類別	不會吃食的類別
活體動物(孑孓、赤紅蟲、蝌蚪(比仰椿體型小的)、絲蚯蚓、大肚魚(仔魚))。 動物屍體類(赤紅蟲)。	活體動物(水蠶(豆娘)、豆龍蟲、比仰椿大的大肚魚)。動物屍體類(魚屍體、蟑螂、水蠶、螽蟴、蜘蛛、蒼蠅)、植物類。

(二)結果：仰椿對於不同食材的吃食結果，如表 3-1 進食的結果

- (三)討論：1. 仰椿會吃食活體動物類及赤紅蟲屍體但不吃食植物類，屬於肉食性的水生昆蟲。
 2. 不吃食大部分的屍體類，我們推論可能這些屍體都靜止不動，不能夠吸引仰椿的注意，但為什麼會吃食赤紅蟲屍體，我們推測赤紅蟲屍體相對較小較輕，仰椿游動時能擾動赤紅蟲，使仰椿注意到牠，因此仰椿能吃食赤紅蟲屍體(這是我們觀察到的)，包含沉在水底的赤紅蟲，仰椿也會吃食。
 3. 至於不吃食水蠶(蜻蜓)、豆龍蟲，我們推論因為水蠶體形比仰椿大，所以仰椿不敢攻擊，另外豆龍蟲游速比仰椿快，且外表堅硬(鞘翅目)，因此仰椿不吃食。
 4. 會吃食大肚魚(仔魚)及蝌蚪，捕食時在距離獵物 3~4cm 時已偵測到其位置，約靠近 2cm 時會瞬間衝過去攫取獵物，進而吸食之。

二、普小仰椿象喜歡棲息在水體中的上、中、下哪一層呢?

※想法：我們知道仰椿是水棲昆蟲之一，但其棲位是屬於哪一階層呢?

(一)方法：於水位高度 30cm 的魚缸內放 10 隻仰椿(高度等分成 3 等分;上、中、下各 10cm)，底層鋪設底石，一天紀錄三次，分上午 8:00、中午 13:00、下午 16:00，共記錄八天，二十四次，統計分析其結果。

(二)結果：如下表 3-2 棲息偏好(詳細紀錄於科展日誌)(平均值四捨五入取至小數第一位)

高度	上層	中層	下層
平均	7.6	1.4	1.0

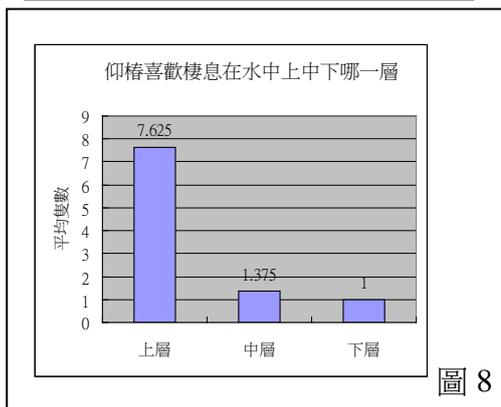


圖 8



圖 7 仰椿棲息位置實驗，圖為水位 30cm 的魚缸

(三)討論：結果顯示仰椿偏好在上層活動，我們推論可能與其覓食有關聯，平時飼養觀察時，發現仰椿主要取食孑孓或赤紅蟲，而這些獵物主要生活在水的上層，因此牠偏好在水位的上層活動，捕食較容易;另外換氣也比較不費力。

三、普小仰椿象喜歡棲息在何種水生植物呢?

※想法:仰椿會藉由水生植物來保護自己免受天敵攻擊嗎?想了解牠有偏好在哪一種嗎?

(一)方法：1.隨機取十隻仰椿放入一個長方形大水桶(52×36.5×29.5cm)，水位高 5cm。2. 利用珍珠板固定，使水桶分成四等分，使水生植物不會亂漂，但底下仰椿可自由游動。3.四格分別放入布袋蓮、金魚藻、大萍及水蘊草。4. 一天紀錄三次，分上午 8:00、中午 13:00、下午 16:00，共記錄五天，十五次，統計分析其結果。5.計數時將隔板壓下以免仰椿亂游。6.在非紀錄時段投入食餌，四格平均餵食仰椿。

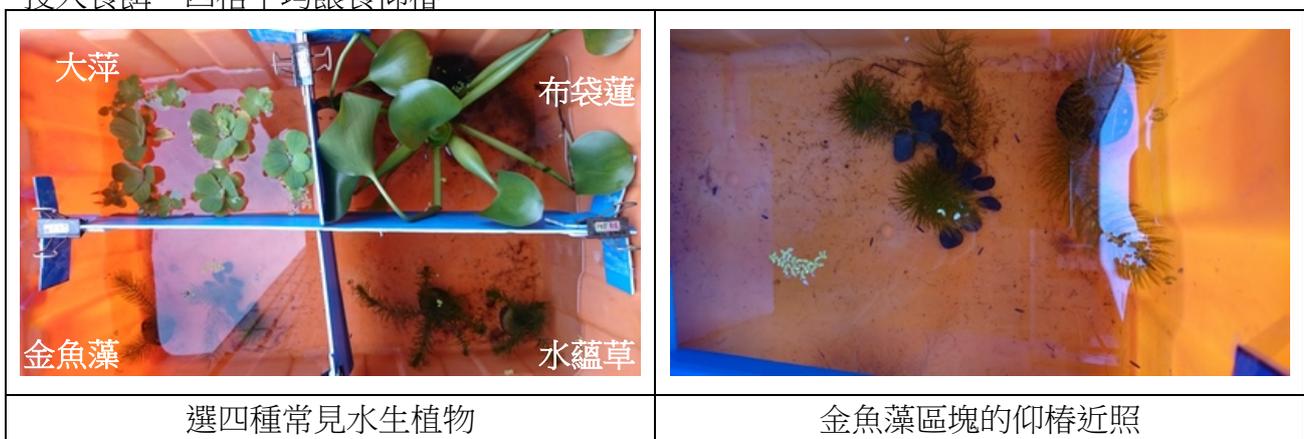


圖 9

(二)結果: 共記錄五天，十五次

表 3-3 水生植物的棲息選擇平均數

種類	布袋蓮	金魚藻	大萍	水蘊草
平均值(隻次)	1.0	4.4	2.3	2.3

(每次記錄詳見實驗日誌)(上表平均為利用四捨五入法取到小數第一位)

(三)討論：結果顯示，仰椿偏好有金魚藻的環境，在布袋蓮的區域最少，我們推論金魚藻的葉子呈針狀，跟其仰椿的形體較為相像，因此金魚藻對仰椿來說可能有保護作用，因此偏好金魚藻的環境。而布袋蓮是四種水生植物中根系最為濃密的，其所占空間相對大，因此壓縮到仰椿的游泳空間，因此棲息數量最少。

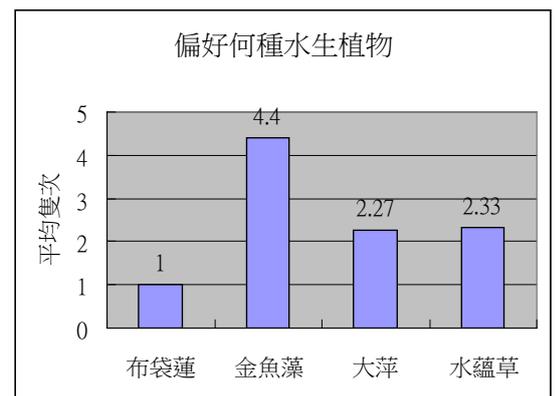


圖 10

四、普小仰椿象在空間上的適存值(fitness)是多少?

※想法:在一定空間內是否有最適合的生存空間，超過多大的密度會跳(飛)離水面?

(一)方法：1.隨機取二十隻仰椿放入一公升容器(10 cm×10 cm×10cm)，水位高 9.5cm。2. 再將一公升容器放入利用硬塑膠昆蟲箱(28cm×18.6cm×16.9cm)，加蓋，硬塑膠昆蟲箱裡面水位高 3cm，使仰椿從一公升容器跳(飛)離水面落到外箱能存活，共三組(A、B、C)同步實驗。3.每天餵食適量赤紅蟲。4. 每天紀錄在內箱剩下的隻數，共記錄七天，統計分析其結果。5.重覆實驗 2 次。



圖 11 三組 20 隻仰椿放內盒 內盒近照 隨著時間經過有些已跳離外盒

(二)結果:兩次實驗(如表 3-4、表 3-5)

每天紀錄內盒剩下隻次(只紀錄活體) 表 3-4

表 3-5

天數	A1 隻次	B1 隻次	C1 隻次
第一天	11	15	14
第二天	10	12	12
第三天	10	10	10
第四天	9	8	8
第五天	8	8	9
第六天	8	7	9
第七天	8	7	9

天數	A2 隻次	B2 隻次	C2 隻次
第一天	13	12	14
第二天	10	11	13
第三天	9	10	10
第四天	9	9	8
第五天	9	8	8
第六天	9	8	8
第七天	9	8	8

※ 第六天後的隻數已趨於穩定，不再跳離或死亡，將第七天的隻次總和後平均四捨五入至小數第一位為 8.2 隻次。

(三)討論：結果顯示，在開始實驗到第二天時，是仰椿離開內盒最多的時間，我們推論這空間密度對於仰椿來說是擁擠，空間適存值低的，直到空間密度到 8.166 隻/公升時，仰椿才不致於離開，因此我們推論在野外如果臨時性水窪密度高於 8.166 隻/公升，仰椿感受到空間壓力，會有離開該水體的趨性。

五、普小仰椿象喜歡在光環境或暗環境?

※想法:仰椿會有亮度的偏好嗎?

(一)方法：1.隨機取十隻仰椿放入硬塑膠昆蟲箱(28cm×18.6cm×16.9cm)，水位高 5cm，將底面鋪設黑色及白色的石頭各一半。2.每天各區餵食適量赤紅蟲。3.一天紀錄三次，分上午 8:00、中午 13:00、下午 16:00，共記錄十五天，四十五次，統計分析其結果。



黑色及白色的石頭各一半

黑色區域近拍

(二)結果:詳細紀錄於科展日誌。表 3-6

圖 12

兩區域的隻次	黑色	白色
四十五次的平均	5.8	4.2

※平均隻次為四捨五入取至小數第一位

(三)討論:結果顯示,黑色與白色區域的棲息數量差距不大,可見仰椿無偏好暗色系環境,此與野外採集時的狀況相仿,在野採時,不論在暗或亮環境,都可採集到泳椿,而且數量差距不大;另外仰椿並非黑色,無所謂的保護色問題。

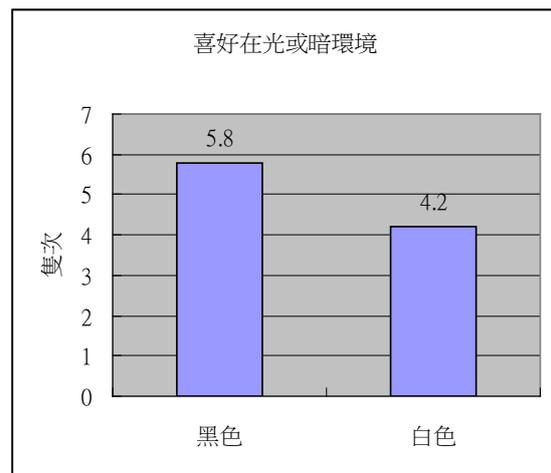
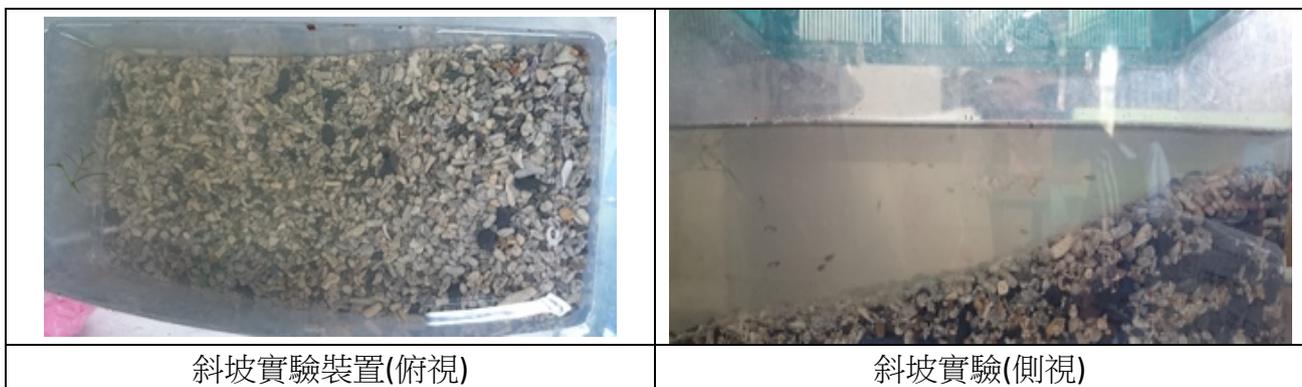


圖 13

六、普小仰椿象喜歡棲息於斜坡的哪一層?

※想法:仰椿會偏好棲息於淺層、離水面近的区域嗎?

(一)方法: 1.隨機取十隻仰椿放入硬塑膠昆蟲箱(28cm×18.6cm×16.9cm),水位高 15cm,將底面鋪設斜坡石頭,從水位高 15cm 到箱底。 2.將斜坡分成三等分(淺層、中層、深層)每天各區餵食適量赤紅蟲。 3.一天紀錄三次,分上午 8:00、中午 13:00、下午 16:00,共記錄五天,十五次,統計分析其結果。



斜坡實驗裝置(俯視)

斜坡實驗(側視)

圖 14

(二)結果:詳細紀錄於科展日誌。

表 3-7

三區域的隻次	斜坡淺層	斜坡中層	斜坡深層
十五次的平均	1.3	3.3	5.4

(平均為四捨五入至小數第一位)

(三)討論:結果顯示,仰椿較常聚集於斜坡深層處(約水深 9~13cm),我們推論該區域可能空間較大,仰椿游泳才不會受限,與我們原先猜想的淺層不同,我們原本的想法是牠能停留在上層的底石休息,離水面也比較近,換氣比較方便,結果並不是。我們推論,在斜坡上層游泳空間相對小,所以斜坡淺層數量相對少。

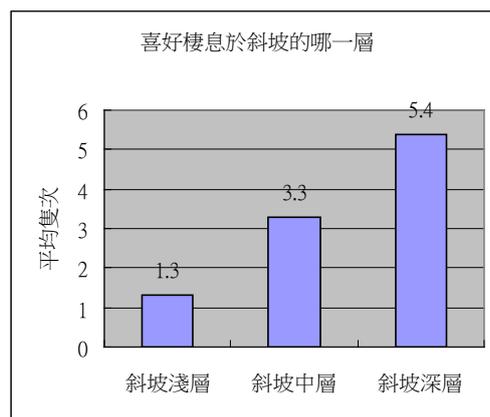


圖 15

七、普小仰椿象的汙染耐受度(tolerance)為何?

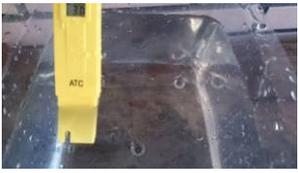
※想法:我們在許多水田都有發現仰椿,甚至臨時性水窪也有,可見其相當普遍,那是否表示測出仰椿的汙染耐受度,就可以間接來反應該水田是否受到某種程度的汙染(當作水質環境的生物指標)。因此設計仰椿對各項水質的耐受度實驗(耐溫、耐酸耐鹼、耐鹽、油汙、濁度、洗碗精、肥皂水)。

(一)方法:

1. **耐溫:**(1)利用冰塊,控制其水溫,測試其耐冷度,重複實驗 3 隻。(2):利用控溫加溫棒,控制其水溫,測試其耐熱度,重複實驗 3 隻。
2. **耐酸鹼度:**分別調配 pH3.0、pH3.5、pH4.0、pH4.5、pH5.0、pH5.5、pH6.0、pH8.0、pH8.5、pH9.0、pH9.5、pH10、pH10.5、pH11.0、pH11.5、pH12.0 等溶液,將仰椿放至於調配的容器內維持一週,測試其耐酸鹼度,每種酸鹼度重複實驗 3 隻。每盒實驗放入赤紅蟲予以餵食。
3. **耐鹽度:**取一硬塑膠昆蟲箱(28cm×18.6cm×16.9cm),加入 1000 cc 的水,再加入 1 克的鹽,攪拌之,將鹽水溶液倒 500cc 到一公升容器,再放仰椿一隻,觀察其活動力,重複實驗 3 隻,再調配不同的濃度(1:1000、1:2000、1:3000、1:4000)。
4. **油汙:**滴入沙拉油至一公升實驗容器各三個,使得水面上佈滿油,觀察仰椿的狀況。
5. **濁度:**取一公升容器,底部黏上測水濁度裝置的沙奇盤,加入泥沙使其水變濁直到從水面上看不到沙奇盤,即濁度超過 100NTU,重複實驗 3 隻。
6. **洗碗精水:**取一硬塑膠昆蟲箱(28cm×18.6cm×16.9cm),加入 1000 cc 的水,再加入約 1 cc 洗碗精,攪拌使其溶液表面有泡沫,將洗碗精水溶液倒到一容器,再放仰椿一隻,觀察其活動力,重複實驗 3 隻,再調配不同的濃度(1:1000、1:2000、1:3000、1:4000、1:5000)。
7. **肥皂水:**取一硬塑膠昆蟲箱(28cm×18.6cm×16.9cm),加入 1000 cc 的水,再加入 1 公克肥皂,攪拌使其溶液表面有泡沫,將肥皂水溶液倒到一容器,再放仰椿一隻,觀察其活動力,重複實驗 3 隻,再調配不同的濃度(1:1000、1:2000、1:3000、1:4000、1:5000)。

(二)結果:

- 1.耐溫：仰椿在水溫 9℃時便沉入水中，擾動也不游動，我們立即將仰椿撈出後，放至室溫的水，不久便活了過來，因此低溫耐受度為 9℃;在高溫耐受度方面，當水溫升至 34℃時，仰椿也沉入水中，我們也立即將之撈起。
- 2.耐酸鹼度：在 pH3.0~pH5.0 及 pH12.0 實驗組中發現仰椿無活動能力沉入水中便立即撈起。
- 3.耐鹽度：只有在濃度(1:4000)的實驗組中發現仰椿活動力較好，其他較濃的濃度發現無活動能力沉入水中的狀態，我們立即停止實驗。
- 4.油汙：實驗過程中，發現油使得仰椿無法在該水質中生存，我們便將仰椿撈起。
- 5.濁度：不管水中懸浮物質再多，有多混濁，仰椿依然能生存自如。
- 6.洗碗精水：1:1000 到 1:5000 的濃度皆呈現無活動能力沉入水中狀態，我們立即停止實驗。
- 7.肥皂水：1:1000 到 1:5000 的濃度皆呈現無活動能力沉入水中狀態，我們立即停止實驗。

			
調配酸液	耐酸度實驗組	調配鹼液	耐鹼度實驗組
			
鹽度實驗組	不同的濃度皆實驗 3 隻	油汙實驗組	測濁度沙奇盤組
			
濁度實驗	洗碗精水溶液	洗碗精水溶液	肥皂水溶液

(三)討論:依實驗結果得知，仰椿的各種水質的忍受範圍如下: 溫度耐受度在 9℃~34℃之間，鹽度耐受度為 4 ppt，酸鹼值容忍度為 pH5.0~pH12.0 之間，濁度容忍度方面在完全混濁的環境(濁度超過 100NTU)能存活。但在油水、肥皂水、洗碗精水實驗中，仰椿最終呈現無活動能力沉入水中狀態，我們推測跟無法呼吸有關，在油汙方面，由於表層有一層油，因此仰椿無法利用腹部的尖突頂破水的表面以致無法換氣而呈現窒息狀態;另外肥皂水、洗碗精水內含介面活性劑，會使水的表面張力減弱，在低表面張力的液體，空氣是無法保留的，因此在肥皂水、洗碗精水裡，仰椿雖然可至水面換氣，但因介面活性劑的關係，使得背部與翅間的空氣層及腹面邊緣與水接觸的地方其水的表面張力變小，因而背部與翅間的空氣層及腹面邊緣所附著的氣體可能降低而導致窒息狀態，即無法儲存空氣，因此間接無空氣浮力，所以會無法浮到水面上，而呈現往下沉的狀態，雖後足奮力游動想往上划，但缺乏空氣的浮力，因此都游不上水面。雖然仰椿在溫度、酸鹼、濁度、低溶氧量等環境因子容忍範圍很大，但在油汙以及含有介面活性劑的水質便呈奄奄一息狀態，因此可推論當有發現大量的仰椿死亡，那該水體可能受到油汙或被化學清潔劑所汙染，因此可當作水的汙染指標生物之一。

圖 16

【研究四】探討普小仰椿象的動物行為(Animal Behavior)。

一、游泳行進模式

※想法:飼養觀察時,發現仰椿受到驚擾時游泳很迅速,平時後足動著動著能停留在水中的某一點,想進一步了解在牠遇到驚擾時後足滑動一次,前進的距離是體長的幾倍呢?以及觀察其游泳姿勢、身體形態是否有助於其游泳、在無干擾情況下其一分鐘平均後足滑動幾次?

(一)方法:

A 游泳行為:1.查詢流體力學原理,並分析身體形態與行進模式及能定點停留的關係。

B 後足擺動:2.紀錄在靜水區一分鐘內,仰椿後足擺動次數,隨機取 5 隻,每隻實驗一分鐘後休息 3 分鐘後再繼續實驗,每隻實驗六次,共三十次。

C 擺動一次距離:3.仰椿滑一次後足所游動的距離(1).準備一個長方形水桶(57cm×45cm×15cm),內加入 5 公分高的水。(2).在水桶內放入 1 個自製的游道,在旁邊放一把長 30 公分的尺。(3).放入一隻仰椿,放至游道口干擾牠使之向前游動。(4).實驗十隻每隻重複做十次,共一百次,記錄每一次游動的距離。(5).最後算出牠游動的平均距離是體長的幾倍。

D 頭部形態能幫助游泳:4.製作模型,探討仰椿的圓球狀頭部是否能減少阻力,增加游泳的流暢度。

(1)製作兩個模型,頭部的部分利用保利龍球製作,模擬仰椿的頭部。

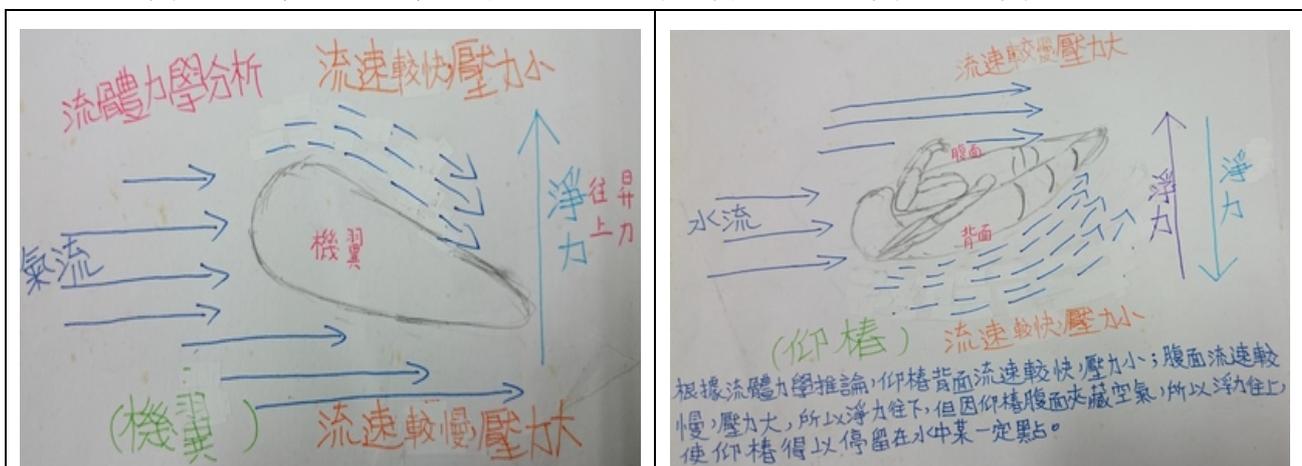
(2)另一個模型為對照組,製作成方形頭,非球形,如下圖

(3)在長方形水桶(57cm×45cm×15cm)內加入八分滿的水,將兩個模型同時放入並對齊長 30 公分的尺,製造同一水波,紀錄水波打到兩種不同造型的頭(圓形和方形),紀錄模型向後移動的距離。

(4)實驗十次後,分析其平均距離後,探討模型與阻力之間的關係。

E 水平游泳的角度:5.觀察並拍照,利用 ImageJ 軟體量測出仰椿水平游動的角度(以腹面橫切線到尾部頂端至複眼下緣為水平游動的角度)

F 不同流速,後足擺動頻率是否不一樣 6.不同的水流,仰椿擺動後足的頻率是否改變。將一隻仰椿放入長方形水桶(57cm×45cm×15cm),以每秒 10cm 的流速流入水桶內,於 1 分鐘內錄製仰椿的運動模式並紀錄後足的滑動次數,每隻實驗十次,每次間隔休息 3 分鐘,共實驗 3 隻(A、B、C);另外將流速調高成每秒 20cm,實複上述實驗。



飛機機翼的流體力學原理

仰椿在水中能定點停留的力平衡分析

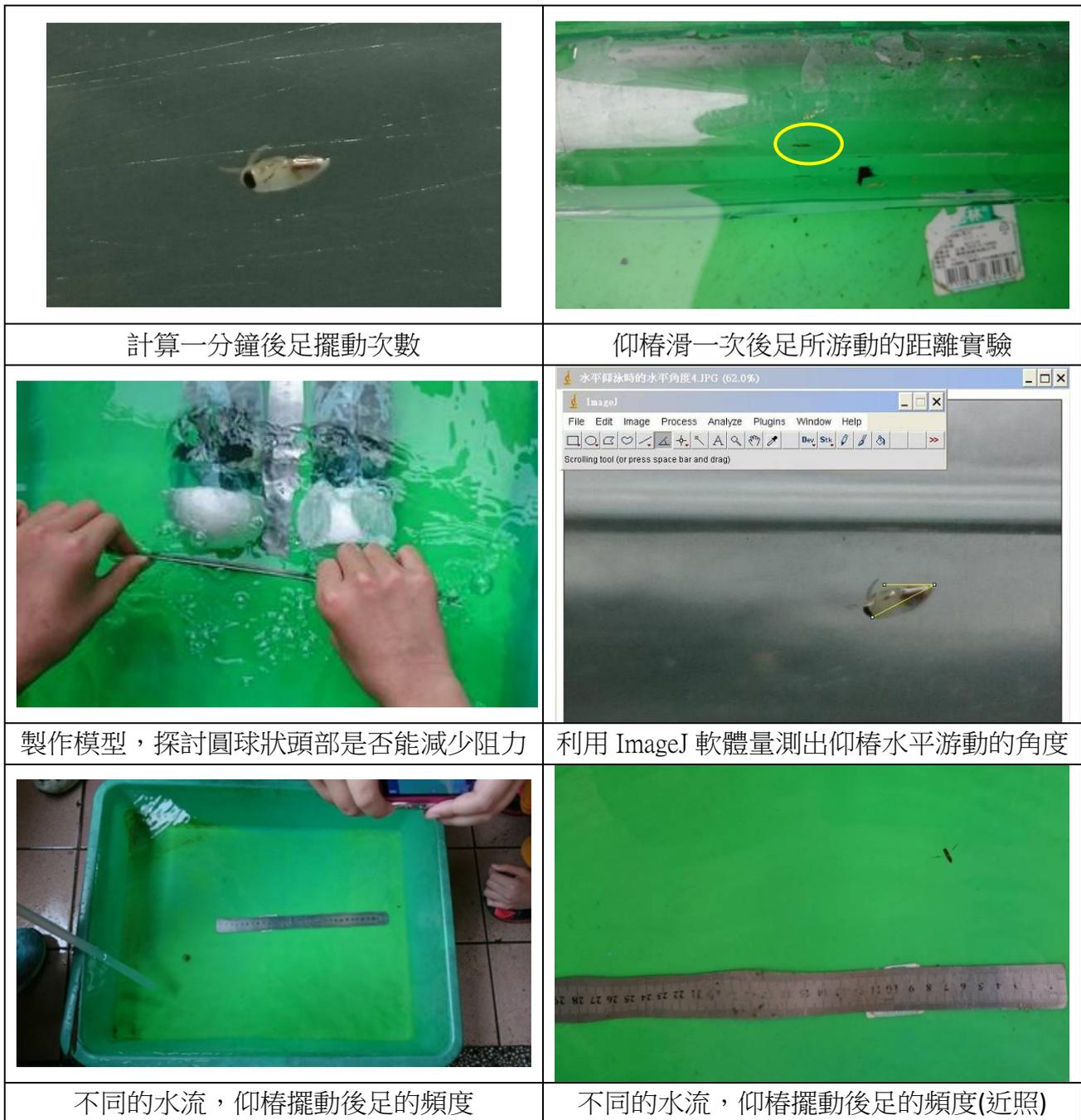


圖 17

(二)結果：

- A. 畫出機翼昇力的分析圖及仰椿在水中能定點停留的力平衡分析圖。
- B. 靜水區一分鐘內，仰椿後足滑動次數(n=30): 61.33 ± 12.58 次(詳細紀錄在科展實驗日誌)
- C. 仰椿滑一次後足所游動的距離(n=100): 3.32 ± 0.99 cm(詳細紀錄在科展實驗日誌)
- * 仰椿滑一次後足所游動的距離 ÷ 仰椿的體長 $\implies (3.32 \pm 0.99 \text{cm}) \div (0.714 \pm 0.1) \div 4.65$ 倍
- D. 兩者模型中(圓頭及方形頭)，因水波的衝力而後退的距離分別為(n=10):如表 4-1

圓頭模型後退的距離	方形頭模型後退的距離
1.10cm	3.04cm

方形頭模型後退的距離 > 圓頭模型後退的距離

- E. 仰椿水平游動的傾斜角度(n=20): $21.18 \pm 1.08^\circ$ (詳細紀錄在科展實驗日誌)

F.流速為秒速 10cm 的次數如下表 4-2

次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
A	156	163	157	161	144	154	162	153	143	110	150.3
B	151	151	148	152	144	158	146	152	143	141	148.6
C	141	146	143	122	146	120	177	136	148	108	138.7

※水流速度為每秒 10cm 的後足擺動次數總平均為:145.87±14.17 次

※流速為秒速 20cm 的流速實驗時，仰椿幾乎都被水沖著走，後足已無滑行，後足皆平伸張開來，隨流水漂動。

(三)討論: 1.流體力學原理中提到當流體(氣體或液體)流速減少時，壓力會增加，空氣流經飛機機翼截面，通過機翼上方的流體因為行徑路線比較長(機翼上半部曲面弧長較長)，因此速度比較快。因而壓力會較下方流體壓力來的小，所以下方氣壓大於上方氣壓，造成淨力為飛機的昇力。用流體力學來解釋仰椿為什麼能停留在水中某一定點，當水流流經仰椿背面(在下方)時，水流因為行徑路線比較長，因此流速快，壓力較小;但水流流經仰椿腹面(在上方)時，流速較慢，壓力較大，因此淨力為往下的力，既然淨力向下，但為什麼仰椿不是一直往下移動呢?因為仰椿身上細毛的緣故，在腹面及翅下方能貯藏氣體，由於氣體有向上的浮力，所以往下的淨力及往上的浮力約略相同，因此仰椿有能力**在水中某一定點停留**。

2.在觀察中，仰椿可在某定點停留或在同一深度滑行，我們推論牠的後足滑動能使牠向前，向前才有相對水流，有水流產生的淨力(如第 1 點所討論的)往下，又本身夾藏空氣有浮力，因此才能使之上下力平衡而能夠在同深度路線游泳，所以後足的滑動是必要的。

3.仰椿在受到干擾的情況下，**滑動後足一下可游至約身長 4.65 倍的距離**，且可連續游，直到牠脫離干擾源。

4.物體在水中所受的阻力與流體的粘滯性、前進速度及水的接觸面積有關，由實驗結果顯示，方形頭比起圓頭後退的距離較大，我們推論方形頭與水流的垂直接觸面積較大，因此後退較多，所以**頭形為圓鈍形的仰椿，可以減少阻力、提高推進效率**。

5.仰椿水平游動時的角度是以腹面水平橫切線到尾部頂端至複眼下緣為水平游動的角度，**我們發現牠以這樣的角度(約:21.18°)在游泳，就如同飛機機翼有傾斜一般，產生了流速的差異性而有壓力差，造成了淨力與浮力之間的平衡，使之能在同一深度游泳或停留(如第 1 點的討論)**，我們推論這樣的方式可以省力。

6. 1 分鐘內後足擺動的次數如下表 4-3 比較:

靜水環境	秒速 10cm	秒速 20cm
61.33±12.58 次	145.87±14.17 次	很少擺動，隨水流漂走

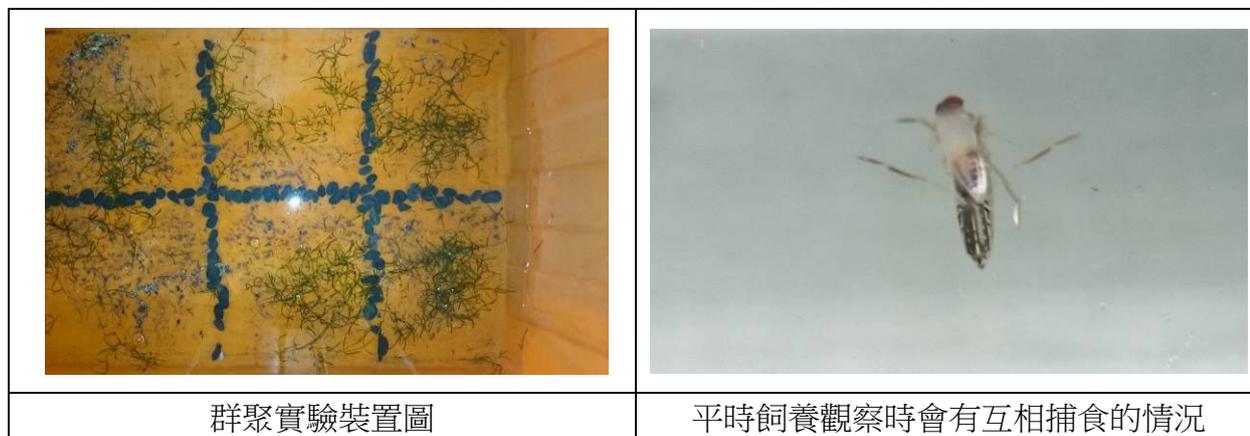
由結果顯示流速增加，後足擺動次數也會跟著增加，但太強的水流，後足擺動也難以控制方向，因此便隨波逐流，也間接證明仰椿生活在靜水區域，流動的水域較難發現蹤跡。另外實驗過程中我們也發現**仰椿的後足是同步擺動的**，但左右腳的脛節、跗節其擺幅是可以調節的，例如轉彎時，左右後足各節的擺動角度就不一樣，未來可探討擺幅角度與轉彎的關係。

二、普小仰椿象是否有群聚性?

※想法：我們將採集來的仰椿放入水族箱內時，發現牠們某些會聚在一起，讓我們想了解仰椿是否有群聚性。

(一)方法：

- 1.將高桶箱(70cm×45cm×40cm)的底部以細砂平均分成 6 的區域並裝入水位 10cm 高的水量，每個區域內放入一些水草供仰椿躲藏。
- 2.每個區域放入一隻仰椿。上午、中午與下午各觀察記錄一次，持續兩週。
- 3.是否有群聚以該區域聚集最多隻數為主，例如發現該次觀察記錄中發現 4 隻與 2 隻群聚則紀錄為 4 隻，以此類推。再計算平均值，若平均值 ≥ 3 隻，則視為具群聚性。



(二)結果: 表 4-4

圖 18

實驗溫度：18-22°C ()內為另一群聚隻數							
日期	104/11/24	104/11/25	104/11/26	104/11/27	104/11/30	104/12/1	104/12/2
上午 0800	2(2)	3(2)	2(2)	2(2)	2(2)	2(2)	3(2)
中午 1300	3(2)	2(2)	2(2)	2(2)	3(2)	3(2)	4
下午 1600	5	2(2)	2(2)	4	3(2)	3(2)	3
日期	104/12/3	104/12/4	104/12/7	104/12/8	104/12/9	104/12/10	104/12/11
上午 0800	3(2)	3(2)	3(2)	3(2)	2(2)	3(2)	2
中午 1300	3	3(3)	2(2)	2(2)	4	3	3
下午 1600	2(2)	3(2)	3	3	3	2(2)	5
平均值 $\div 2.79$ 隻(群聚隻數 117 \div 42(次紀錄)=2.7857...)							

(三)討論:實驗結果顯示平均值 $\div 2.79$ 隻 < 3 隻;因此仰椿不具群聚性，我們推論仰椿本身為肉食性昆蟲，若群聚在一起，可能會有資源上的競爭，因此彼此之間不會靠得太近，況且飼養觀察時，有發現仰椿之間也會互相捕食，因此若群聚在一起，可能被同類捕食的風險會增加。

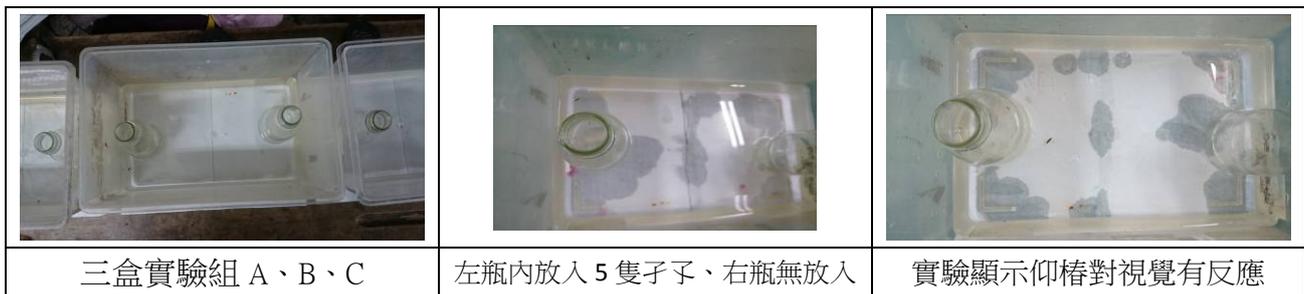
三、普小仰椿象的覓食行為主要是靠何種感官?

※想法:仰椿主要捕捉水中的小型動物屬於肉食性，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.準備三個長方形透明壓克力盒(27×11.5×12 cm)A、B、C，水位 5cm，每個盒子下方放一張畫線的白紙，將盒子等分為兩半，在盒內兩邊放入兩個透明玻璃瓶(底部直徑 4 cm、高 8 cm)。2.其中左瓶內放入 5 隻長度約 0.5 cm 的孑孓為實驗組，另一個右瓶無放入為對照組。3.

將一隻仰椿放置於中線後開始計時，實驗時間為 30 分鐘，若仰椿靠近玻璃瓶且進行攻擊(衝撞)視為有反應，並統計攻擊機率。**4.**每次實驗結束後，休息 10 分鐘再進行下一次實驗。**5.**每盒重覆實驗 5 次，共實驗 15 次實驗，將實驗裝置如下：



(二)結果:表 4-5

圖 19

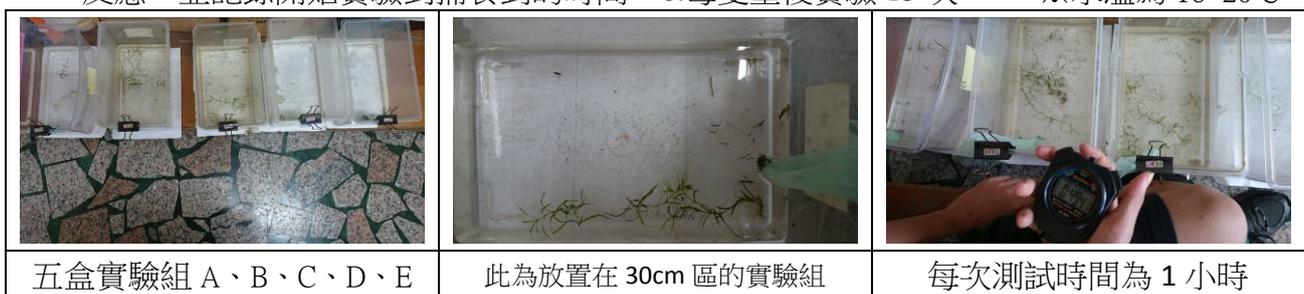
有靠近左瓶 並攻擊(衝撞)	A	B	C
實驗 1	√	√	√
實驗 2	√	√	√
實驗 3	√	√	√
實驗 4	√		√
實驗 5		√	
合計次數	4	4	4
攻擊比率	12÷15=80%		

(三)討論:

實驗過程中，仰椿並非一開始就游至有孑孓的那一邊，而是到處游動，但當仰椿游至左瓶約 3~5cm 時並發現有孑孓在扭動時，就會有衝撞孑孓瓶子的現象，但衝撞幾次後，就不再衝撞，好像牠知道玻璃瓶無法突破;另外我們也試過死掉的孑孓及冷凍赤紅蟲，結果仰椿就不會去衝撞，可見要活體會動的生物才會吸引仰椿去捕食或死掉的屍體但隨水流而動也會捕食，如仰椿會捕食赤紅蟲屍體。

※嗅覺實驗:

(一)方法: 1.分別設置五個塑膠箱(為 ABCDE 五組)，各別放入一隻仰椿。2.將冷凍赤紅蟲放置網袋內，使其可以「聞」到食物而「看」不到。3. 塑膠箱下方放置一張紙，畫線分成 3 等分(距離網袋 10cm、20cm、30cm)。4.將飢餓三天的仰椿分別放置於不同距離上，測試其嗅覺反應。5. 每次測試時間為 1 小時，若仰椿衝撞網袋或勾住並刺吸時才視為有嗅覺反應，並記錄開始實驗到捕食到的時間。6.每隻重複實驗 15 次。 ※水溫為 16~20°C



(二)結果:不管是 10cm、20cm、30cm 哪一組別，皆無攻擊網袋或有捕食網袋的傾向。 圖 20

(三)討論:從實驗結果顯示，仰椿在距離屍體處 10cm、20cm、30cm 都無攻擊網袋的傾向，甚至實驗中也觀察到仰椿已游至網袋周圍(1cm 不到)也無攻擊傾向，因此我們認為仰椿並非利用嗅覺偵察食物。

※觸覺實驗:

(一)方法:1.在硬塑膠盒(28cm×18.6cm×16.9cm)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，如下圖 21。2. 將飢餓三天的仰椿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 30 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。

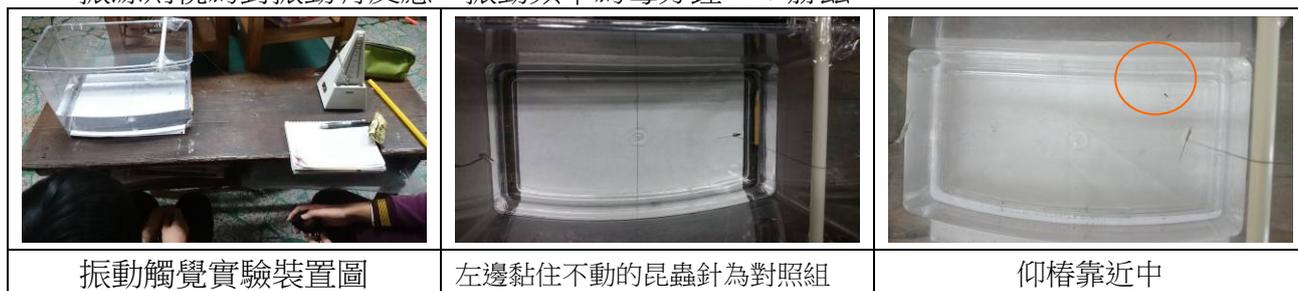


圖 21

(二)結果:

仰椿雖無直接攻擊振動的昆蟲針，但實驗過程中，大部分的時間游動在有振動昆蟲針的那一邊。如下表 4-6

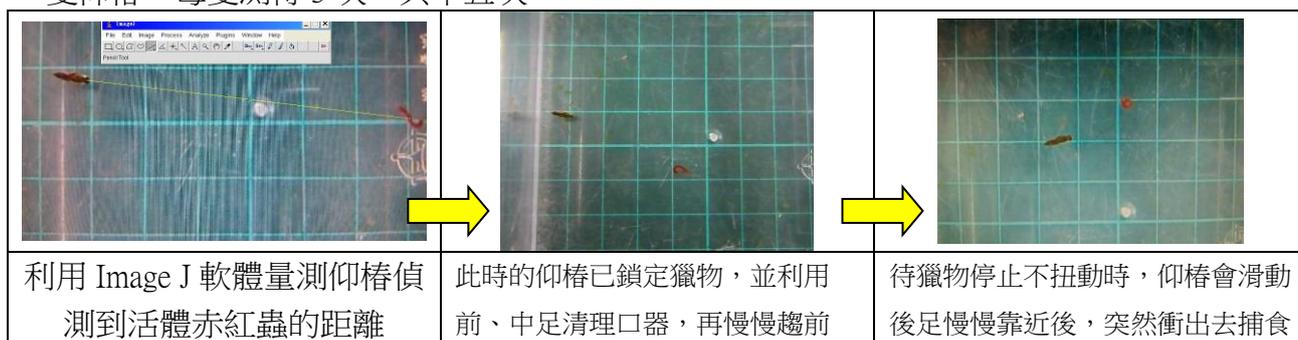
停留在振動那一側的時間	A	B	C	D	E
第一次實驗	23'15''68	19'29''45	24'08''74	21'46''87	19'53''87
第二次實驗	20'24''36	22'51''75	22'16''24	20'08''19	21'26''68
第三次實驗	22'25''77	21'57''46	22'58''76	18'35''69	20'57''41
平均	21'28''73(分、秒、毫秒)				

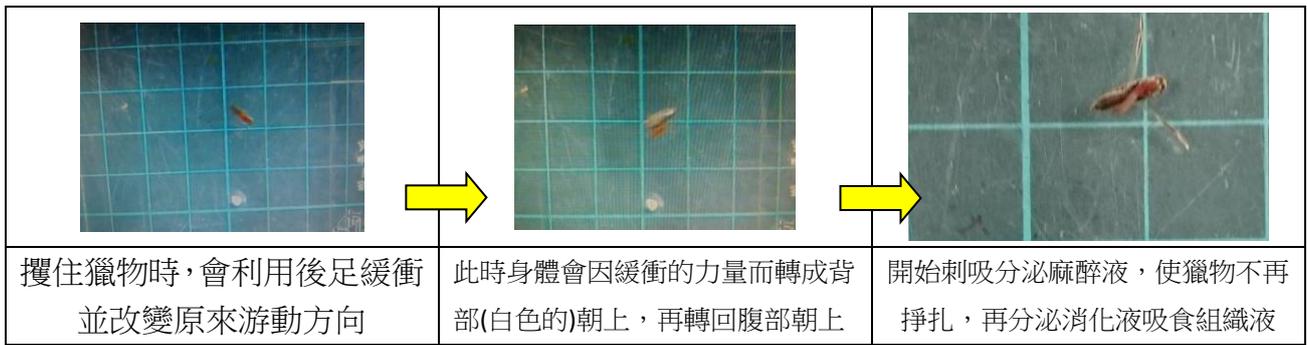
(三)討論:綜合上述視覺、觸覺(水波的震動)、嗅覺的實驗結果顯示，**仰椿的捕食策略以主動攻擊為主，以視覺為主，振動為輔進行偵測。**在視覺偵測實驗中可知玻璃瓶內如果是放入死的孑孓或冷凍赤紅蟲，仰椿是不會靠近的，但若放的是活的孑孓或赤紅蟲，仰椿會靠近玻璃瓶而且有攻擊的傾向(衝撞玻璃瓶)，**然而在瓶內的活孑孓所擾動的水波是不會傳遞出來的，但仰椿卻有反應，因此我們推論應是視覺有偵測到獵物所致，進而趨進捕食。**在振動實驗中，雖無直接攻擊振動的昆蟲針，但有明顯受到吸引而且停留在那一邊每一次的累加時間也相對多，但將振動頻率提高至每分鐘 200 赫茲，仰椿反而大部分的時間就待在另一邊，不會靠近點動源，可見振動太快，仰椿反而覺得有危險因此就遠離了。

四、普小仰椿象的捕食偵測距離

※想法:仰椿主要靠視覺來捕食獵物，我們很好奇牠在多遠處就能偵測到獵物進而發動攻擊?

- (一)方法:1.先將一隻仰椿放入正方形透明塑膠盒(10 cm×10 cm×10 cm)，水位高度為 5 cm。
2.再放入一隻活體赤紅蟲或孑孓，全程以數位相機錄影，量測啟動到捕捉住獵物的瞬間，利用 Image J 影像軟體測量偵測獵物的距離。3.實驗裝置放在有刻度的墊板上方，共實驗 5 隻仰椿，每隻測得 3 次，共十五次。





(二)結果:如下表 4-7

圖 22

編號	偵測距離 (mm)	編號	偵測距離 (mm)	編號	偵測距離 (mm)
1	62.32	6	64.85	11	48.65
2	54.56	7	61.69	12	47.85
3	60.89	8	63.12	13	49.36
4	49.38	9	52.46	14	54.38
5	53.23	10	54.92	15	51.64
總平均	55.29±5.6				

(三)討論:仰椿在發現偵測到獵物時會利用後足滑動幾下，短距離趨前滑去，主要是脛節及跗節在動，此時我們將其行為定義為有偵測到獵物，於是將拍攝下來的影片定格後用 Image J 軟體量測仰椿偵測到活體赤紅蟲的距離，共測得十五組，如上表。研究過程也發現一特殊行為，在仰椿發動攻擊前會利用前、中足刷理口器的動作，我們認為仰椿已意識到牠即將捕食獵物要先將口器上的雜質(如藻類)做清理，就像作戰前要將刀子磨利般，如此能幫助牠捕捉到獵物時能順利刺吸。另外，當牠捕食衝過去到攬住獵物時，會瞬間利用後足做”剎車”動作，有時會翻一圈，緩衝衝力，非常有趣(如上圖 22)。另外我們也有紀錄仰椿吃食一隻孑孓(長約 0.5~0.7cm)所需要的時間，共二十組，結果如下:

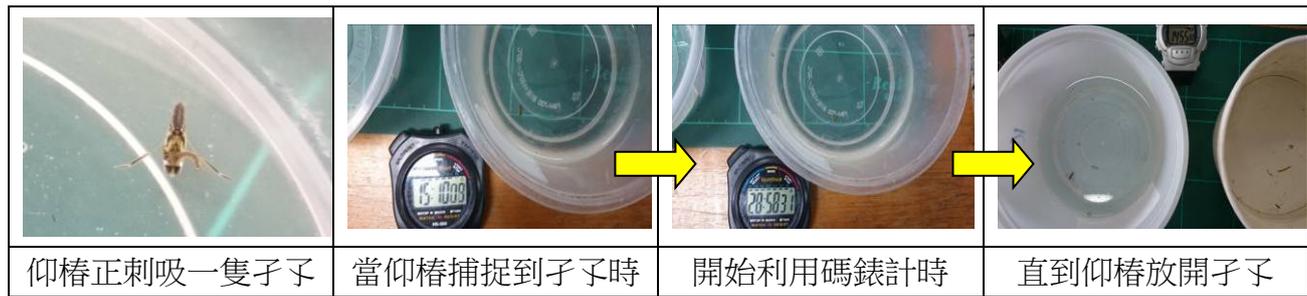


表 4-8

圖 23

編號	處理時間	編號	處理時間	編號	處理時間	編號	處理時間
1	28'58''31	6	27'07''19	11	31'57''0	16	28'16''54
2	26'25''75	7	28'51''28	12	26'49''46	17	31'49''0
3	39'66''0	8	27'44''73	13	22'07''0	18	34'28''0
4	38'43''0	9	35'52''0	14	26'46''0	19	38'25''0
5	22'18''69	10	23'55''0	15	28'33''0	20	26'49''46
平均:30'45''12							

※當仰椿面對一隻孑孓進而捕食的處理時間平均為 30 分 45 秒 12 毫秒，未來可嘗試做在不同

食餌密度下的處理時間實驗。

五、普小仰椿象的捕食獵物尺寸

※想法:平時餵食仰椿都以赤紅蟲、孑孓、水蚤為主，獵物體型都是比仰椿小，我們很好奇，仰椿會捕食體型比自己大的獵物嗎?

(一)方法:1.準備了豆娘水蠶(約 2cm)、蜻蜓水蠶(約 1.5cm)、絲蚯蚓(2cm~6cm)、赤蛙科蝌蚪(約 2.5cm)。2.每一種獵物與仰椿放於正方形透明塑膠盒(10 cm×10 cm×10 cm)，水位高度為 5 cm，各種皆設置三組。3.紀錄仰椿是否會捕食之。4.實驗維期二週，如果有獵物被吃食，會再補齊。

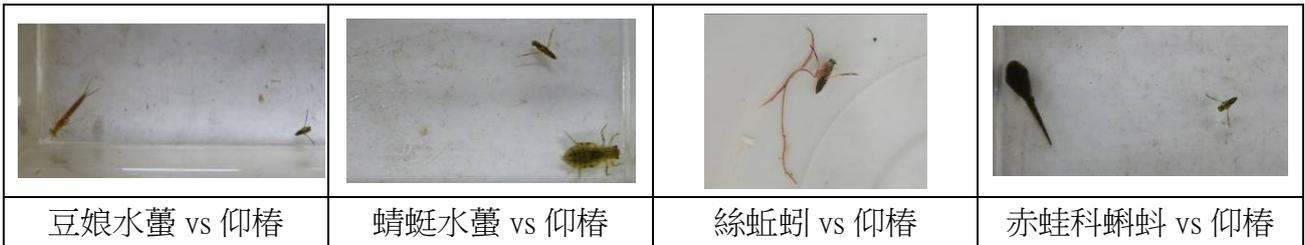


圖 24

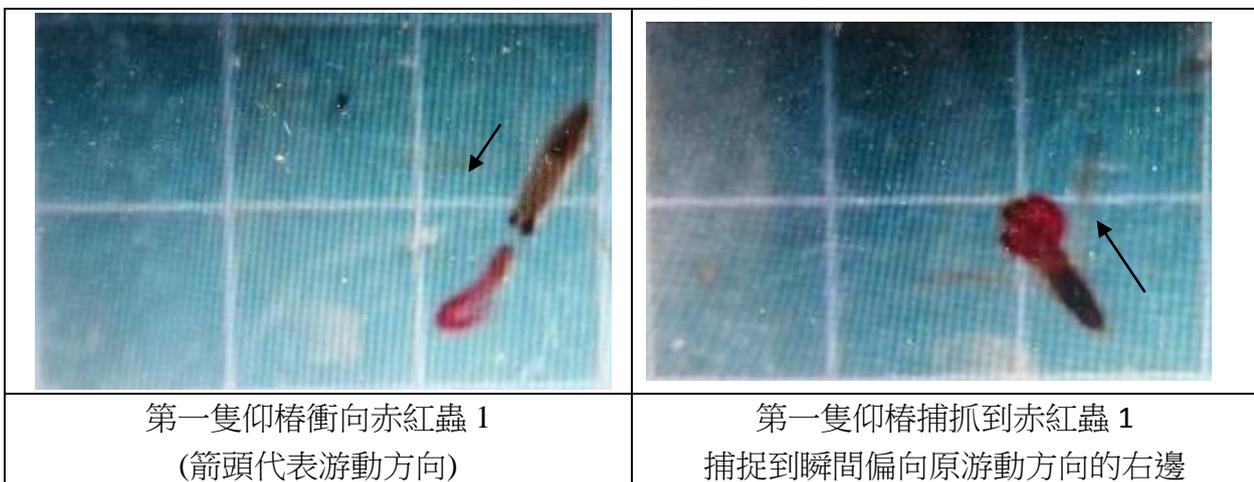
(二)結果:仰椿只會捕食絲蚯蚓，但豆娘水蠶、蜻蜓水蠶及 2.5cm 左右的赤蛙科蝌蚪皆不會捕食。

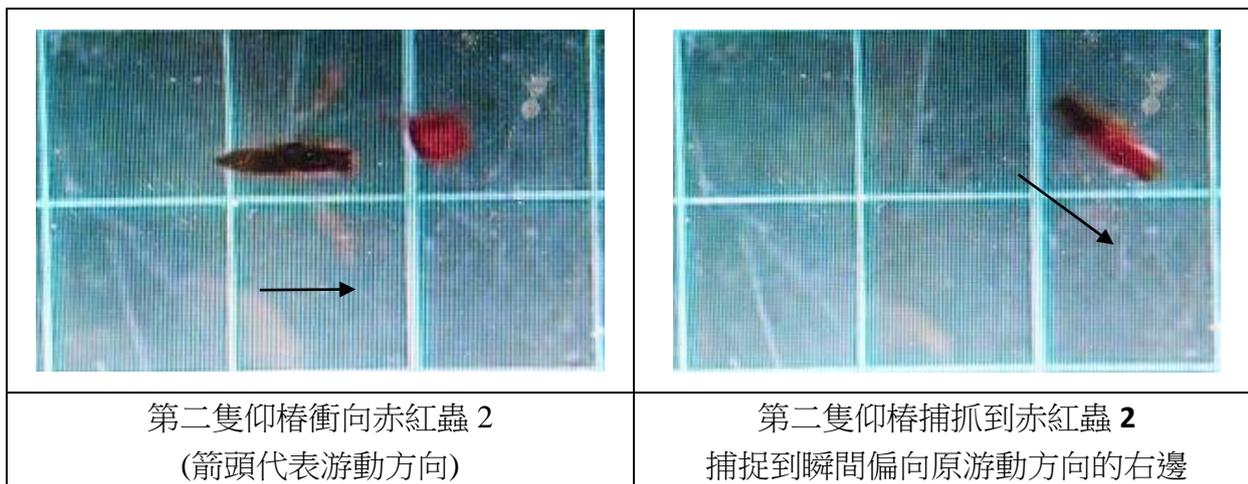
(三)討論:1.依據實驗結果，**仰椿會捕食比自己大的獵物**，但實驗物種中只有絲蚯蚓被捕食，但絲蚯蚓卻是實驗物種中最長的，為什麼三組絲蚯蚓都會被捕食呢?我們推論可能的原因有兩點:1.絲蚯蚓在水中時常蠕動，能吸引仰椿的注意。2. 絲蚯蚓比起其它三種，體表較為脆弱，也比較好被仰椿抓握，其餘皆較難被捕食，**因此尺寸的長短並非其捕食的限制，而是以獵物物種而定(仰椿的前中足要能抓握住的體寬大小)**，另外各有一組的仰椿竟被豆娘水蠶及蜻蜓水蠶所吃食，因此仰椿不捕食水蠶也可能是有做過風險評估。3. 絲蚯蚓是在水底蠕動的生物，仰椿能捕捉吃食牠，**間接也證明仰椿不是只有捕捉水面上層的生物，水底層的生物也會捕食，但前提是獵物要會動比較能吸引仰椿注意。**

六、普小仰椿象攻擊獵物的時間(從鎖定、衝出、捕捉到獵物)

※想法:仰椿主要靠視覺來捕食獵物，平日飼養觀察時，發現牠能很快速地捕捉孑孓，我們很好奇牠從鎖定、衝出、到抓住獵物要花多久的時間?

(一)方法: 1.以活體孑孓及活體赤紅蟲當獵物。2.用數位相機拍下捕食的過程，再利用電腦播放軟體慢速格放捕食過程，計算從最後一次游到靠近孑孓的停留位置到捕捉到孑孓的時間，格放速度每一格 1/30 秒。3.隨機選取 10 隻仰椿進行實驗。





第二隻仰椿衝向赤紅蟲 2
(箭頭代表游動方向)

第二隻仰椿捕抓到赤紅蟲 2
捕捉到瞬間偏向原游動方向的右邊

圖 25

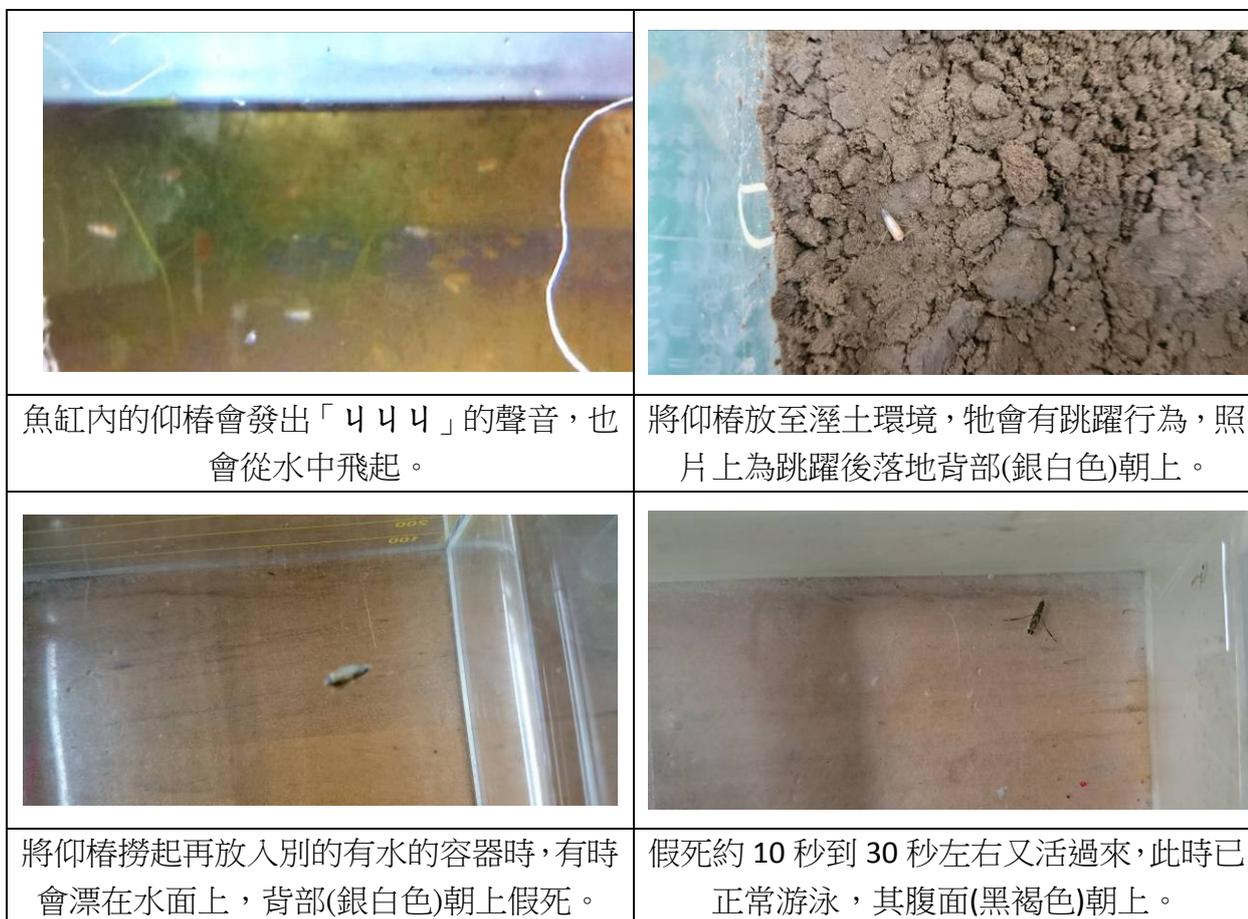
(二)結果:如下表 4-9

仰椿隻次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
攻擊時間(秒)	0.40	0.27	0.37	0.30	0.33	0.30	0.27	0.23	0.27	0.2	0.294

(三)討論:實驗結果顯示仰椿攻擊時間相當短,從最後滑行至捕捉到獵物在 0.4 秒以內完成,平均需要 0.29 秒。我們另外也發現當仰椿衝向目標獵物,瞬間抓到後,常常之後會向前進方向的右邊偏轉滑行,如上圖兩個例子,未來可再深入研究探討。

七、普小仰椿象的其它行為(鳴叫行為、飛行行為、跳躍行為、假死行為)

(一)方法:1.將五十隻仰椿放入玻璃魚缸(60cm×25cm×35cm),上方夾有紗網阻隔。2.長期飼養觀察其行為。3.定期餵食赤紅蟲、絲蚯蚓。4.另外也將其撈起,放至有溼土的環境及有水的容器內,觀察其行為。



魚缸內的仰椿會發出「ㄐㄐㄐ」的聲音,也會從水中飛起。

將仰椿放至溼土環境,牠會有跳躍行為,照片上為跳躍後落地背部(銀白色)朝上。

將仰椿撈起再放入別的有水的容器時,有時會漂在水面上,背部(銀白色)朝上假死。

假死約 10 秒到 30 秒左右又活過來,此時已正常游泳,其腹面(黑褐色)朝上。

圖 26

(二)結果:1.我們發現仰椿會發出聲音,類似「ㄋㄋㄋ」的短促頻率,通常晚上才聽得到。2.在較擁擠及傍晚時分,我們發現仰椿有飛離水面的行為。3.仰椿在無水的環境,會跳動,跳起高度約3~5公分。4.將仰椿撈起再放入水中時,有些仰椿會有假死行為(漂浮在水面上,背部朝上),約10秒到30秒又開始游泳。

(三)討論:1.我們將仰椿各別單隻放在獨立空間,不曾聽到發出聲音,但群養時則有聽到,我們試圖擾亂水面,假想是否會因受到侵襲而發出聲音(警戒聲),結果也沒有,因此推論發出聲音可能是一種交配的訊息傳遞,但到底是雄蟲發出,還是雌蟲,尚需進一步研究。2.仰椿有飛行行為,而且有群飛的現象,但在白天時都沒發現有飛行的行為,進入傍晚時才有飛行的紀錄,我們推論白天時可能天敵相對多,飛離水面被捕食的機會相對高,因此選擇在較暗的傍晚飛行。

伍、 結論

- 一、分類地位為動物界/節肢動物門/昆蟲綱/半翅目/仰椿科/小仰椿屬的普小仰椿象,屬於漸近變態的水棲昆蟲,共分為卵期、一齡期、二齡期、三齡期、四齡期、五齡期及成蟲期,25°C時,生命史約6個月。雄蟲前足跗節為一節,雌蟲為兩節;雄蟲、雌蟲體長、體寬約略相仿。
- 二、仰椿身上著生很多密密麻麻的細毛,基本上分成四大類:一、各足的緣毛,以後足最為密集;二、身體側邊的毛;三、腹部腹面的細毛;四、腹部尾端的感覺毛。腹面側邊的毛間距(約為3.585 μm)及腹部腹面的細毛間距(約為6.895 μm)以及氣孔的孔直徑(約3.928 μm)可以讓水因其表面張力而防止水進入,但是卻可以保留空氣流通,因此仰椿的腹部側邊的毛及腹部的細毛與蓮葉效應有相同的作用(有超疏水性)。
- 三、仰椿在水中時,由於兩邊腹部側邊的毛蓋住氣孔加上腹部毛的關係,可以疏水也使得腹部腹面存有像氣囊般的狀態而具有浮力;游至水面時,腹部側邊的毛會打開,除了讓氣孔直接與外界流通之外,也有像救生圈般能浮在水面上的功能(因為有疏水性)
- 四、仰椿屬於肉食性,獵物為水中小型動物,例如孑孓、赤紅蟲、水蚤、蝌蚪、小魚。
- 五、仰椿偏好在水中上層活動。
- 六、在四種水生植物(布袋蓮、金魚藻、大萍及水蘊草)的環境下偏好棲息金魚藻的環境。
- 七、空間上的適存值高於8.166隻/公升,仰椿感受到空間壓力,會有離開該水體的趨性。
- 八、仰椿無偏好暗色系環境。
- 九、溫度耐受度在9°C~34°C之間,鹽度耐受度為4 ppt,酸鹼值容忍度為pH5.0~pH12.0之間,在油水、肥皂水、洗碗精水實驗中,仰椿最終呈現奄奄一息狀態,我們推測跟無法呼吸有關,建議可當作水汙染(受到油汙或被化學清潔劑所汙染)的指標生物之一。
- 十、仰椿能在水中的某一定點停留;仰椿滑一次後足所游動的距離約3.32±0.99cm,約體長的4.65倍;長期演化後的圓鈍型頭部可減少阻力;水平游動的傾斜角度約21.18±1.08°,這樣的方式可以省力;仰椿的後足是同步擺動的,但左右後足的脛節、跗節其擺幅是可以調節的;流速增加,後足擺動次數也會跟著增加,但太強的水流,後足擺動卻難以控制方向,因此便隨波逐流。
- 十一、仰椿不具群聚性。
- 十二、仰椿主要的覓食偵測是以視覺為主,振動為輔。
- 十三、捕食偵測距離(發現到獵物的距離)約55.29±5.6mm。

- 十四、仰椿吃食一隻孑孓(長約 0.5~0.7cm)所需要的時間平均約 30 分 45 秒 12 毫秒。
- 十五、仰椿不僅會捕捉水面上層的生物，水底層的生物也會；也能捕食比自己大的獵物。
- 十六、仰椿攻擊獵物的時間約 0.33 秒。
- 十七、仰椿有鳴叫、飛行、跳躍、假死等行為。

普小仰椿象為平地靜水田中常見的水生昆蟲，有很多特殊性，例如在水中時，兩邊腹部側邊的毛能使腹部腹面存有像氣囊般的狀態而具有浮力，仰椿游至水面時，腹部側邊的毛會打開，有像救生圈般能浮在水面上的功能…等等，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，也可以當作鄉土教材(因為中年級課程有教水裡生物，但未提及這水田常見的仰泳椿，牠的特殊性可當作教材)。

陸、 未來展望

- 一、仰椿轉彎時，左右後足各節的擺動角度不一樣，未來可探討擺幅角度與轉彎的關係。
- 二、未來可嘗試做在不同食餌(孑孓)密度下的處理時間實驗。
- 三、仰椿腹部左右兩片的毛，未來可應用在泳衣身上，當穿上附有這種有這兩片疏水性的泳衣時，當游到精疲力盡想休息或遇到海難時就可按開關施放開來，等同於穿戴游泳圈一般浮在水面上，這是一種很棒的仿生科技發想，未來可朝此目標發明。

柒、 參考文獻

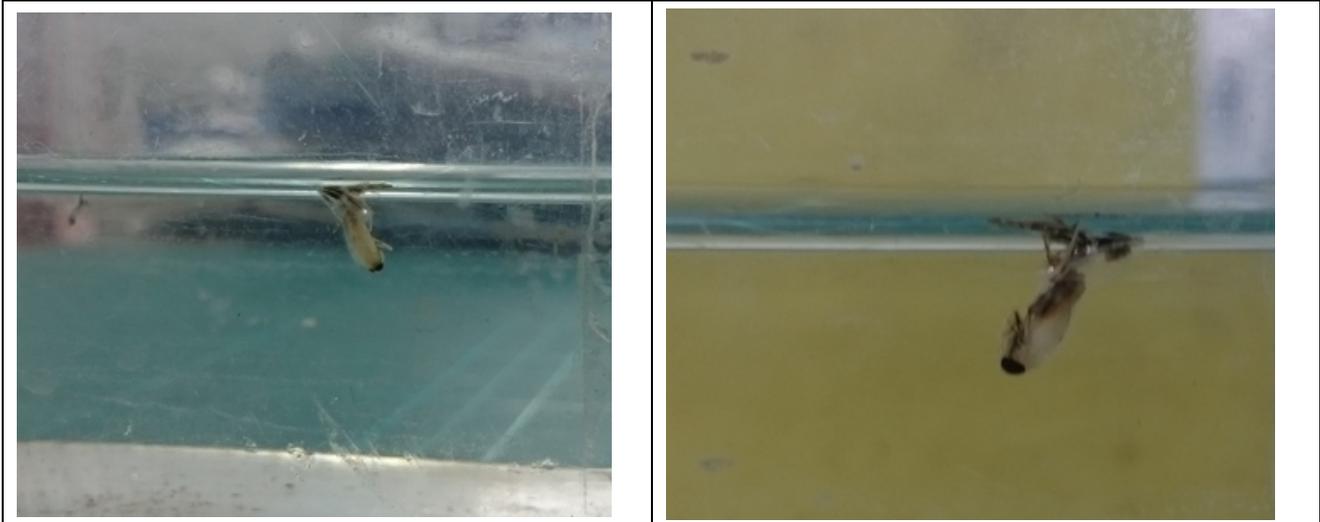
書籍資料：

- 一、廖智安(2014)。昆蟲，就該這樣養!(水棲篇)。台中市。晨星出版社。
- 二、鄭勝仲、林義祥(2013)。椿象圖鑑。台中市。晨星出版社。
- 三、麥葛文(2007)。世界昆蟲圖鑑。貓頭鷹出版社。
- 四、張永仁(1998)。昆蟲圖鑑 2。臺北市。遠流出版社。
- 五、楊平世(1994)。臺灣的常見昆蟲。臺北市。渡假出版社。
- 六、楊平世(1992)。水棲昆蟲生態入門。臺灣省政府教育廳。
- 七、郭玉吉(1988)。昆蟲入門。南投縣。水生昆蟲博物館。
- 八、周延鑫(1987)。生物物理學導論。華香園出版社。

網路資料：

- 一、嘎嘎昆蟲網-小仰椿 *Anisops ogasawarensis*。民 104 年 8 月 15 日，取自
<http://gaga.biodiv.tw/9701bx/in94.htm>
- 二、臺灣物種名錄-*Anisops ogasawarensis*。民 104 年 8 月 15 日，取自
http://taibnet.sinica.edu.tw/chi/taibnet_species_detail.php?name_code=339373

捌、 附錄照片

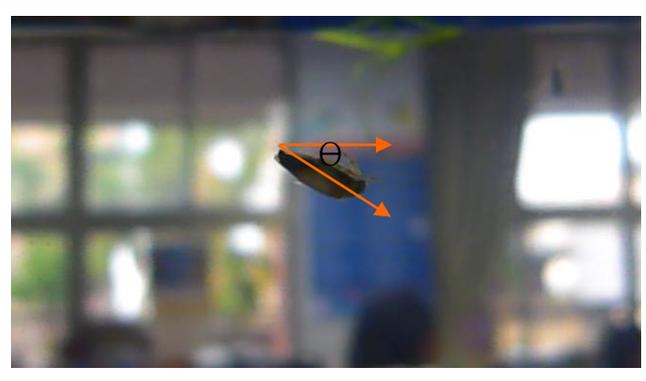


仰椿正脫皮，從前胸背部開始出來。

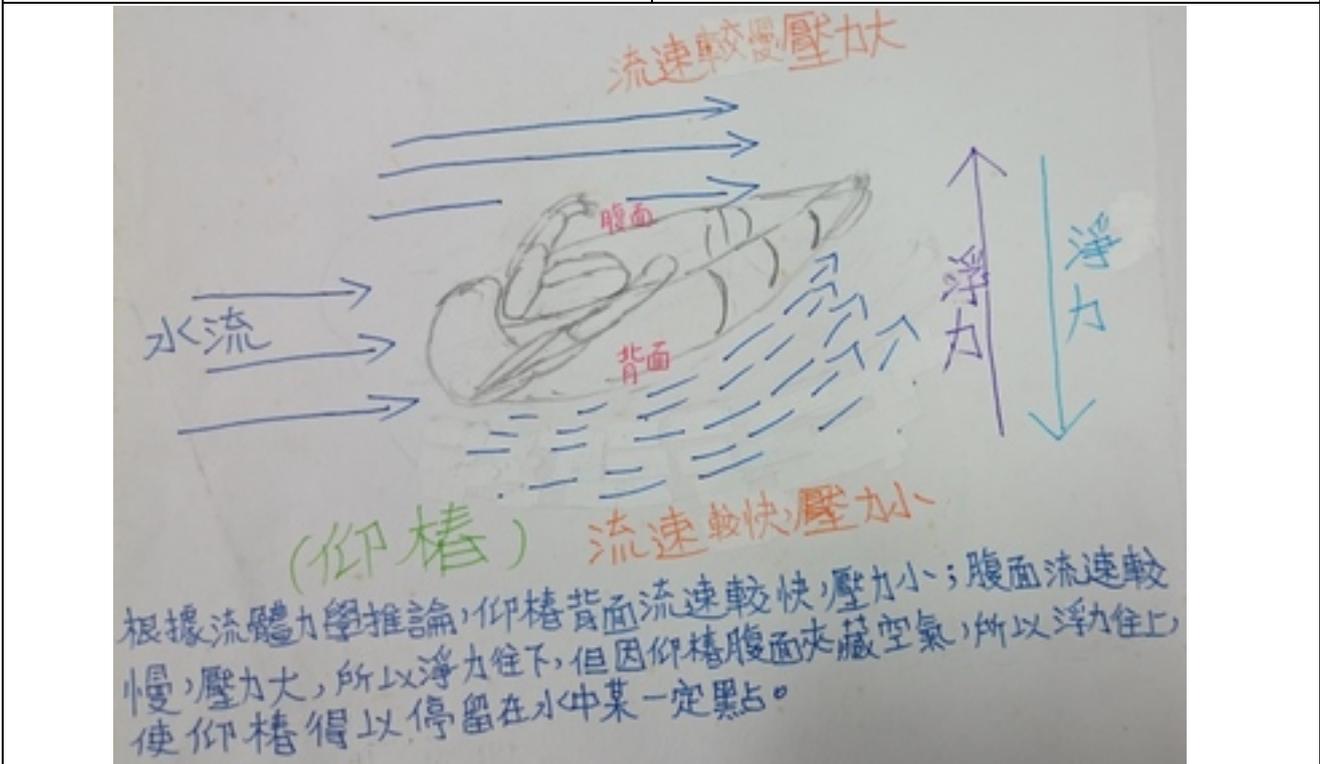
仰椿即將脫皮完畢。



平時會有清理足部的行為



定點停留或游泳時，與行進方向有一夾角約 $21.18 \pm 1.08^\circ$



仰椿在水中的流體力學分析與浮力關係圖；可當作除了飛機昇力外另一個學習流體力學的實例。

【評語】 080322

透過自然觀察與高科技儀器(e.x.掃電子顯微鏡)觀察到普小仰椿象細微的體毛結構間距可阻擋水分子身體表面，同時，普小仰椿象在水中游泳時能夠透過腹部側面體毛開合助其浮、沉，提高普小仰椿象在水中行動自如，有趣且有深度。唯在應答過程，內容的熟悉度確有不足。