

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

第三名

030310

紅色獵殺—紅娘華的異速生長與覓食方式及棲
息偏好的關係

學校名稱：南投縣立大成國民中學

作者： 國三 黃郁真 國三 賴玫秀	指導老師： 徐敏益
-------------------------	--------------

關鍵詞：台灣紅娘華、異速生長、覓食

摘要

紅娘華是不完全變態的水棲昆蟲，野外觀察，比較大蟲（四齡至成蟲）與小蟲（一齡至三齡）棲息及攝食的位置，發現大蟲會在較深及距岸較遠處覓食，交配會在更深、更遠處。經由測量不同齡期呼吸管、捕捉足及口器的長度並計算異速生長方程式，發現呼吸管是正異速生長；捕捉足及口器均為負異速生長。這個改變和覓食策略與棲息偏好有關。覓食策略中，食物對蝌蚪比較喜好；對振動及氣味（<25cm）皆有感應。棲地選擇，白天為負趨光性，晚上為正趨光性，且停棲在顏色較暗處。隨齡期增加，會偏好水較深處；二齡有群聚性，成蟲無。顯示不同齡期器官異速生長的改變對活動範圍及覓食策略有影響，覓食方式從主動追擊轉為等待，棲息位置由淺水轉為深水。

壹、研究動機

某次班遊是去野外觀察，發現水中有很像蟑螂的昆蟲在吸食青蛙，因為牠長的很奇特所以我們產生好奇心，經由查詢得知牠是紅娘華，所以抓了一對正在交配的紅娘華回實驗室進行飼養。並在學校舉辦的生物數學演講中，其中一個主題是異速生長，發現紅娘華好像也有這種異速生長的情形，所以我們選用了紅娘華這個題材。本研究利用異速生長方程式來探討，測量紅娘華的覓食器官，來探討是否有異速生長的現象？進而研究覓食策略和停棲環境的選擇是否有改變。

貳、實驗目的

實驗目的(如表一)：

表一：實驗名稱及目的

實驗名稱	實驗目的
野外觀察	觀察測量紅娘華在野外環境中，不同齡期棲息、攝食及成蟲交配所在位置與岸邊距離及深度。
外部型態的測量	探討紅娘華生活史各階段型態大小變化，包括卵大小、呼吸角長度、若蟲及成蟲體長、呼吸管長度、捕捉足長度、口器長度。
異速生長計算	計算不同齡期紅娘華之呼吸管、捕捉足、口器的異速生長情形。
覓食策略	探討紅娘華成蟲及若蟲對覓食的偏好、振動的選擇、食物氣味的偏好、獵物形狀的感應。
棲息偏好	探討紅娘華對棲息環境之光線、顏色、溫度、水深或聚集性的偏好。

參、實驗器材

本實驗所使用的器材(如表二)：

表二：實驗用器材

器 材	數量
(一)游標尺	二組
(二)水苔	半包
(三)塑膠盆(大的)	五個
(四)水族箱(大、小)	各一
(五)電子天秤(準確至小數點後第三位)	一臺
(六)食物(麵包蟲、小魚、蝌蚪、蝦)	數隻
(七)手電筒	三支
(八)光度器	一個
(九)自製趨光性實驗壓克力盒	一個
(十)水管	十組
(十一)珍珠板(白色, 紅色, 橙色, 黃色, 綠色, 藍色, 黑色)	數個
(十二)電子計時器	一個
(十三)自製震動器(砝碼, 塑膠繩)	一組

肆、研究方法及步驟

一、研究材料及實驗原理

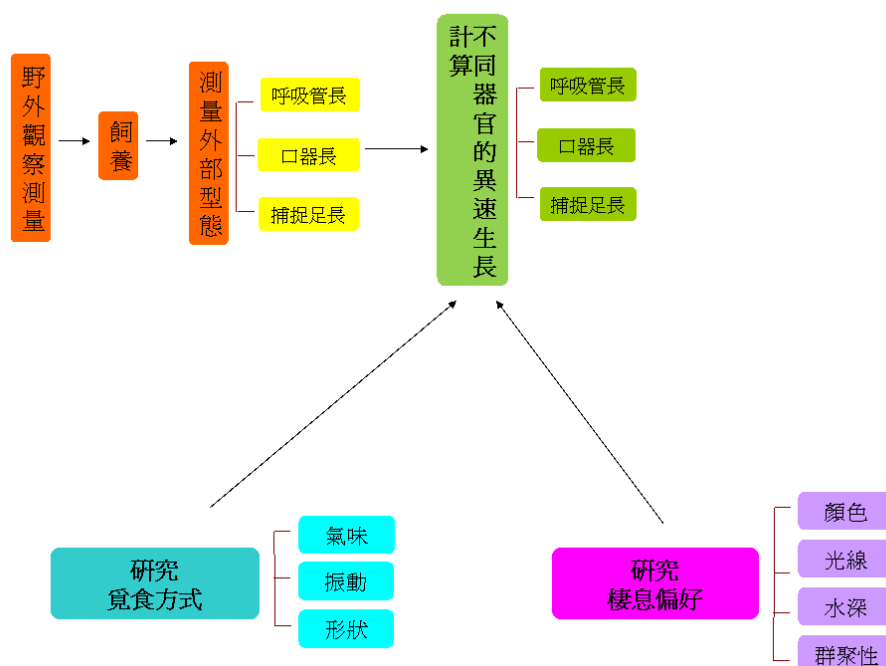
(一) 紅娘華介紹

紅娘華是昆蟲綱半翅目蠟椿科的水棲昆蟲。主要分布在台灣低海拔淡水水域，如水稻田、池塘等靜水域中。關於紅娘華亞科目前有吳等（2000）針對日本紅娘華（*Laccotrephes japonensis*），及林(2008)對台灣紅娘華（*Laccotrephes gossus*）與大紅娘華（*Laccotrephes obudtus*）進行分類的研究。而本實驗是以台灣紅娘華（*Laccotrephes gossus*）作為研究對象，文章內簡稱為紅娘華。

(二) 異速生長（allometry）

由百度百科(<http://baike.baidu.com/view/1052230.htm>)查詢得知，根據赫克斯利和泰西埃提出的相對生長不成比例的生長關係。不同的器官，在不同時期，生長速率會不同，生物學家們就把這種現象稱為異速生長。例如锹形蟲的體長和角生長的速度不同，這是因為角是競爭的重要器官，所以角越大在生殖時會有較大的利益。赫克斯利和泰西埃提出了方程式 $y=ax^b$ ， y 是某器官的大小， x 是其他部分或身體大小，有時也表示長度或重量， a 是常數， b 為生長指數。上式一般稱為異速生長式，當 $b > 1$ 時，為正的異速生長，顯示器官的生長速度比身體的生長速度快；當 $b = 1$ 時，為等速生長，顯示器官的生長速度和身體的生長速度相同；當 $b < 1$ 時，為負的異速生長，顯示器官的生長速度比身體的生長速度慢。

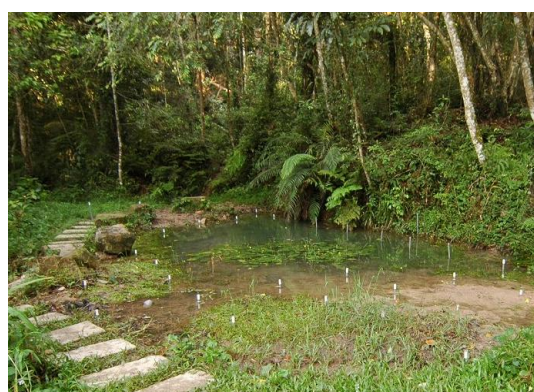
二、實驗流程：如下圖。



三、實驗步驟

實驗一、紅娘華的野外觀察

在蓮華池地區，選擇一個面積約為 15 m²的橢圓形池子，外圍布滿爛泥，池水內深外淺，水淺區深約為 2 cm深，最深處約為 50 cm。水源來自水量穩定的地下水湧出口。在池內每隔 45 cm便插入一支水管（共 60 格），並以這些水管作為紀錄分界點（如圖一）。野外觀察的時間是由 99 年 7 月 1 日開始至 7 月 5 日連續 5 日，在晚上 19 點及 20 點，觀察紅娘華分布在池子內的那個方格中，並測量牠們與岸邊距離與水深，及當時的行為。因為紅娘華一齡蟲到三齡蟲在野外不易由外表區分，所以將一至三齡當作是一個時期，四齡至成蟲是另一時期，來作區隔。



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60

(A)

(B)

圖一：蓮華池的野外觀察地點 (A) 野外樣區 (B) 樣區分配圖

實驗二、紅娘華生活史各階段型態大小變化之量測

(一) 紅娘華的生活週期

在蓮華池附近的積水池，捕捉 10 隻紅娘華在實驗室中飼養（圖二）。餵食麵包蟲，觀察交配、產卵等行為，直到紅娘華產下卵後，用游標尺測卵的呼吸角長及卵的長短徑，再用電子天秤（準確值至小數點後三位）測量卵重。待卵孵化後再進行生活週期實驗，並記錄生長情形。

卵孵化成若蟲後，用游標尺測量不同齡期的體長、呼吸管、捕捉足與口器的長度（圖三），並記錄各時期的蛻皮情形，每齡蟲各量測約 15 隻的紅娘華。



(A)



(B)



(C)



(D)

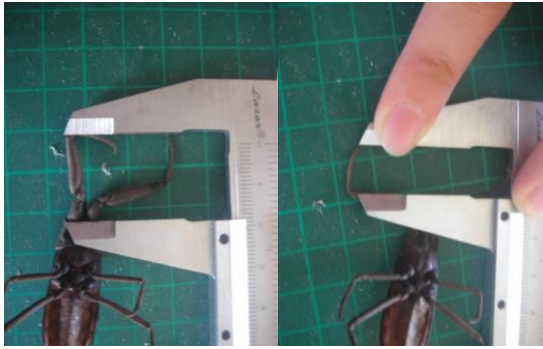
圖二：紅娘華的飼養情形 (A) 紅娘華成蟲的飼養 (B) 紅娘華成蟲的交配 (C) 剛孵化的紅娘華若蟲 (D) 紅娘華若蟲的飼養



(A)



(B)



(C)



(D)

圖三：紅娘華身長的測量 (A) 紅娘華體長的測量 (B) 紅娘華呼吸管長度的測量 (C) 紅娘華捕捉足長度的測量 (D) 紅娘華的口器長度的測量

實驗三、紅娘華不同器官之呼吸管、捕捉足、口器異速生長之探討

(一) 方程式說明：異速生長方程式為 $y = ax^b$ ，查詢顏(2006)商用數學中統計學，建立的數學模型及所進行的統計分析。令 $y = ax^b \rightarrow \log y = a \cdot \log x + b \cdot \log x$ ，將兩邊取以 10 為底數的對數。

(二) 將不同齡期紅娘華的呼吸管長和體長，依照函數關係 $y = ax^b$ 進行分析，設體長為 x 、呼吸管長為 y ，再使用 Microsoft Office Excel，將兩數取 10 為底數的對數，做出 $\log X$ 、 $\log Y$ 的迴歸直線圖，其中計算直線方程式與 R^2 值。最後，再計算出不同齡期的 a 、 b 值。 a 、 b 值原理如下：

$$\begin{aligned} \text{樣本回歸方程式為 } y &= ax^b \\ \log y &= \log a + b \log x \\ \begin{cases} \sum \log y = n \log a + b \sum \log x \\ \sum (\log x \log y) = \log a \sum \log x + b \sum (\log x)^2 \end{cases} \end{aligned}$$

(三) 將捕捉足及口器比照上述方法，計算出不同齡期的異速生長方程式。

實驗四、紅娘華成蟲及若蟲對覓食的偏好、振動的選擇、氣味的偏好、獵物形狀的感應之探討

(一) 紅娘華覓食選擇的觀察

在水族箱中放入蝌蚪、蝦子、大肚魚各 5 隻，飼養一隻紅娘華於其中 (圖四)，觀察一週。紀錄並計算被捕食的隻數與種類的比例，重覆 8 次，計算 8 次的平均值，判斷紅娘華對食物的偏好。

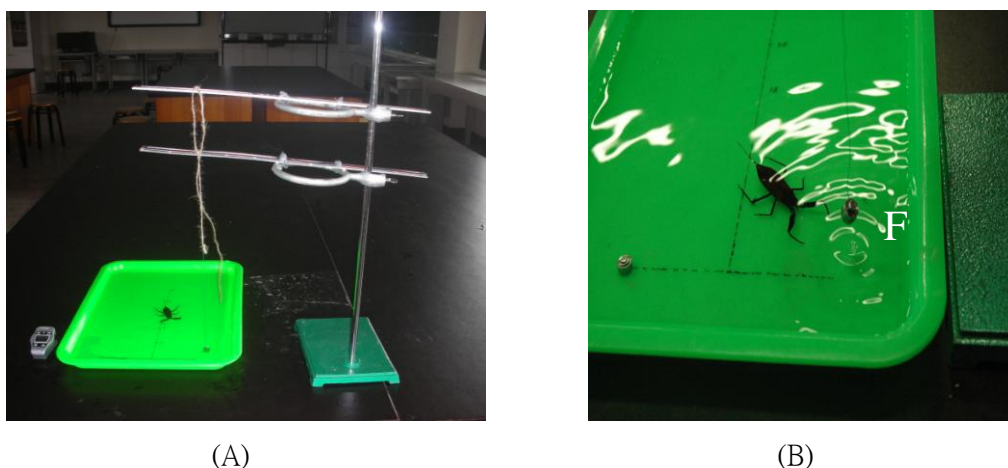


圖四：紅娘華覓食的選擇

(二) 紅娘華成蟲及若蟲對振動的偏好

1. 紅娘華對振動的感應

取 3 天未進食的紅娘華成蟲，分別在前方的 5、10、15、20 及 25 cm 處用繩子吊法碼製造 2 Hz(以節拍器計數每分鐘 120 次)的振動(圖五)，觀察紅娘華是否會往振源處移動，實驗使用 5 隻成蟲，每隻重複 2 次，再將若蟲每齡各 5 隻，依照上述方法觀察是否會往振源處移動。



圖五：紅娘華對振動感應的設計。(A)為實驗設計圖(B)為實際實驗情況，F為繩子吊法碼的振動源

2. 振動後再搜尋的能力

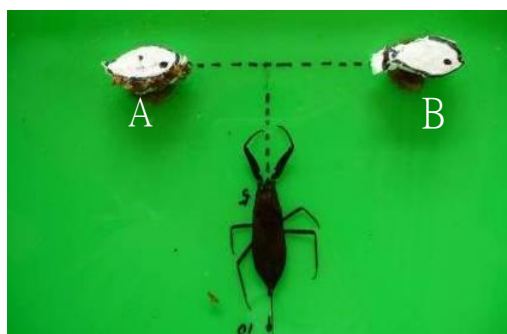
由野外觀察發現昆蟲掉到水中會掙扎，而造成振源的移動，所以我們設計這個實驗。將 1 隻 3 日未進食的紅娘華成蟲放入畫有座標的塑膠盆中，在牠前方 5 cm 的區域以繩子吊法碼製造出 2 Hz 的振動(圖六)，等成蟲朝振源移動時分別在其新位置前方 1、2、3、4、5、6、7 cm 處再製造振動，觀察牠是否會往新振源移動。分別取 5 隻成蟲每個距離各實驗 1 次，觀察並記錄牠是否會往新振源移動，且計算成功找到第 2 次振動的機率。



圖六：紅娘華對振動感應的設計。F 為繩子吊法碼的振動源

(三) 紅娘華成蟲及若蟲對氣味的選擇

將塑膠盆放置塗麵包蟲泥的魚形保麗龍板，而另一魚形板未塗蟲泥（圖七），將 3 天未進食的紅娘華分別放置在距離麵包蟲泥 5、10、15、20 及 25 cm 處，觀察牠是否朝氣味方向移動。實驗使用 5 隻成蟲紅娘華，每隻重複 2 次，再將若蟲每齡各 5 隻，依照上述方法計算是否往麵包蟲泥的氣味方向移動。

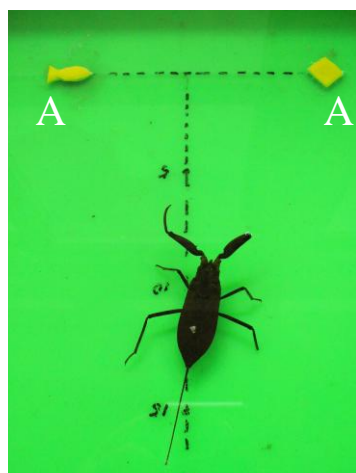


圖七：紅娘華對氣味選擇的設計

A 為有塗麵包蟲泥魚形保麗龍板 B 為未塗麵包蟲泥魚形保麗龍板

(四) 紅娘華成蟲及若蟲對獵物形狀的感應

將塑膠盆一邊放置魚形保麗龍，另一邊放置方形保麗龍（圖八），將 3 天未進食的紅娘華分別放置在距離麵包蟲泥 5、10、15、20 及 25 cm 處，觀察牠是否可感覺到形狀的差異。實驗使用 5 隻成蟲紅娘華，每隻重複 2 次，再將若蟲每齡各 5 隻，依照上述方法計算對獵物的移動。



圖八：紅娘華對不同獵物形狀感應的設計。A 為獵物

實驗五、紅娘華對棲息環境之顏色、光線、溫度、水深或聚集性偏好之探討

(一) 紅娘華對光的反應：

1. 人造光源趨光性實驗

將 1 隻成蟲紅娘華放入水深 5 cm 的塑膠盒內，靜置 30 分鐘後，在塑膠盒左邊放遮蔽物，右邊照光，10 分鐘後紀錄紅娘華最後位置（圖九），重複 10 次。再取二齡蟲 10 隻，重複實驗。



圖九：紅娘華在人造光之下進行趨光性的實驗，左邊黑暗，右邊照光

2. 自然光(日光、月光)下趨光性實驗

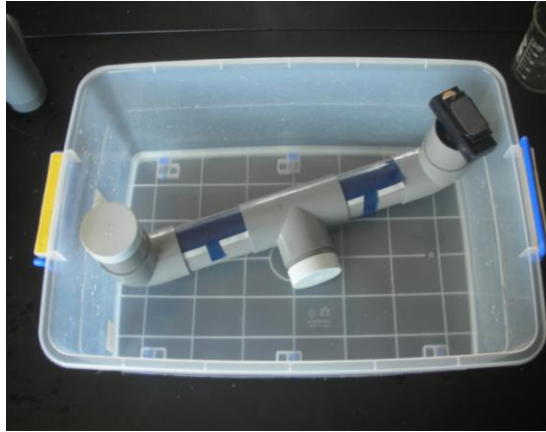
將紅娘華馴化 3 天 (12 hr 亮 12 hr 暗) 後，放入長度 75 cm 的壓克力盒，左邊透明(25 cm)、中間白色(25 cm)、右邊黑色(25 cm)，在中間白色盒的側面，開 3×8 cm 的開口做為放蟲的入口(圖十)，盒內注水 2 cm 深，將 5 隻經過 12 hr 暗室處理的紅娘華成蟲放入壓克力盒內置於日光下(78000 LUX)，靜置 10 分鐘後，紀錄蟲選擇的位置，再取 5 隻紅娘華重複實驗；再將 12 hr 光照處理的紅娘華放入壓克力盒內置於月光下(18 LUX)。取 20 隻二齡若蟲，以上述方法實驗，並記錄。



圖十：紅娘華在自然光之下進行趨光性的實驗

3. 在暗室中的趨光性實驗

實驗裝置是取 20 cm 的 T 型水管，兩端各接 15 cm 的水管，在 15 cm 水管各開一個 2×10 cm 的洞作為觀測紅娘華的觀察口，終端接 L 型水管，開口朝上，上方放置 LED(4800 LUX) 以為光源或加蓋(作為暗室)，T 型水管中間接 5 cm 長水管作為放置紅娘華的入口(圖十一)，將水管裝置放在 15×60 cm 水深 2 cm 的置物箱中，以光照 12 hr 處理的成蟲，靜置 10 分鐘後，紀錄紅娘華最後位置(圖十一)，每隔 30 分鐘後將光源左右對調再進行實驗，重複 2 次，每次將成蟲單獨實驗，不同成蟲重複 10 次，取 10 隻暗室 12 hr 處理的成蟲重複進行上述實驗。再取二齡若蟲 10 隻光照、10 隻暗室處理，以上述方法進行實驗。



圖十一：紅娘華在封閉空間趨光反應的實驗

(二)紅娘華對顏色的偏好

將紅娘華放有兩種不同顏色珍珠板的水族箱（圖十二），珍珠板共有白色、紅色、橙色、黃色、綠色、藍色、黑色，依交叉配對共 28 種組合方式。取 5 隻成蟲，將每隻在 28 種組合各實驗 5 次，觀察在 30 分後會待在哪一顏色的區塊，並記錄對顏色的偏好。



圖十二：紅娘華對顏色偏好的設計，每次有兩種不同顏色組合

(三)紅娘華對溫度的偏好

塑膠盆中，一邊放置定溫加溫管（30°C），另一邊放置冰磚（5°C），將一隻紅娘華任意放置，觀察 5 分鐘後朝哪一種溫度環境移動（圖十三），重複 10 次，記錄並計算移動比例。



圖十三：紅娘華對溫度偏好的設計

(四) 水深試驗

用底石堆成一個由水深 0 cm~12 cm 的斜坡，將紅娘華放入 3 天馴化待其適應環境，即開始觀測（圖十四）。將蟲自水最深處放入 30 分鐘後，測量紅娘華會選擇在水深幾公分處棲息，並記錄。取 5 隻成蟲紅娘華各自進行實驗。再將若蟲每齡各 5 隻重複上述實驗。



圖十四：紅娘華水深試驗中的水深測量

(五) 群聚性試驗

將 6 隻紅娘華成蟲平均放入塑膠盒(50x30x6 cm)的 6 個位子（圖十五），每隔 5 分鐘記錄一次位置，並記錄。取 6 隻二齡若蟲（圖十五）依上述方法實驗。



(A)



(B)

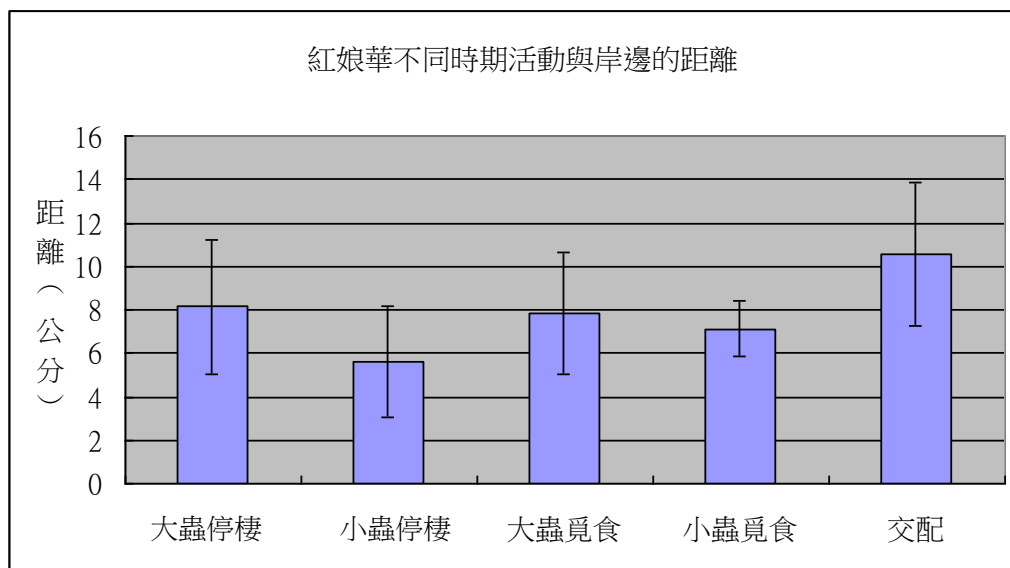
圖十五：紅娘華群聚性的實驗設計 (A) 成蟲群聚性的實驗 (B) 二齡蟲群聚性的實驗

伍、結果

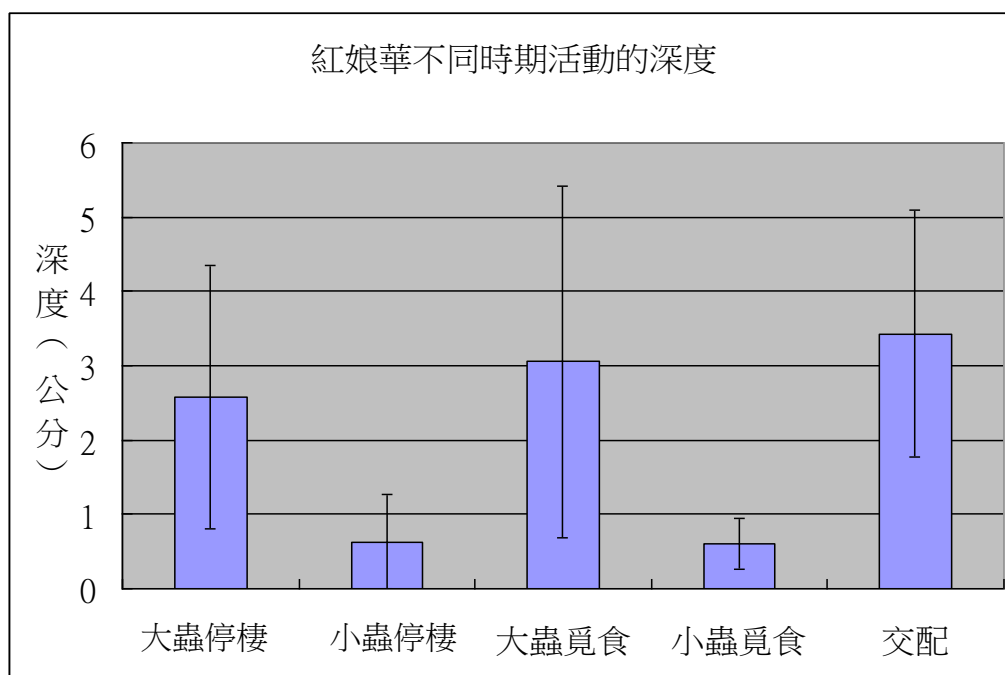
一、紅娘華的野外觀察

野外觀察的紀錄中，5 天內我們共發現了 213 隻的紅娘華，其中以第 5 日 20 時發現 31 隻為最多，推測池內的紅娘華族群應有 30 隻以上。在池中水位較深處沒有紅娘華族群出沒，而在岸邊水深 6 cm 以內處較常有紅娘華的出現，如編號 28、31、39、41、48、53、54 及 55 號的格子（如圖一 B），在 5 日的觀察中有超過 15 隻在此活動。根據測量結果發現，大蟲（四齡蟲至成蟲）會在距岸邊 8.13 ± 3.07 cm，深 2.58 ± 1.78 cm 處棲息；當有攝食行為，距離變為 7.83 ± 2.79 cm，深度變為 3.06 ± 2.36 cm；當有交配行為會在距離 10.50 ± 3.28 cm，深度 3.43 ± 1.66 cm 處進行（如圖十四、圖十五）。而小蟲（一齡蟲至三齡蟲）會在距岸邊 5.62 ± 2.57 cm，深

0.63±0.64 cm處棲息；當有攝食行為，距離變為 7.13±1.30 cm，深度變為 0.60±0.35 cm（如圖十六、圖十七）。發現紅娘華在大蟲時會距岸邊較遠、較深處棲息與攝食；而小蟲會在距岸邊較近、較淺處棲息與覓食。大蟲在停棲及覓食位置的比較是沒有差異的，而小蟲也是，顯示紅娘華在棲息時也會伺機覓食，就地捕捉獵物。但在距離方面，小蟲距岸邊棲息與覓食距離是有顯著差異，顯示小蟲可能會移動去尋找食物。當在交配時，紅娘華會選擇在距岸邊較遠、較深處進行（以 t-test 作統計分析，結果如表三）。



圖十六：紅娘華不同時期在野外活動與岸邊的距離

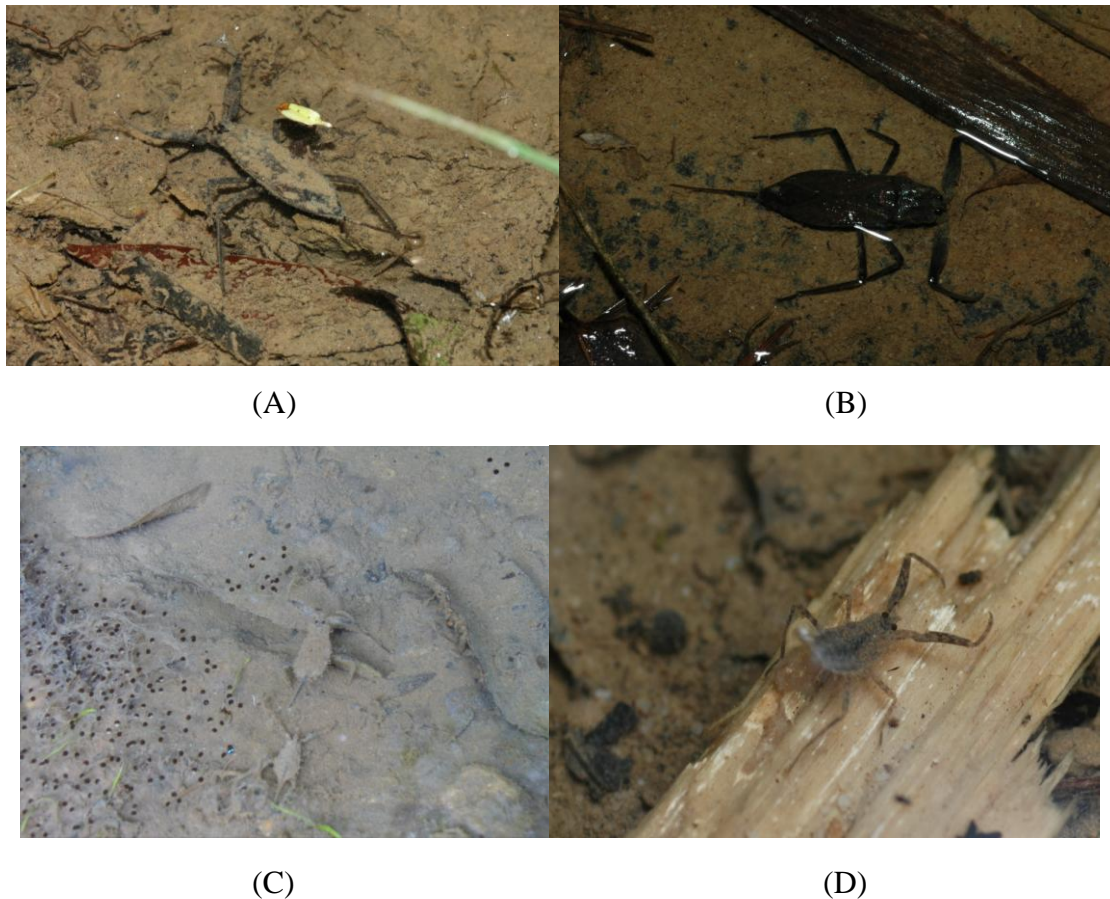


圖十七：紅娘華不同時期在野外活動的深度

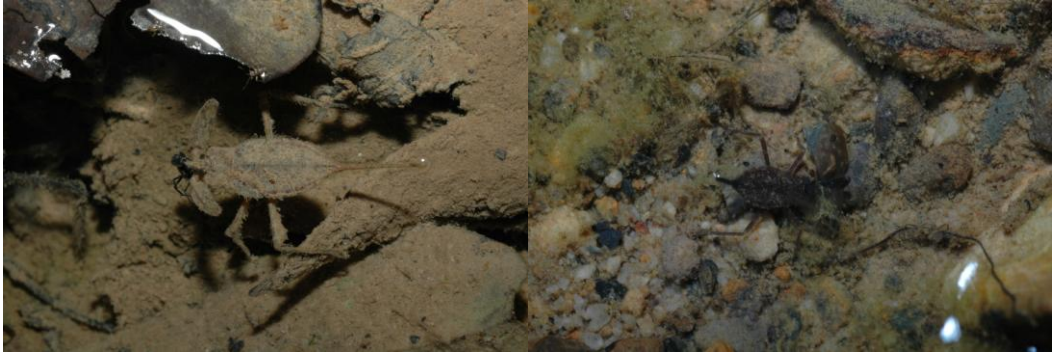
表三：野外觀察停棲距離及水深的統計分析（*為顯著***非常顯著）

	t 值	p
大蟲 & 小蟲棲息的距離	5.70***	3.15×10^{-8}
大蟲 & 小蟲棲息的水深	9.14***	7.32×10^{-15}
大蟲覓食 & 棲息的距離	0.40	0.34
大蟲覓食 & 棲息的水深	-0.81	0.21
小蟲覓食 & 棲息的距離	-3.10*	0.003
小蟲覓食 & 棲息的水深	0.23	0.41
大蟲交配 & 棲息的距離	-2.71*	0.006
大蟲交配 & 棲息的水深	-1.83*	0.03

在野外觀察發現紅娘華會藏在爛泥或腐爛的落葉堆中，隱藏自己不易被發現（圖十八）。紅娘華的食性非常廣，不僅會吸食蝌蚪，對於青蛙屍體還會一起聚集吸食，甚至是活的青蛙，紅娘華也會一起攻擊吸食；而對於掉入水中的昆蟲，如：蜻蜓、蚱蜢等也會加以吸食，甚至蜘蛛也不放過（圖十九）。紅娘華在交配時大部分會選擇較深較遠處，有些是腳可著地處，有些是漂浮的狀況交配，但都會將呼吸管露出水面進行呼吸（圖二十）。



圖十八：紅娘華棲息狀況 (A)(B) 為大蟲 (C)(D) 為小蟲



(A)

(B)



(C)

(D)



(E)

(F)

圖十九：紅娘華攝食情況 (A) 吸食蜘蛛 (B) 吸食蝌蚪 (C) (D) (E) 吸食青蛙 (F) 吸食蚱蜢



(A)

(B)

圖二十：紅娘華交配狀況 (A) 水深較淺 (B) 水深較深

二、紅娘華生活史各階段型態大小變化

(一) 卵的大小及呼吸角的長度

紅娘華產卵具有聚集的現象，一窩卵約有 7 到 25 顆。為白色長橢圓形（表四）。卵頂端有 8 根鞭絲狀的呼吸角，卵聚集且整齊排列（圖二十一）。孵化前會由白色轉變為粉紅色，約 7~40 天會孵化成一齡蟲。

表四：卵的外形尺寸大小

	卵重(g)	卵長(cm)	寬徑(cm)	呼吸角(cm)
平均	0.009±0.001	0.41±0.058	0.22±0.053	0.34±0.024



圖二十一：紅娘華的卵，頂端具有絲狀的呼吸角。

(二) 若蟲及成蟲的體長、呼吸管長、捕捉足長、口器長、翅長

一齡若蟲剛孵化時體色為鮮紅色，約半天後會轉變為深褐色（圖二十二、表五）。二齡若蟲剛蛻皮時為淡黃色，約 4 hr 後轉變為深褐色（圖二十三、表五）。三齡若蟲體色為深褐色，各足具暗褐色斑紋，翅芽已長出（圖二十四、表五）四齡（圖二十五、表五）與五齡若蟲（圖二十六、表五）體色皆為深褐色。成蟲的體型為長橢圓形，複眼明顯。獵物在前方時，便會迅速捕獲。成蟲具翅，可覆蓋整個腹部（圖二十七、表五）。



圖二十二：一齡若蟲



圖二十三：二齡若蟲



圖二十四：三齡若蟲



圖二十五：四齡若蟲



圖二十六：五齡若蟲



圖二十七：成蟲

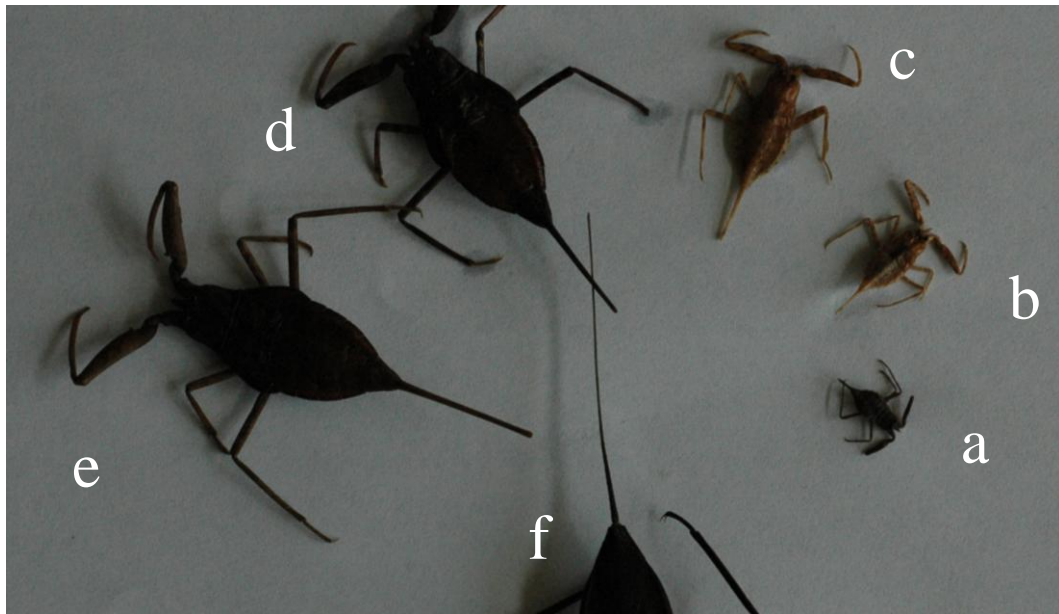
表五：各齡若蟲外型平均數值 (cm)，(%) 表示該器官佔體長的百分比

	體長(cm)	呼吸管長 (cm)	口器長 (cm)	捕捉足長 (cm)	蛻變到下齡 時間(天)
一齡若蟲	0.73±0.032	0.23(31%)±0.015	0.12(17%)±0.008	0.89(121%)±0.041	7~11
二齡若蟲	1.01±0.066	0.39(39%)±0.029	0.13(12%)±0.015	1.13 (111%)±0.082	8~14
三齡若蟲	1.52±0.047	0.64(42%)±0.037	0.17(11%)±0.014	1.49(97%)±0.086	10~13
四齡若蟲	2.18±0.117	1.19(54%)±0.190	0.19(8%)±0.017	2.20(100%)±0.111	13~15
五齡若蟲	3.01±0.159	1.79(59%)±0.109	0.25(8%)±0.025	2.72(90%)±0.072	25~29
成蟲	3.96±0.142	3.50(88%)±0.331	0.29(7%)±0.011	3.22(81%)±0.050	

由表三發現，紅娘華由一齡若蟲長至成蟲，平均體長約增大 5.4 倍。呼吸管長約增大 15 倍。捕捉足長約增大 3.6 倍。口器長約增大 2.4 倍。翅則是到三齡時才長出，長至成蟲才完整。研究發現紅娘華的呼吸管長與體長的比例，會隨齡期增加而逐漸增大的趨勢，而捕捉足長與口器長則隨齡期增加而有下降的現象。

三、紅娘華不同器官之呼吸管、捕捉足、口器異速生長

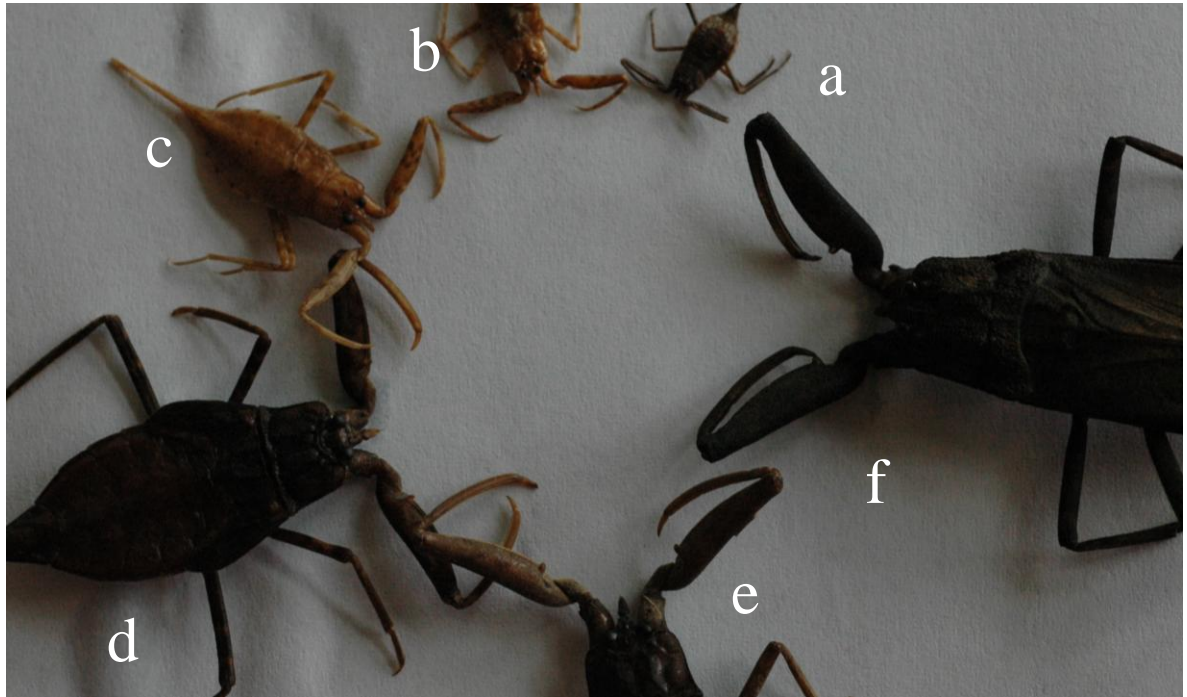
異速生長方程式的公式為 $y=ax^b$ ，其中 x 為自變量， y 為應變量， a 為異速生長常數， b 為異速生長指數。由測量可知，呼吸管的長度在一齡時是比體長來得短，而到了成蟲時，呼吸管會與體長等長，甚至比體長還要長（圖二十八）。而捕捉足長（圖二十九）與口器長（圖三十）會從佔體長比例較大，而變成佔體長比例較小。



圖二十八：呼吸管長的變化：(a)一齡若蟲 (b)二齡若蟲 (c)三齡若蟲 (d)四齡若蟲 (e)五齡若蟲 (f)成蟲



圖二十九：捕捉足的變化：(a)一齡若蟲 (b)二齡若蟲 (c)三齡若蟲 (d)四齡若蟲 (e)五齡若蟲 (f)成蟲



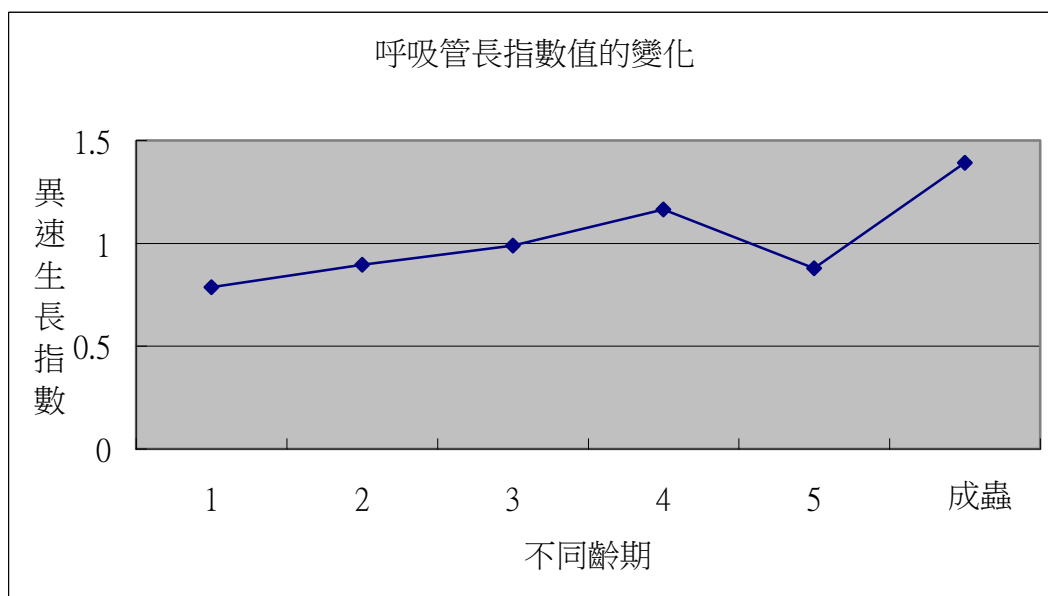
圖三十：口器長的變化：(a)一齡若蟲 (b)二齡若蟲 (c)三齡若蟲 (d)四齡若蟲 (e)五齡若蟲 (f)成蟲

表六：不同齡期，各器官的生長方程式

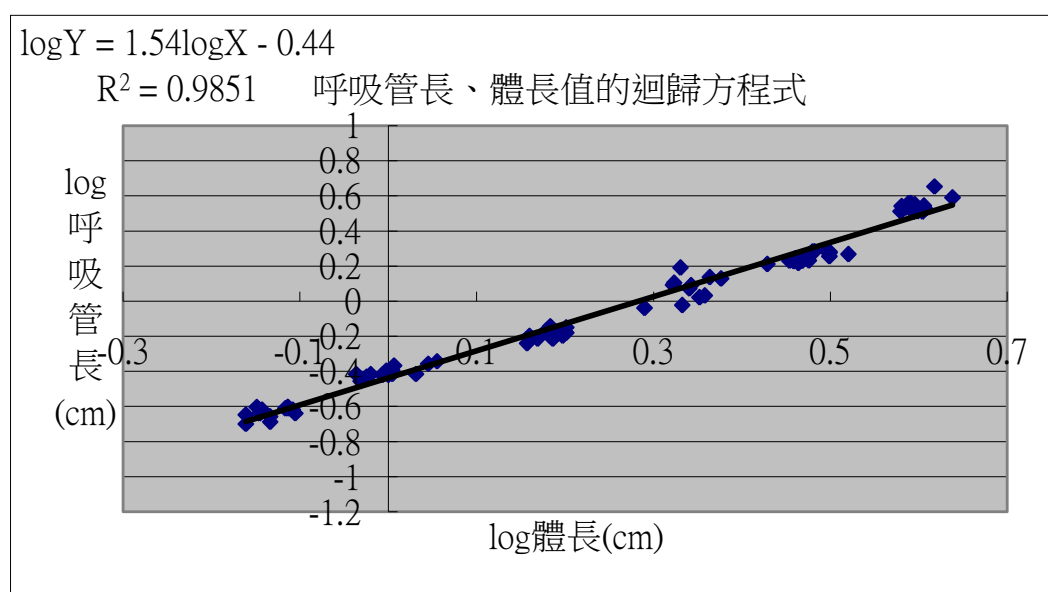
	呼吸管	捕捉足	口器
一齡若蟲	$Y=-0.529X^{0.787}$	$Y=0.019X^{0.508}$	$Y=-0.845X^{0.366}$
二齡若蟲	$Y=-0.404X^{0.895}$	$Y=0.049X^{0.591}$	$Y=-0.890X^{0.407}$
三齡若蟲	$Y=-0.370X^{0.989}$	$Y=0.150X^{0.129}$	$Y=-0.824X^{0.363}$
四齡若蟲	$Y=-0.321X^{1.164}$	$Y=0.295X^{0.139}$	$Y=-0.848X^{0.372}$
五齡若蟲	$Y=-0.167X^{0.878}$	$Y=0.326X^{0.226}$	$Y=-0.768X^{0.368}$
成蟲	$Y=-0.288X^{1.391}$	$Y=0.256X^{0.366}$	$Y=-0.780X^{0.411}$

(一) 呼吸管的生長方程式

經由計算不同齡期呼吸管的生長方程式（表六），發現呼吸管長的 b 值，從一齡到成蟲是逐漸增加，特別在五齡至成蟲的階段（圖三十一）。將所有蟲體數據作對數迴歸方程式，得到 $\log Y = 1.54\log X - 0.44$ ($R^2=0.99$, $p<0.001$)。因 $b>1$ ，所以呼吸管長對體長為正的異速生長（圖三十二），顯示呼吸管長在蛻皮後的成長速度是相對快速的。



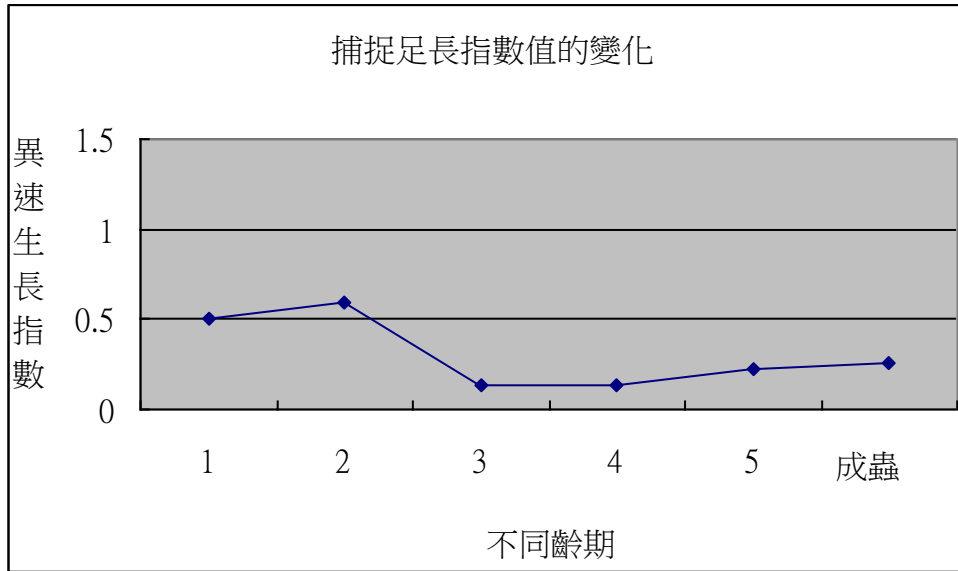
圖三十一：呼吸管長指數值的變化（b 值）



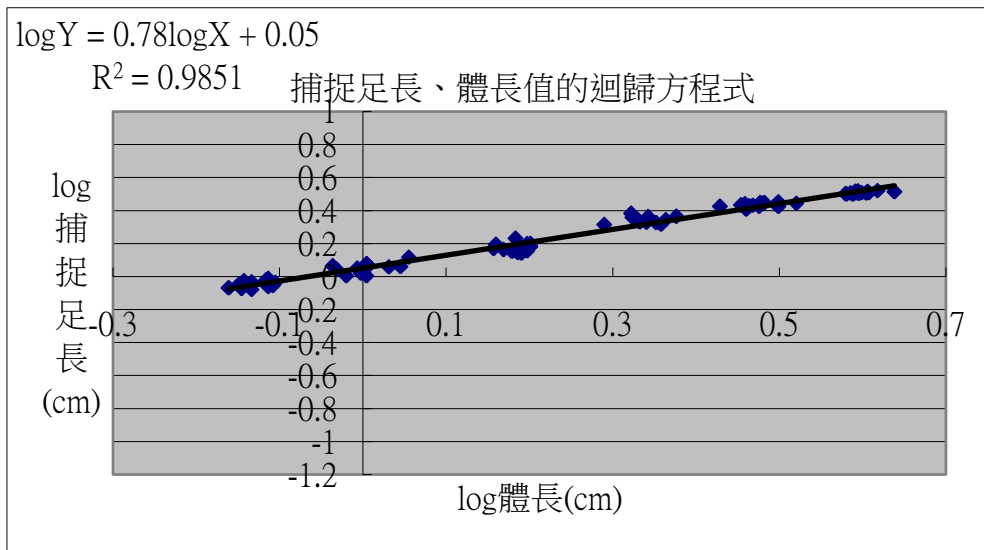
圖三十二：呼吸管長、體長值的迴歸方程式

(二) 捕捉足的生長方程式

計算不同齡期捕捉足的生長方程式(表六)。發現 b 值在二齡至三齡時有比較大的變化(圖三十三)。將所有蟲體數據作對數迴歸方程式,得到 $\log Y = 0.78\log X + 0.05$ ($R^2=0.99, p<0.05$), $b<1$, 所以捕捉足對體長為負的異速生長(圖三十四), 顯示捕捉足在蛻皮之後的生長速度是相對變慢。



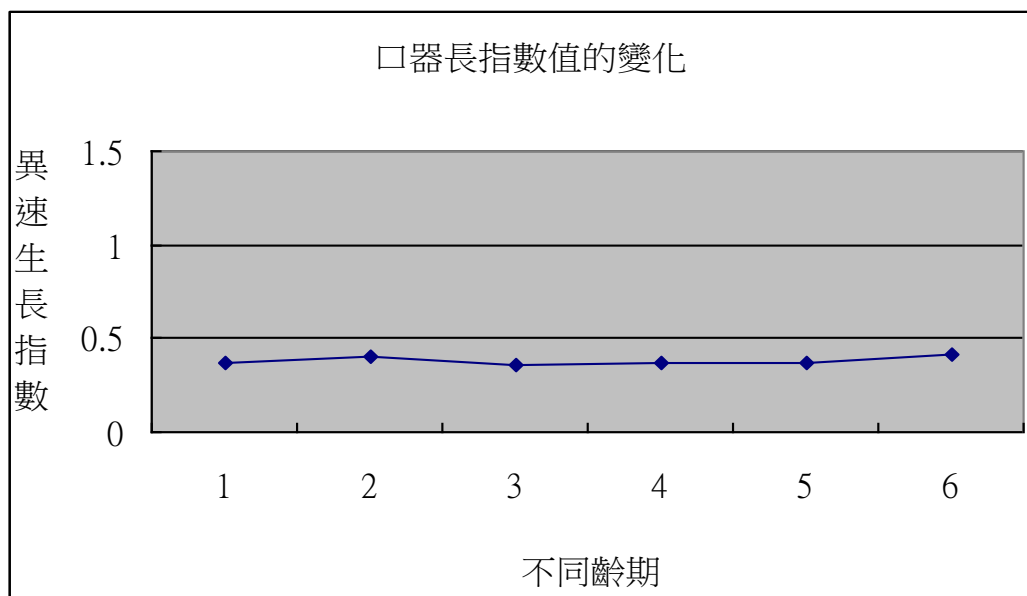
圖三十三：捕捉足長指數值的變化 (b 值)



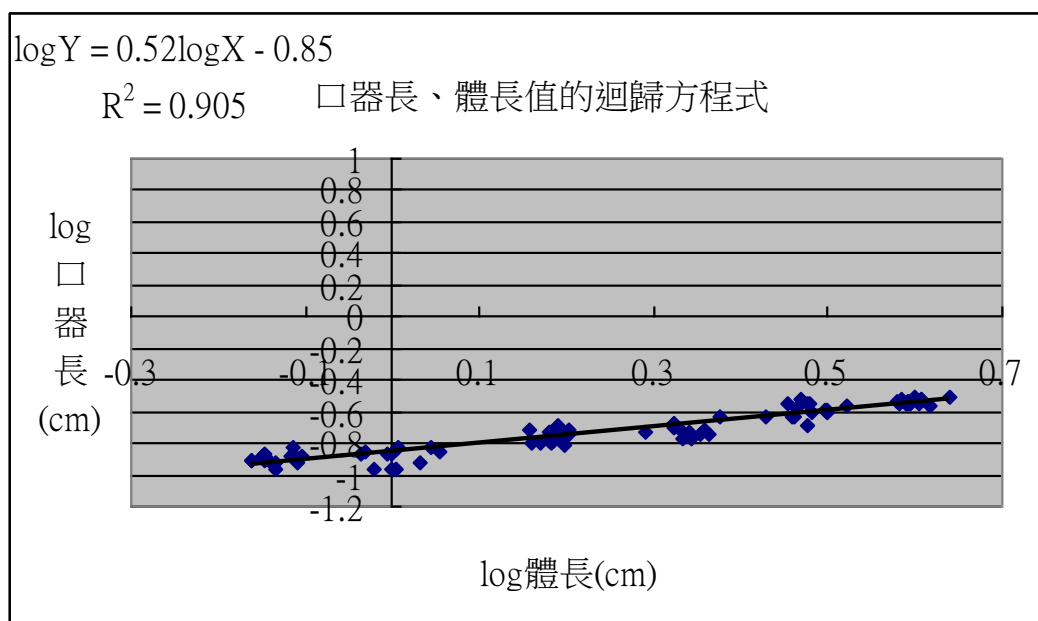
圖三十四：捕捉足長、體長值的迴歸方程式

(三) 口器的生長方程式

計算不同齡期口器的生長方程式(表六)。發現不同齡期 b 值趨近於平緩(圖三十五)將所有蟲體數據作對數迴歸方程式，得 $\log Y = 0.52\log X - 0.85$ ($R^2=0.91$ ， $p<0.001$)。b<1，是負的異速生長(圖三十六)，表示口器在蛻皮之後的生長速度是相對變慢。



圖三十五：口器長指數值的變化 (b 值)

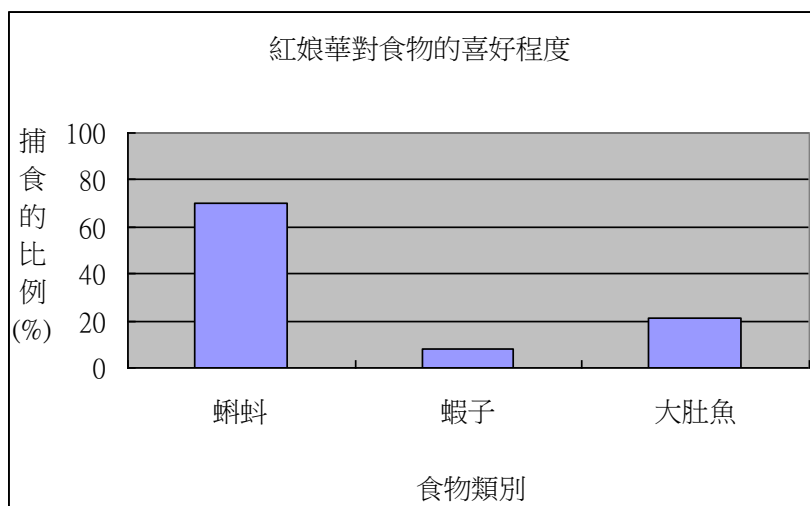


圖三十六：口器長、體長值的迴歸方程式

四、紅娘華對覓食的偏好、振動的選擇、氣味的偏好、獵物形狀的感應

(一)覓食選擇

由實驗發現紅娘華比較喜歡吃蝌蚪（圖三十七），這和野外的觀察是相類似的，可能是蝌蚪的活動比魚慢，而蝦子有殼較堅硬難捕食，所以會偏好蝌蚪。

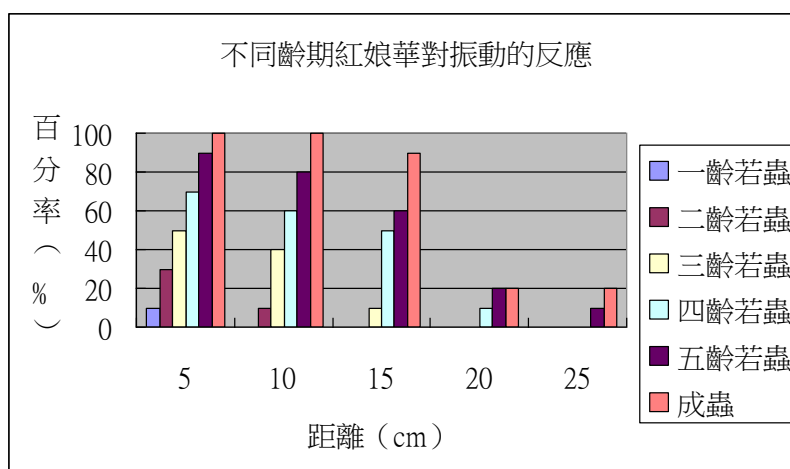


圖三十七：紅娘華對食物的喜好程度

(二)振動選擇

1. 紅娘華對振動的感應

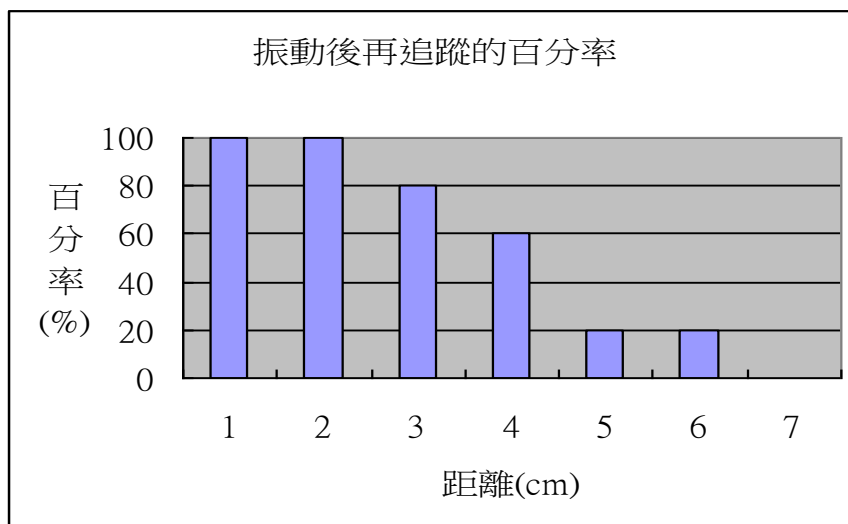
由實驗得知，在距離振源 15 cm 以內，隨齡期的增加，對振動源的反應亦隨之增加（圖三十八）。在距離振源 20、25 cm，僅剩四齡蟲至成蟲對振動源有反應（圖三十八）。就不同齡期而言，一、二齡蟲因體型小，可能因懼怕振動，而有逃避的行為，在距振源 5 cm 時，有 10 %-30 % 往反應物移動的機率；距離振源超過 15 cm 時，則沒反應（圖三十八）。三、四齡蟲對振動感應範圍加大，往反應物移動的機率也較高，對距振源 5 cm 到 15 cm 都有反應，且是往反應物方向移動，但對於距振源 20 cm 僅有 10 % 的反應。五齡及成蟲，往反應物移動的機率增加，對於離振源 25 cm 也有反應（圖三十八）。所以，紅娘華四齡後對於 15 cm 以內的會有 50 % 以上的感應。



圖三十八：不同齡期紅娘華對振動的反應

2.紅娘華振動源再搜尋的能力

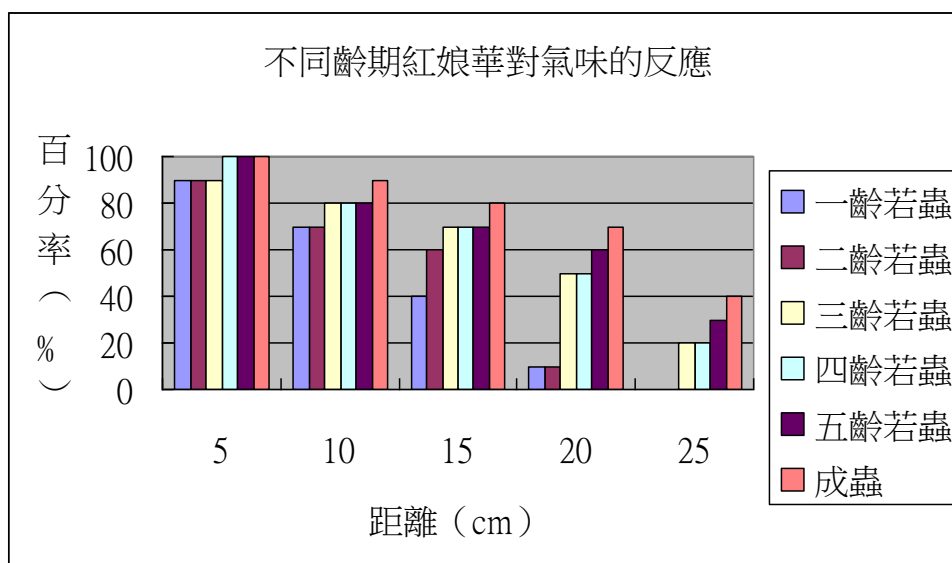
由結果發現紅娘華對於振動後再搜尋的能力在 2 cm內有 100 %的成功機率；對距離 7 cm以外的振動點，完全不會前去追捕（圖三十九）。所以，發現紅娘華對於振動後再搜尋的能力，在距離 6 cm內具有再追捕反應（圖三十九）。



圖三十九：紅娘華成蟲對振動源再追蹤的能力

(三) 氣味偏好

由實驗結果發現，當食物在 10 cm內，一齡蟲到成蟲，對氣味都有很高的反應，佔 70 %-100 %。當食物在 15 cm時，除了一齡蟲外(40 %)，其他各齡蟲都超過 50 %以上都有正確的反應(60 %-80 %)。當食物在 20 cm時，除了一、二齡蟲外(10 %-30 %)，其他各齡蟲對食物都產生較大的感應(50 %-70 %)。在 25 cm時，一齡蟲對氣味沒有反應，隨紅娘華齡期越大對氣味的感應增加，由 20 %增為 40 %。顯示紅娘華不論在任何齡期，對氣味都有明顯的反應（圖四十）。



圖四十：不同齡期紅娘華對氣味的反應

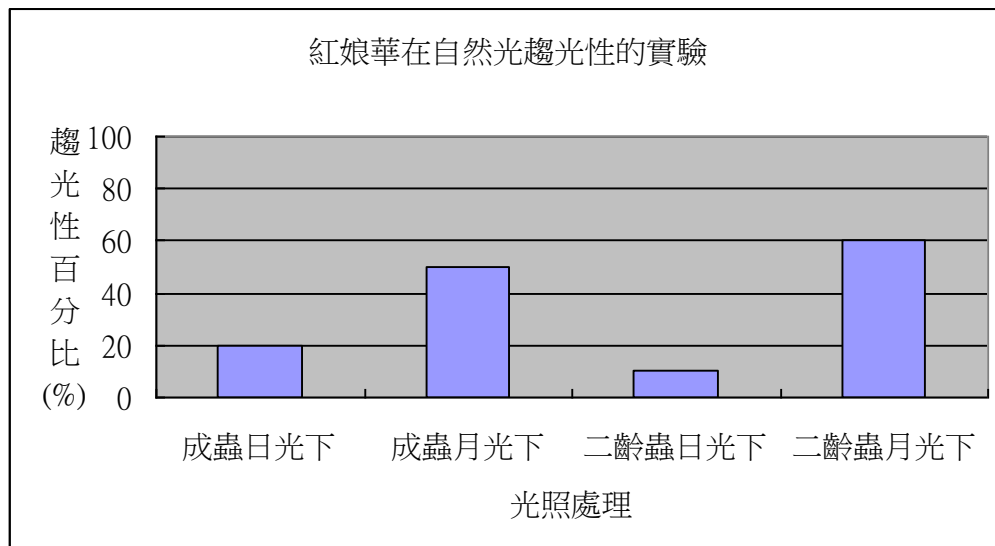
(四) 獵物形狀選擇

由實驗結果發現，紅娘華對不同形狀的獵物，在任何距離皆沒反應。

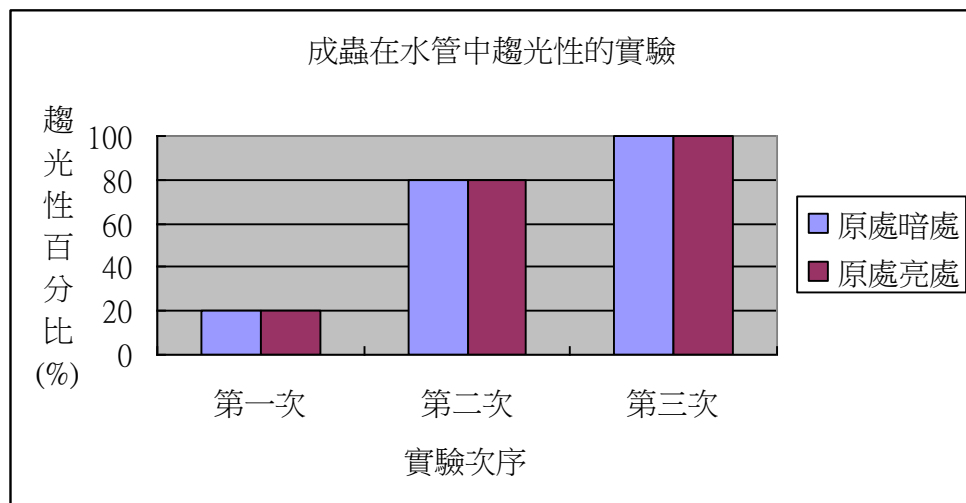
五、紅娘華成蟲對棲息環境之顏色、光線、溫度、水深或聚集性之偏好

(一) 光線試驗

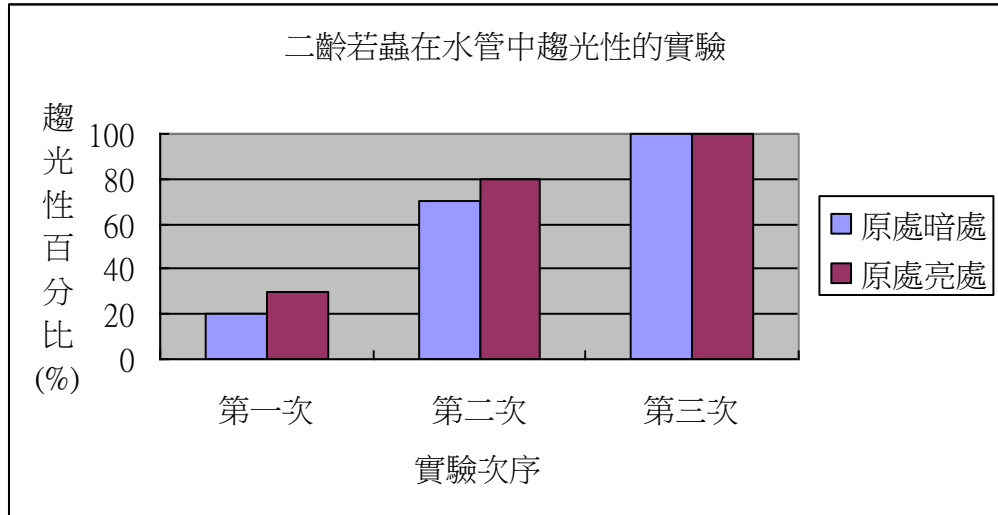
由人造光實驗發現，紅娘華會選擇到暗處(100%)。而自然光實驗發現，不管成蟲或二齡蟲在日光下皆是負的趨光性，而在月光下會有 50%以上為正的趨光性（圖四十一）。而暗室中的實驗，不論是暗室或光照處後的紅娘華，在第一次實驗 90%為負的趨光性，這可能和適應有關（圖四十二）。而第二次調換光源位置後，有 70%以上會選擇正趨光性。而第三次有把光源左右調換 100%正趨光性。由以上實驗，發現紅娘華當周圍都有光是時是負趨光性；而當環境全暗時會有正趨光性。顯示紅娘華在白天有負趨光性而在夜晚有正趨光性的現象。



圖四十一：紅娘華在自然光中的實驗



(A)



(B)

圖四十二：紅娘華在水管中的實驗 (A)成蟲 (B)二齡若蟲

(二) 顏色試驗

由實驗發現，紅娘華對顏色的偏好依序為黑色>藍色>綠色>黃色>橙色>紅色>白色，由實驗結果發現紅娘華比較偏好在暗色的地方（表七）。

表七：紅娘華對顏色的偏好

	白	紅	橙	黃	綠	藍	黑
白							
紅	紅						
橙	橙	橙					
黃	黃	黃	黃				
綠	綠	綠	綠	綠			
藍	藍	藍	藍	藍	藍		
黑	黑	黑	黑	黑	黑	黑	黑

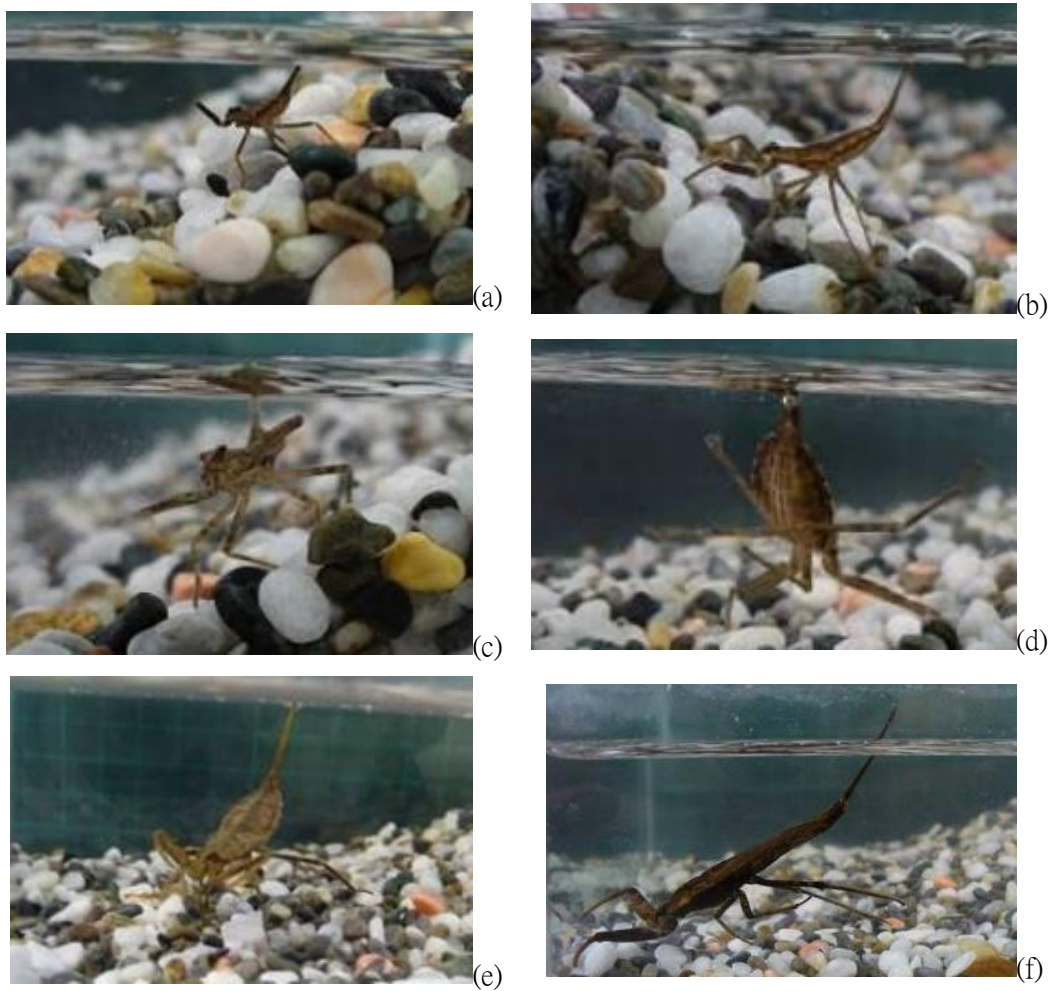
註：表中的顏色是指在五次的實驗中，偏向顏色較多者。

(三) 溫度試驗

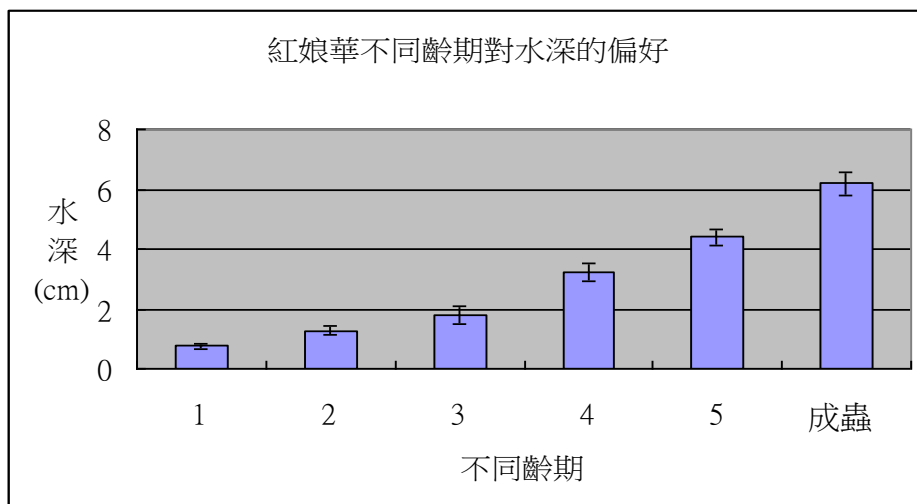
由實驗結果發現，紅娘華對不同溫度的環境沒有明顯的反應，並不會往熱源或冰源，只保持靜止的狀態。推測紅娘華對溫度的選擇，沒有特別的偏好。

(四) 水深試驗

經由實驗結果發現，一齡紅娘華較常躲避在水深約 0.76 cm 的地方，二齡則是在水深約 1.26 cm 的地方，三齡在水深約 1.80 cm，四齡在水深約 3.24 cm，五齡在水深約為 4.4 cm，成蟲在水深約 6.20 cm（圖四十三）。紅娘華棲息的水深，隨著齡期增加而加深（圖四十四）。推測與呼吸管長增長是相關的。



圖四十三：不同齡期紅娘華在不同水深棲息情形(a)一齡若蟲 (b)二齡若蟲 (c)三齡若蟲 (d)四齡若蟲 (e)五齡若蟲 (f)成蟲



圖四十四：紅娘華不同齡期停留水深

(五) 聚集性試驗

由結果發現，成蟲紅娘華會先到處亂跑，過程中數隻會先聚在一起，但很快就會分開，每一隻會跑至一個位置，與其他紅娘華保持一定距離 (表八)。

紅娘華二齡若蟲會先亂跑，但 5 分鐘後會出現聚在一起的情形，隨著時間的增加，有聚集的現象 (表九)。

表八：成蟲紅娘華的聚集情形

經過時間	聚集形式 (隻)
5 分鐘	3, 2, 1
10 分鐘	2, 2, 2
20 分鐘	3, 2, 1
30 分鐘	4, 1, 1
40 分鐘	3, 1, 1, 1
60 分鐘	1, 1, 1, 1, 1, 1

表九：二齡若蟲紅娘華的聚集情形

經過時間	聚集形式 (隻)
5 分鐘	1, 1, 1, 1, 1, 1
10 分鐘	2, 2, 2,
20 分鐘	3, 2, 1
30 分鐘	2, 2, 1, 1
40 分鐘	3, 2, 1
60 分鐘	4, 2

陸、討論

氧氣獲得對於生物很重要，特別對水生昆蟲而言，是生存的大事，紅娘華的呼吸管是獲得氧氣的構造。由何(2003)發現龍蟲在幼蟲階段時有一根短小的呼吸管，但到成蟲時卻改為氣泡來呼吸，這種型態的改變，與本研究的紅娘華是相反的。紅娘華在一齡時，呼吸管僅牠身長的一半 (表五)，活動範圍受到限制，只能在岸邊或淺水處搜尋食物，這也和我們觀察紅娘華水深的棲息偏好結果相同 (圖四十四)。而對於落到水面上的昆蟲產生的振動，一、二齡若蟲一開始有逃避的行為，等到振動趨緩時才前往捕食，到了成蟲，呼吸管的長度相對變長之後，對振動有明顯反應會主動追擊 (圖三十八)。推測這是因為牠為了更能前進深水處去捕食落到水面上的昆蟲，而需要更長的呼吸管以幫助呼吸。而且我們也發現

成蟲沒有群聚性（表八），似乎有自己的領域範圍。呼吸管的增長不但能增加自己的活動範圍，還能加大自己的領域。

捕捉足的功能是嚇退敵人、捕捉食物和求偶，這在許多節肢生物上可以看到。田鱉的外型與紅娘華相近，也都利用特化的捕捉足獵取食物，但是田鱉的捕捉足由何(2003)發現會隨著體長增長而有越變越大的趨勢，但我們研究的紅娘華卻與之相反，紅娘華的捕捉足隨著齡期增加，在比例上反而有減小的趨勢（表五；圖二十九）。我們推測可能是因為牠的覓食方式和棲息環境的影響，若蟲為了生存，會主動去獵取食物，捕捉足在此階段很重要，所以佔身體比例較大，但活動範圍可能會受到呼吸管的限制。紅娘華到四齡時，呼吸管的長度增長，能到更深的水處，活動範圍增大，不必再主動去尋找食物，可能轉變成待在某處，且可利用泥土來掩蓋身形，等待獵物經過再出奇不意的抓住，但活動範圍會因為呼吸管長度受限制這可由野外觀察發現，捕捉足太大反而對它的覓食行動會造成一些不便。在這時的呼吸管已接近體長，能夠待的地方更為廣大，所以食物來源也更加寬廣。身體的增長能儲存較多的能量，且昆蟲成長的主要目的是繁衍下一代，所以昆蟲的傳宗接代比獲取食物更重要，因而對食物的需求也逐漸下降。綜合這些原因，捕捉足的成長就漸趨緩慢。昆蟲的口器因生活空間、食性不同有多樣性，就進而發展了好幾種方式，例如：咀嚼式、刺吸式…等；而紅娘華的口器屬於刺吸式，用以刺穿動物的組織，跟牠類似的有：田鱉、蚊子等。根據陳（2006）發現小紅姬緣椿象的口器隨著齡期增長有逐漸增大的趨勢，到了成蟲階段大約是體長的 $1/2$ 至 $2/3$ 長，這與本研究的紅娘華有明顯的不同（表五；圖三十），紅娘華在一齡至四齡的口器約佔身長的 $1/5$ ，經異速生長公式計算 $b < 1$ ，為負異速生長，其原因可能是四齡後的紅娘華體長、呼吸管增長，就可增加覓食、領域範圍；口器僅用於攝食，並沒有相對的增大。

根據本研究所觀察各齡期器官的生長變化發現，紅娘華的不同器官產生生長速度變化的時間點並不相同。以呼吸管來說，隨著齡期增加有逐漸增大的趨勢，但變化最劇烈的時期是在五齡蛻變為成蟲的階段（表五；圖二十八）。捕捉足的部份，在二齡蛻變為三齡蟲的階段，產生了明顯的變化（表五；圖二十九），捕捉足原本是大於體長的，但在三齡蟲之後相對的變小了。口器的部份，雖也有相對縮小的趨勢，但沒有明顯的轉折點（表五；圖三十）。因此，我們推論紅娘華從若蟲長為成蟲的過程，不同器官相對於體長的生長速度並不相同，有些器官會變得顯著（例如：呼吸管），有些器官在幼小階段所佔的比例很大，但隨著齡期增加反而相對的變小了（例如：捕捉足），但發生改變的時間點並不一致，這可能與每個階段需求不同有關。在一至二齡蟲的階段，主要目的是生長，對食物的需求很強烈，因此捕捉足在此時相對的重要，對獵物的搜索主要憑藉著食物的氣味，對於振動表現出退縮的現象，並偏好與其他若蟲群聚在一起，以獲取最大的生存機會。到了成蟲階段，覓食方式由「躲避」轉為「追擊」再變成「等待」，我們推測，有這樣的改變，可能是若蟲剛從卵孵出來，呼吸管長度不夠只能待在淺水處，而又急需能量，只好尋求主動覓食；到了成蟲階段，呼吸管增長、停棲

範圍增廣使牠可以待在較深處等待獵物，且可捕捉較大的獵物，因體型變大也能儲存較多能量，可以間隔較久時間再進食，而由棲地選擇的結果來看，紅娘華喜愛停棲較暗處，且由實驗結果發現日間具有負趨光性、夜間具有正趨光性的現象，而這個現象與我們野外所觀察的現象是一致的。在野外我們發現成蟲在夜晚時會有向手電筒所射出的光線移動的行為，而且在夜間較容易看見成蟲出來活動且有在淺處覓食、交配的行為，而在日間會有躲避在樹葉、泥土裡的現象，我們推測這個現象與呼吸管的生長速率是有相關性的。而在成蟲階段，生殖更顯重要，增長的呼吸管有助於建立領域範圍，並且有助於紅娘華在水中交配成功。

柒、結論

- 一、野外觀察紅娘華棲息、攝食的深度及與岸邊距離，發現大蟲（四齡蟲至成蟲）時與小蟲（一齡蟲至三齡蟲）相比較，當棲息及攝食行為時會在較深及離岸邊較遠的距離進行，而在交配時會在深度更深，離岸邊更遠的地點進行。
- 二、紅娘華呼吸管的生長公式為 $\log Y = 1.54\log X - 0.44$ ，呈現正異速生長，在四齡有明顯的變大；捕捉足的生長方程式 $\log Y = 0.78\log X + 0.05$ ，呈現負異速生長，在二至三齡有明顯的變小；口器的生長方程式 $\log Y = 0.52\log X - 0.85$ ，呈現負異速生長，相對於體長，生長比例變化較小。
- 三、紅娘華在食物的偏好較偏愛蝌蚪，一、二齡蟲對於振動體，有逃避的行為，四齡蟲之後對於振動體開始有追捕的現象，對於食物的振動與氣味有明顯的感應，對於食物的形狀就無感應。
- 四、紅娘華在日間為負趨光性，夜間為正趨光性，喜歡棲息在顏色較深的地方，若蟲有群聚性的行為，但到了成蟲就不具有群聚性，最深棲息位置約在水深 6 cm 處。
- 五、由異速生長對覓食方式及棲息環境來看，紅娘華在不同齡期的若蟲器官成長的速度是不一致的，而他改變的目的就是為了獲得更大的活動範圍與食物來源。

捌、參考文獻

- (一)吳怡欣、何嘉浩、楊平世。2000。日本紅娘華之形態與生活史研究。動物園學報 12, 1-12。
- (二)何健鎔。2003。椿象。親親文化事業有限公司。279 頁。
- (三)林幸鈺。2008。台灣紅娘華與大紅娘華之基礎生物學研究。國立嘉義大學生物資源學系研究所碩士論文, 97 頁。
- (四)顏月珠。2006。第十章：回歸與相關。商用統計學。三民書局。
- (五)陳緬鈴、許婷雯。2006。國王的新衣—小紅姬緣椿象的研究。中華民國第四十六屆中小學科學展覽會作品說明書。

【評語】 030310

本作品係針對紅娘華(Laccotrephes) 的型態變化與棲息生態之關係進行研究觀察，研究成果顯示：紅娘華之器官加速生長與停棲環境之選擇有相關，其觀察詳盡符合科學分析亦具邏輯性，是一項優秀的作品；但如果能再針對紅娘華更具創新性的特質，再進行觀察研究，會更增加作品的品質。