

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生物（生命科學）科

第三名

最佳團隊合作獎

040724

微觀紅娘—紅娘華微構造的異速生長

學校名稱：國立臺中第二高級中學

作者： 高一 賴玫秀 職一 黃郁真	指導老師： 林宜潔 徐敏益
-------------------------	---------------------

關鍵詞：台灣紅娘華、異速生長、微構造

微觀紅娘-紅娘華微構造的異速生長

摘要

本實驗測量不同齡期紅娘華的體長、呼吸管長、捕捉足長，並使用異速生長方程式計算，發現呼吸管相對於體長是正的異速生長，捕捉足相對於體長是負的異速生長。利用電子顯微鏡觀察發現，呼吸管上有兩種微構造，其中微鱗毛會隨著齡期而增加，但捕捉足上的微鱗毛變化不大，顯示呼吸管的微鱗毛可能會增加浮力。以水分不同環境飼養結果發現，缺水環境會使紅娘華呼吸管外部微鱗毛減少，但呼吸管內部的細毛並未減少，顯示呼吸管對於生存是很重要。如此外觀的改變，使得棲息位置會越往水深處移動，以獲得更大的安全。

壹、研究動機

我們自國中開始，就對紅娘華很有興趣，對於牠的生活習性也多加以實驗觀察，而發現許多很驚奇的地方，讓我們高中時仍想繼續深入研究，而到底紅娘華這種昆蟲到底還隱藏著什麼樣的秘密等待我們去發現？紅娘華是不完全變態的昆蟲，生活週期中沒有像完全變態的昆蟲有蛹這樣大轉變的類似階段，但是外部形態的變化是顯而易見的；所以本研究欲利用異速生長方程式來探討這個問題。然而在文獻中發現，現今還沒有研究將異速生長應用在不完全變態的昆蟲上，因此藉由測量紅娘華的覓食相關器官：呼吸管、捕捉足，來探討是否有異速生長的現象，並且藉由電子顯微鏡來深入探討微構造是否也有異速生長的情況。

貳、實驗目的

- 一、探討紅娘華生活史各階段型態大小變化，若蟲及成蟲體長、體寬長度、呼吸管長度、捕捉足長度、口器長度。
- 二、探討紅娘華不同器官之呼吸管、捕捉足的異速生長情形。
- 三、探討紅娘華呼吸管、捕捉足的微構造生長情形。
- 四、探討紅娘華在水分不同的情況下外型及微構造的異速生長。

參、研究材料及實驗原理

一、實驗器材

本實驗所使用的器材如下：

器 材	數量
(一)尺 (30cm)	一把
(二)水苔	半包
(三)塑膠盆(大的)	五個
(四)水族箱(大、小)	各一
(五)游標尺	一組
(六)解剖顯微鏡	一臺
(七)電子顯微鏡(SEM)	一臺

二、紅娘華的相關研究

台灣紅娘華 (*Laccotrephes gossus*) 屬於昆蟲綱(Insecta)半翅目(Hemiptera)蠍椿科(紅娘華科, *Nepidae*)，是肉食性夜行水棲的不完全變態昆蟲。其腹部末端附器特化成為細而長的呼吸管，可藉以伸到水面上呼吸。前足則呈鐮刀狀的捕捉足，用以在水中捕食小魚及蝌蚪，再以刺吸式的口器吸食獵物的體液為食。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。台灣目前對於水棲昆

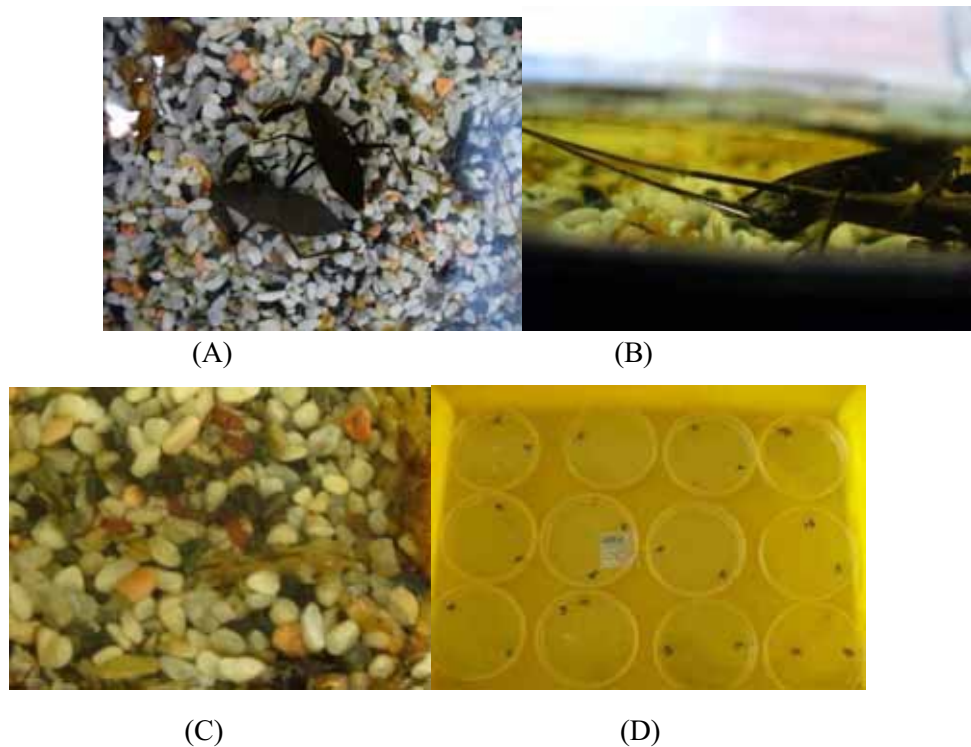
蟲的生態研究很缺乏，現有的研究大多為資源分布調查，僅有少部分昆蟲有生物學的研究。台灣的蠍椿科根據吳(2003)及 Philhemu (1995) 整理，已記錄有 11 種，其中紅娘華屬有 5 種，分別為 *Laccotrephes japonensis*、*L. gossus*、*L. robustus*、*L. maculatus*、*L. griseus*。目前吳等(2000)針對日本紅娘華 (*Laccotrephes japonensis*)，及林(2008)對台灣紅娘華 (*Laccotrephes gossus*) 與大紅娘華 (*Laccotrephes obudtus*) 進行分類的研究。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。

肆、實驗步驟

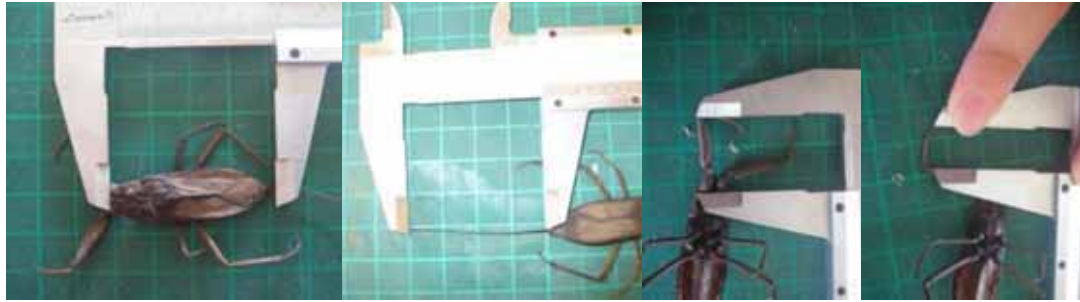
實驗一、紅娘華生活史各階段型態大小變化之量測

在蓮華池附近的積水池，捕捉 10 隻紅娘華在實驗室中飼養(圖一)。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、體寬、呼吸管、捕捉足與口器的長度(圖二)，並記錄各時期的蛻皮情形，每齡蟲各量測約 15 隻的紅娘華。



圖一：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)

圖二：(A) 紅娘華體長長度的測量，(B) 紅娘華呼吸管長度的測量，(C) 紅娘華捕捉足長度的測量。

實驗二、紅娘華不同器官之呼吸管、捕捉足異速生長之探討

(一) 異速生長方程式的意義

據 Huxley(1924)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(allometry)。例如鍬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。Huxley 和 Teissier 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) 方程式說明：

異速生長(allometry)方程式為 $y=ax^b$ ，依據顏(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 $y=ax^b \rightarrow \log y = \log a + b \cdot \log x$ ，將兩邊取以 10 為底數的對數。

(三) 方程式的統計分析

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：

$$\text{樣本迴歸方程式為 } y = ax^b$$

$$\log y = \log a + b \cdot \log x$$

$$\begin{cases} \Sigma \log y = n \log a + b \Sigma \log x \\ \Sigma (\log x \log y) = \log a \Sigma \log x + b \Sigma (\log x)^2 \end{cases}$$

(四) 將捕捉足比照上述方法，計算出不同齡期的異速生長方程式。

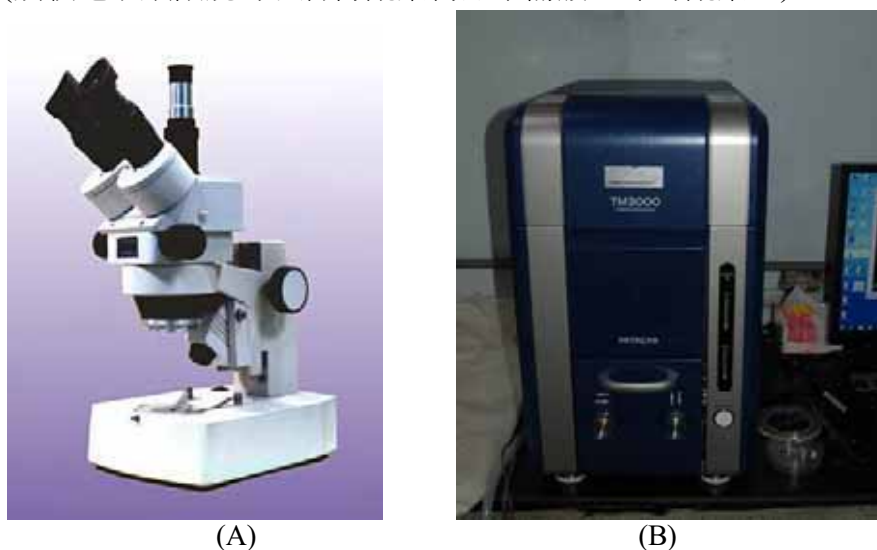
實驗三、紅娘華不同器官之呼吸管、捕捉足顯微構造之探討

(一)解剖顯微鏡觀察：

使用解剖顯微鏡(Motic)觀察不同齡期紅娘華的呼吸管及捕捉足，並使用電子目鏡加以拍照記錄，並比較不同齡期的差異（圖三 A）。

(二)電子顯微鏡觀察：

先將不同齡期冷凍乾燥，然後使用掃描式電子顯微鏡(Hitachi TW3000, Japan)觀察不同齡期紅娘華的呼吸管及捕捉足，並拍照記錄，並比較不同齡期的差異(圖三 B)。(該款電子顯微鏡可以將待觀察物品不需鍍金即可觀察。)



(A) (B)
圖三：觀察工具 (A) 解剖顯微鏡 (B) 電子顯微鏡觀察。

實驗四、紅娘華成蟲及若蟲因器官構造的改變而有的變化

(一)水深試驗：

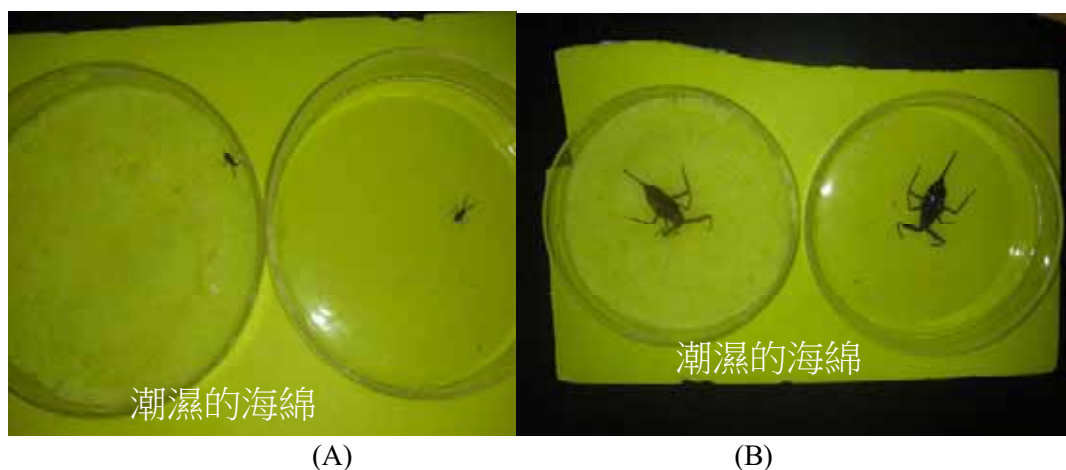
先用底石以不同高度堆成一個由水深 0 cm~12 cm的斜坡，再將紅娘華放入三天，待其適應環境能捕食時，即開始進行觀察（圖四）。觀察 30 分鐘後，測量紅娘華會選擇在水深多少公分處棲息，並記錄下來。取 5 隻紅娘華各自進行實驗。再將一至五齡若蟲各 5 隻重覆上述實驗，並紀錄。



圖四：紅娘華水深試驗中的水深測量。

(二) 水分減少狀況下，二齡蟲及成蟲在蛻皮後的變化：

將一齡蟲 3 隻分別飼養在潮濕海綿上（圖五 A），供給充分食物，另將 3 隻一齡蟲飼養在水分充足的培養皿中，待其蛻皮後，量測二齡蟲的體長、呼吸管長及捕捉足長，並將其冷凍乾燥，以電子顯微鏡觀察呼吸管外部、內部及捕捉足上微鱗毛的變化；然後再將電顯圖片以 A4 大小列印輸出，計算任意 3x3 平方公分內的微鱗毛數目，再以照片上比例尺換算出每 1mm² 有多少根微鱗毛，每隻蟲隨機取三部位計算平均值；實驗中並以游標尺測量微鱗毛長度，同樣以比例尺換算長度，每個部位任取 3 根，計算平均值。不同水分環境飼養的二齡紅娘華，利用 t-test 檢定計算彼此的差異。再將 6 隻五齡蟲比照上述方法實驗觀察（圖五 B）。



圖五：不同水分飼養的環境 (A)一齡水分不同的飼養實驗。(B) 五齡水分不同的飼養實驗。

伍、結果

一、紅娘華生活史各階段型態大小變化

(一) 若蟲及成蟲的體長、體寬長、呼吸管長、捕捉足長

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。二齡若蟲剛蛻皮時為淡黃色，約 4 hr 後轉變為深褐色。三齡若蟲體色為深褐色，各足具暗褐色斑紋，翅芽已長出。四齡與五齡若蟲（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（圖六）。



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



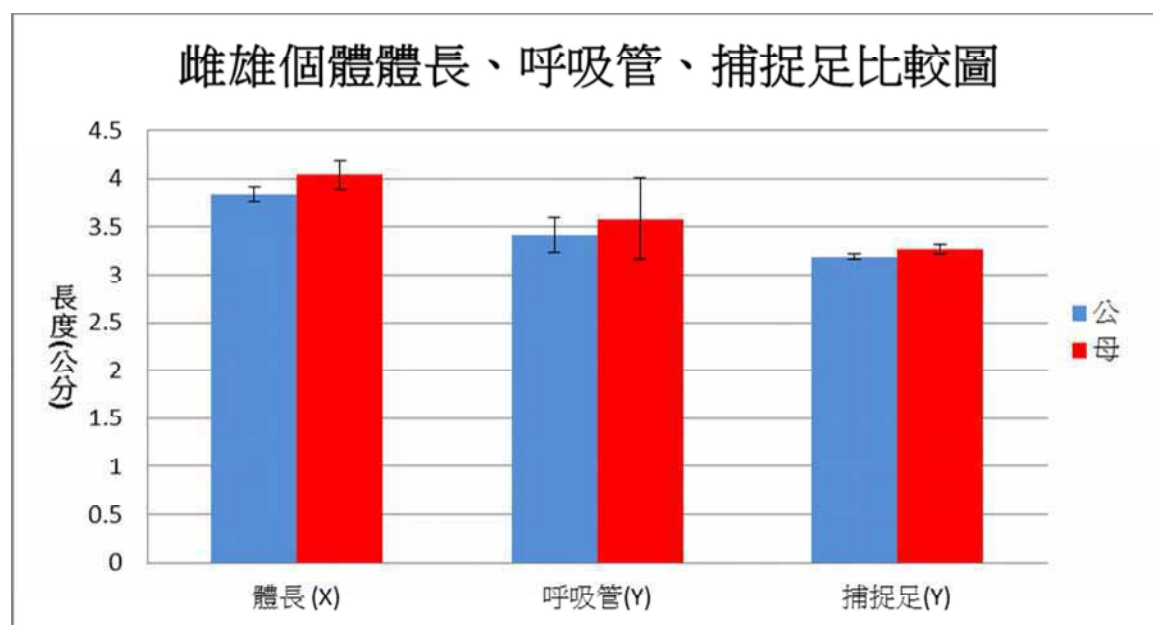
(f)

圖六：紅娘華的不同發育時期。(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。

表一：各齡若蟲外型平均數值，（%）表示該器官佔體長的百分比

	體長 (cm)	體寬 (cm)	呼吸管長 (cm)	捕捉足長 (cm)
一齡若蟲	0.73±0.032	0.37±0.061	0.23(31%)±0.015	0.89(121%)±0.041
二齡若蟲	1.01±0.066	0.48±0.136	0.39(39%)±0.029	1.13 (111%)±0.082
三齡若蟲	1.52±0.047	0.67±0.071	0.64(42%)±0.037	1.49(97%)±0.086
四齡若蟲	2.18±0.117	0.92±0.040	1.19(54%)±0.190	2.20(100%)±0.111
五齡若蟲	3.01±0.159	1.24±0.044	1.79(59%)±0.109	2.72(90%)±0.072
成蟲	3.96±0.142	1.26±0.064	3.50(88%)±0.331	3.22(81%)±0.050

由表一發現，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。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，捕捉足長則有下降的現象。紅娘華的性別在若蟲時不易分別，而在成蟲時可由觀察腹部末端與呼吸管的交接處的亞生殖板片來分別（雄蟲較圓，雌蟲較尖），或直接輕拉起呼吸管來觀察生殖器官來分別（雄蟲交接處有一個皺褶，並有一洞，雌蟲交接處有多個皺褶，末端無洞）。將雌雄蟲的外部形質做比較，發現雌蟲的體長較大，呼吸管也比較長，而捕捉足的長度差異不大（圖七）。



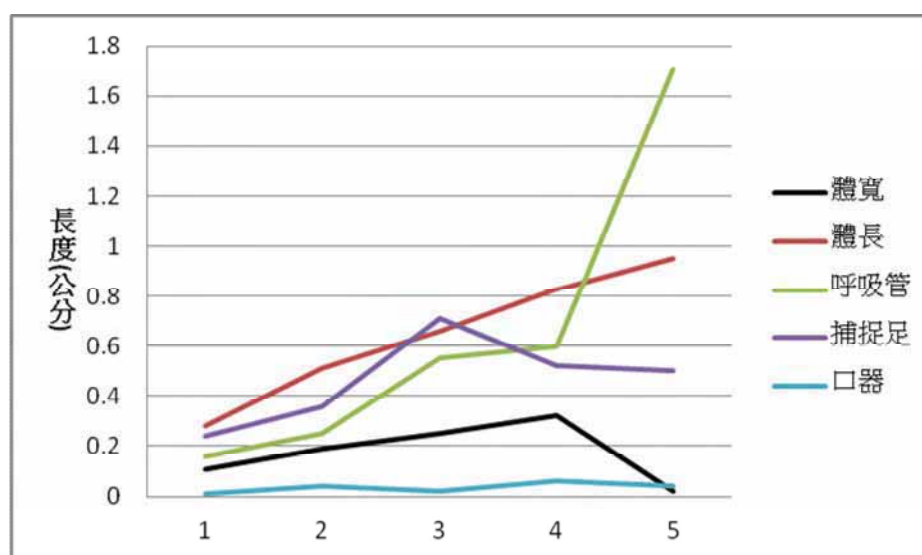
圖七：紅娘華雌雄個體外部形質的比較

二、紅娘華不同器官之呼吸管、捕捉足異速生長

(一) 尋找異速生長的比較基準點

先計算不同齡期的呼吸管、捕捉足、口器、體長、體寬的增加長度，來找到

最接近等速增加長度的器官，作為比較的基準，發現體長的增加最符合這個要求，所以以體長作為異速生長比較的基準(圖八)。



圖八：紅娘華不同齡期各個器官的增加長度。X軸 1：二齡長度減一齡長度，2：三齡長度減二齡長度，3：四齡長度減三齡長度，4：五齡長度減四齡長度，5：成蟲長度減五齡長度。

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，甚至比體長還長。而捕捉足長會從佔體長比例較大，而變成佔體長比例較小。而將不同齡期呼吸管及捕捉足的 b 值加以計算，發現呼吸管的 b 值有增大的趨勢，而捕捉足的 b 值有減少的趨勢(表二)。若以成蟲的雌雄蟲來比較，會發現雌的成蟲呼吸管的 b 值達 1.87，比雄蟲的 1.40 更大，顯示雌性成蟲的呼吸管所佔比例大於雄蟲，這可能與交配時雌蟲位於下方有關。而雄性成蟲的捕捉足 b 值有增加，可能與交配時要將雌蟲抓緊有關(圖九)。

表二：不同齡期，各器官的 b 值變化

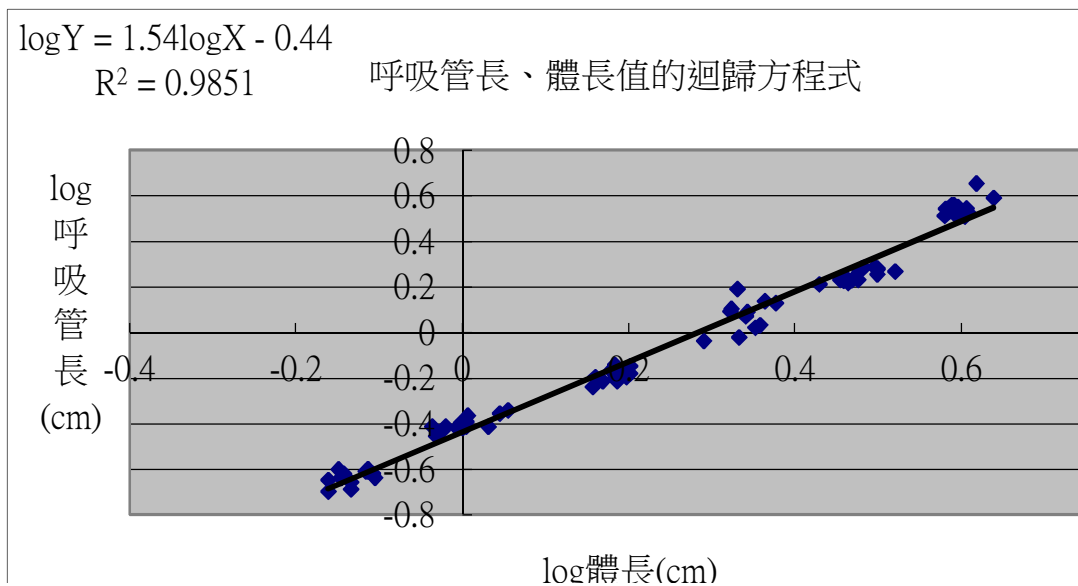
	呼吸管	捕捉足
一齡若蟲	0.787	0.508
二齡若蟲	0.895	0.591
三齡若蟲	0.989	0.129
四齡若蟲	1.164	0.139
五齡若蟲	0.878	0.226
成蟲(總)	1.391	0.366
成蟲(公)	1.404	0.688
成蟲(母)	1.870	0.136



圖九：紅娘華交配，在下方為雌蟲，上方為雄蟲

(一) 呼吸管的生長方程式

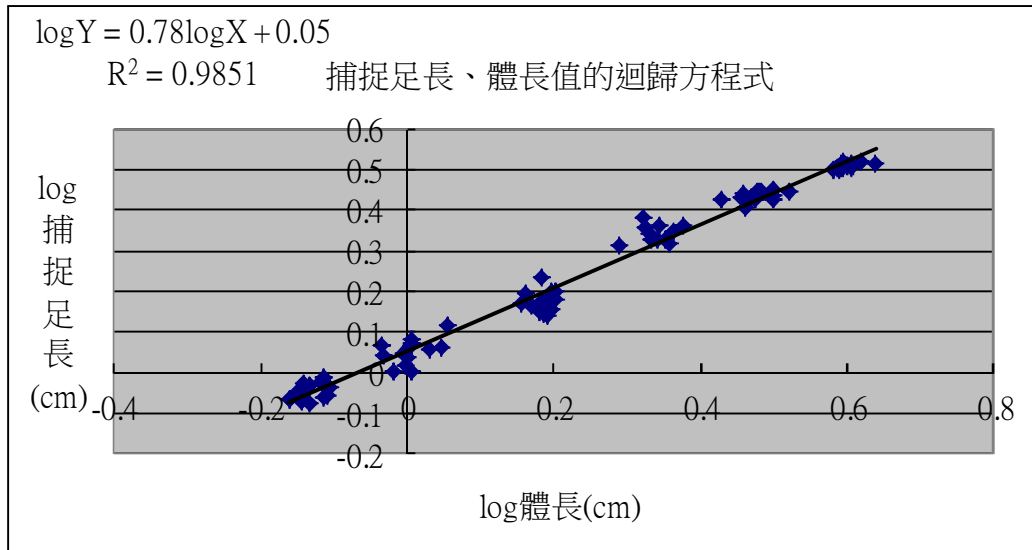
經由計算不同齡期呼吸管的生長方程式（表二），發現呼吸管長的 b 值，從一齡到成蟲是逐漸增加，特別在五齡至成蟲的階段。將所有蟲體數據作對數迴歸方程式，得到 $\log Y = 1.54 \log X - 0.44$ ($R^2=0.99$, $p < 0.001$)。因 $b > 1$ ，所以呼吸管長對體長為正的異速生長（圖十），顯示呼吸管長在蛻皮後的成長速度是相對快速的。



圖十：呼吸管長、體長值的迴歸方程式。

(二) 捕捉足的生長方程式

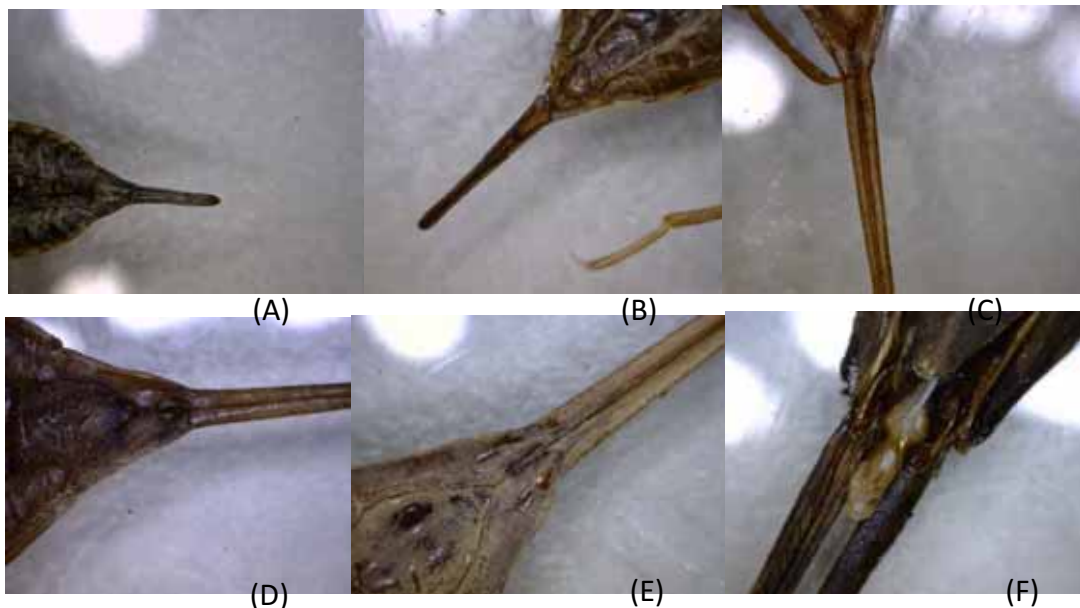
計算不同齡期捕捉足的生長方程式（表二）。發現 b 值在二齡至三齡時有比較大的變化。將所有蟲體數據作對數迴歸方程式，得到 $\log Y = 0.78 \log X + 0.05$ ($R^2=0.99$, $p < 0.05$)， $b < 1$ ，所以捕捉足對體長為負的異速生長（圖十一），顯示捕捉足在蛻皮之後的生長速度是相對變慢。



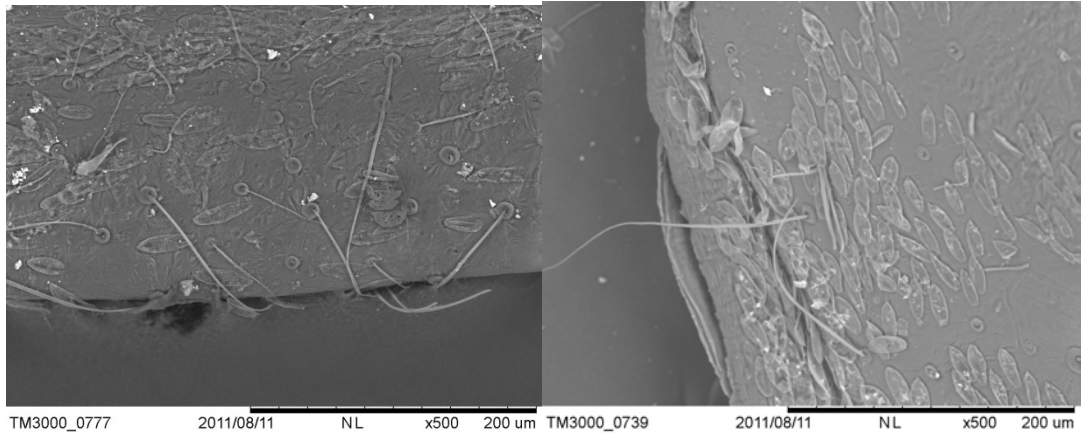
圖十一：捕捉足長、體長值的迴歸方程式。

三、紅娘華呼吸管、捕捉足的顯微構造

由解剖顯微鏡發現，紅娘華一齡至五齡蟲的呼吸管是由兩管合併，成蟲時會分開成兩條長管(圖十二)，並且經由電子顯微鏡觀察發現，紅娘華的呼吸管外側有兩種型態的微構造，一種為絲狀，下方有白狀突起，可能與感應功能有關，以下以感應毛稱呼；另一種為鱗片狀，著生於表面，可能有保護的功能，以下以微鱗毛稱呼。由不同齡期的照片觀察，發現一齡至五齡蟲的呼吸管上的微鱗毛數目是有明顯的增加(圖十三)。而捕捉足在電子顯微鏡下觀察發現有三種型態的微構造，一種為絲狀，和呼吸管上的感應毛型態相同；第二種為刺狀，著生於捕捉足邊緣，可能與捕捉功能有關；第三種為鱗片狀，與呼吸管的微鱗毛相同。由不同齡期捕捉足照片，發現從一齡至成蟲，微鱗毛的差異並不大(圖十四)。

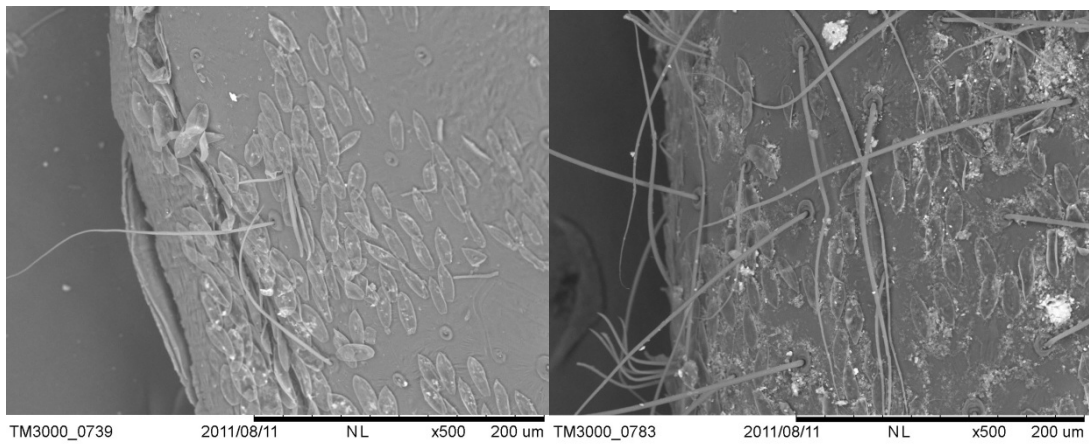


圖十二：解剖顯微鏡下觀察呼吸管的變化。(A)一齡若蟲，(B)二齡若蟲，(C)三齡若蟲，(D)四齡若蟲，(E)五齡若蟲，(F)成蟲。



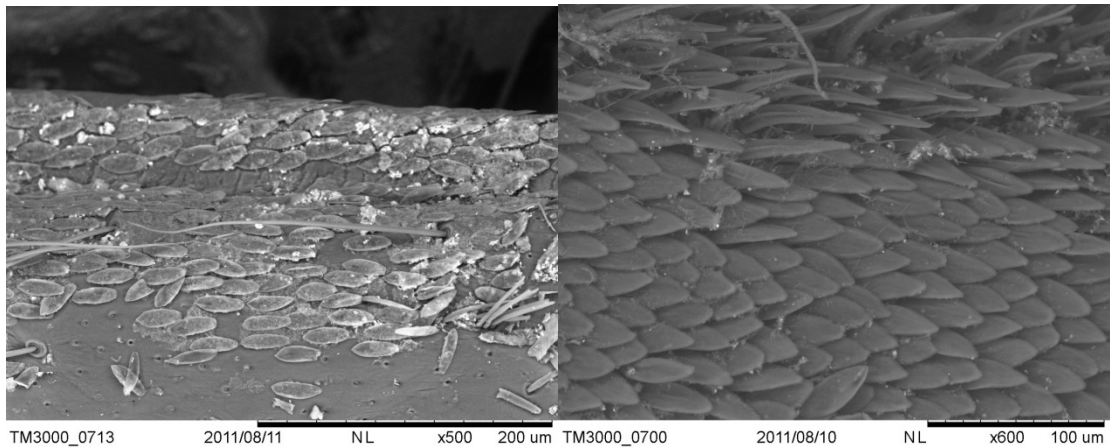
(A)

(B)



(C)

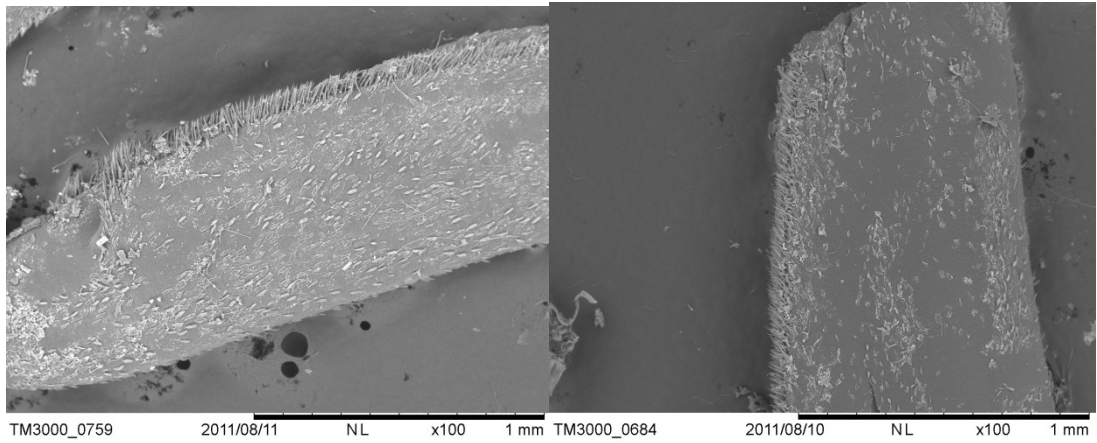
(D)



(E)

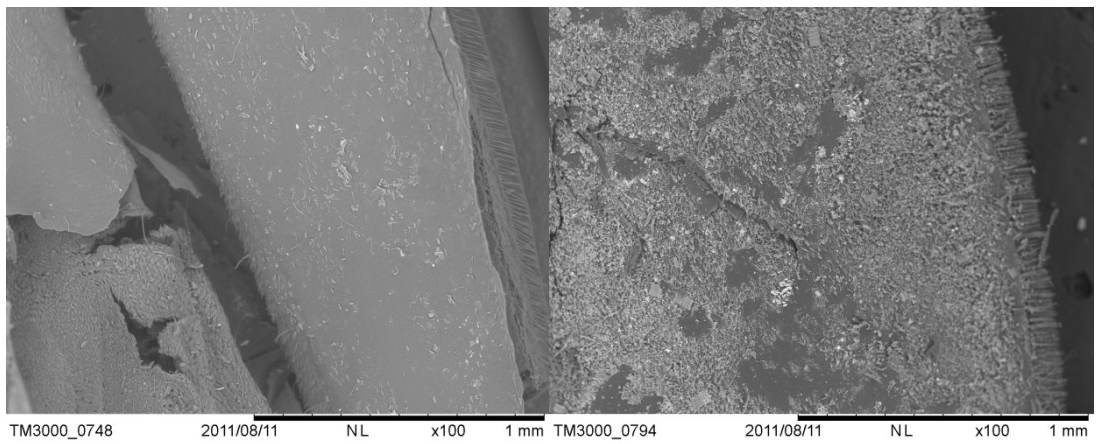
(F)

圖十三：電子顯微鏡下觀察呼吸管的變化。(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。



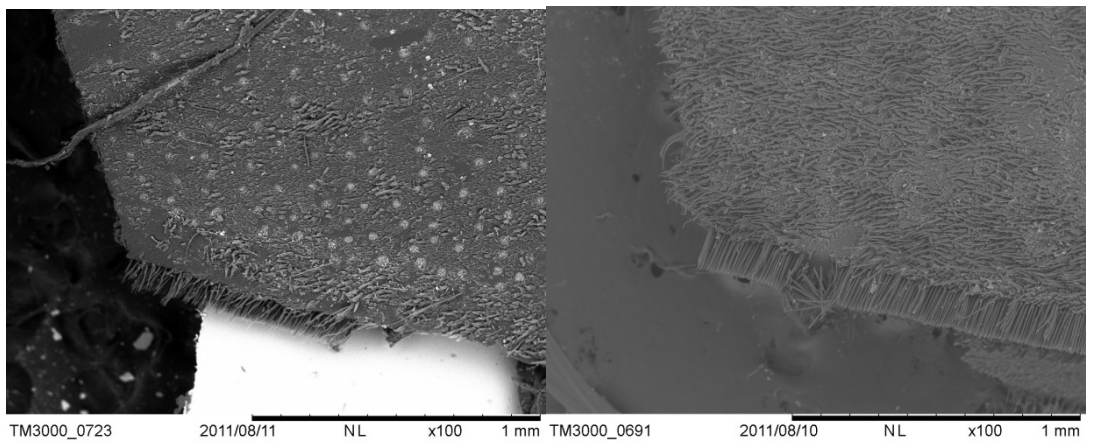
(A)

(B)



(C)

(D)



(E)

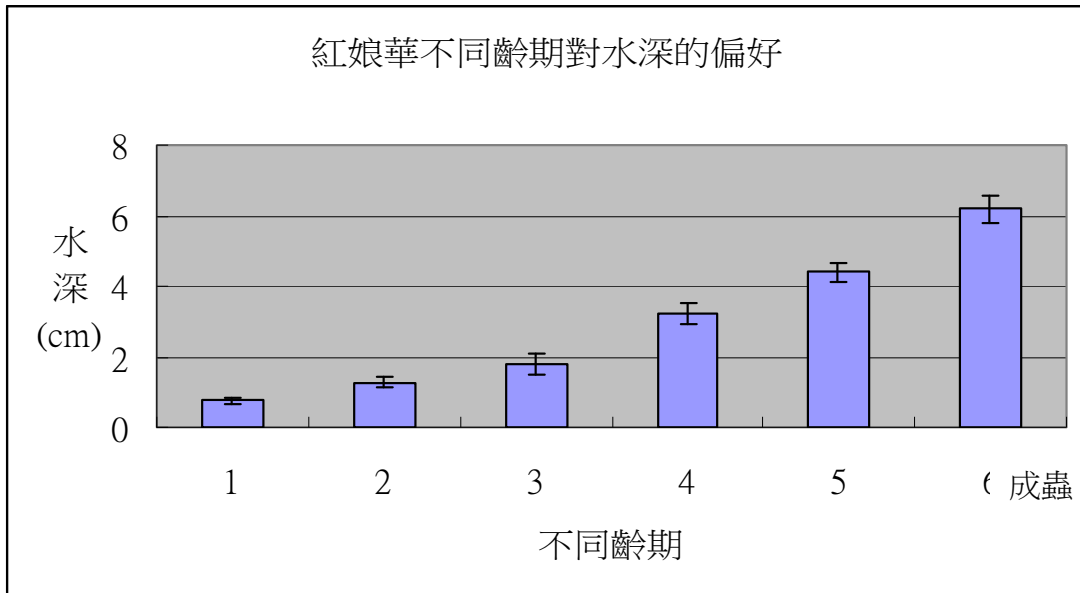
(F)

圖十四：電子顯微鏡下觀察捕捉足的變化。(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。

四、紅娘華成蟲及若蟲因外在器官構造的改變而有的變化

1. 實驗室棲息水深觀察

經由實驗結果發現，一齡紅娘華較常棲息在水深約 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（圖二十）。紅娘華棲息的水深，隨著齡期增加而加深（圖十五），推測與呼吸管長增長是相關的。



圖十五：紅娘華不同齡期停留水深。

2. 水分減少狀況下，二齡蟲及成蟲在蛻皮後的變化

一齡蟲在水分較少環境蛻皮後，有一隻蛻皮失敗，而在水分充足的環境下，3 隻都蛻皮成功，外觀的形質長度在兩個環境無差異(表三)，但在電子顯微鏡下觀察發現，捕捉足的微鱗毛在不同環境下差異不大，但在呼吸管外部的微鱗毛有所不同(水分充足環境下微鱗毛較多)，而在呼吸管內的細毛數量是沒有差異的(圖十六)(表四)。經由 t-test 檢定，也發現紅娘華二齡蟲呼吸管前端以及末端的微鱗毛數量，在乾濕不同的環境下，具有顯著差異(呼吸管前端 $t=-6.93$, $p<0.05$; 呼吸管末端 $t=-5.12$, $p<0.05$) (表五); 但在呼吸管內部的細微鱗毛數目卻是沒有顯著差異的($t=0.06$, $p=0.48$) (表五)。

五齡蟲在不同環境下都能蛻皮成功，外觀的長度如表三，也無太大差異，而在電子顯微鏡下發現微構造的鱗片變化也如同二齡蟲一般(圖十七)(表四)。顯示紅娘華在水分減少的環境下，外觀無異速生長的差異，但在呼吸管微構造的微鱗毛數目是有差異的，呼吸管內部微鱗毛是沒有太大改變。經由 t-test 檢定，也發現紅娘華成蟲呼吸管前端以及末端的微鱗毛數量，在乾濕不同的環境下，具有顯著差異(呼吸管前端 $t=-30.31$, $p<0.05$; 呼吸管末端 $t=-5.34$, $p<0.05$) (表五); 但在呼吸管內部的細毛數量目卻是沒有顯著差異的($t=-1.03$, $p=0.18$) (表五)。

我們推測，紅娘華呼吸管外部鱗毛在乾濕不同的環境下，是具有顯著差異的，而這可能與浮力的獲得有關。呼吸管內部鱗毛在乾濕不同的環境下，是沒有太大的差異，這可能與氣體的吸附有關，如圖十八在解剖顯微鏡所發現管內細毛吸附氣泡的情形。

表三：環境水分差異紅娘華二齡蟲及成蟲外觀形態的長度

二齡蟲		呼吸管	捕捉足	口器
水分	體長			
水分減少	0.98±0.030	0.39±0.010	1.15±0.005	0.14±0.015
水分充足	1.01±0.007	0.39±0.008	1.12±0.082	0.13±0.012
成蟲		呼吸管	捕捉足	口器
水分	體長			
水分減少	3.92±0.082	3.92±0.082	3.92±0.082	3.92±0.082
水分充足	3.99±0.079	3.71±0.137	3.17±0.021	0.28±0.009

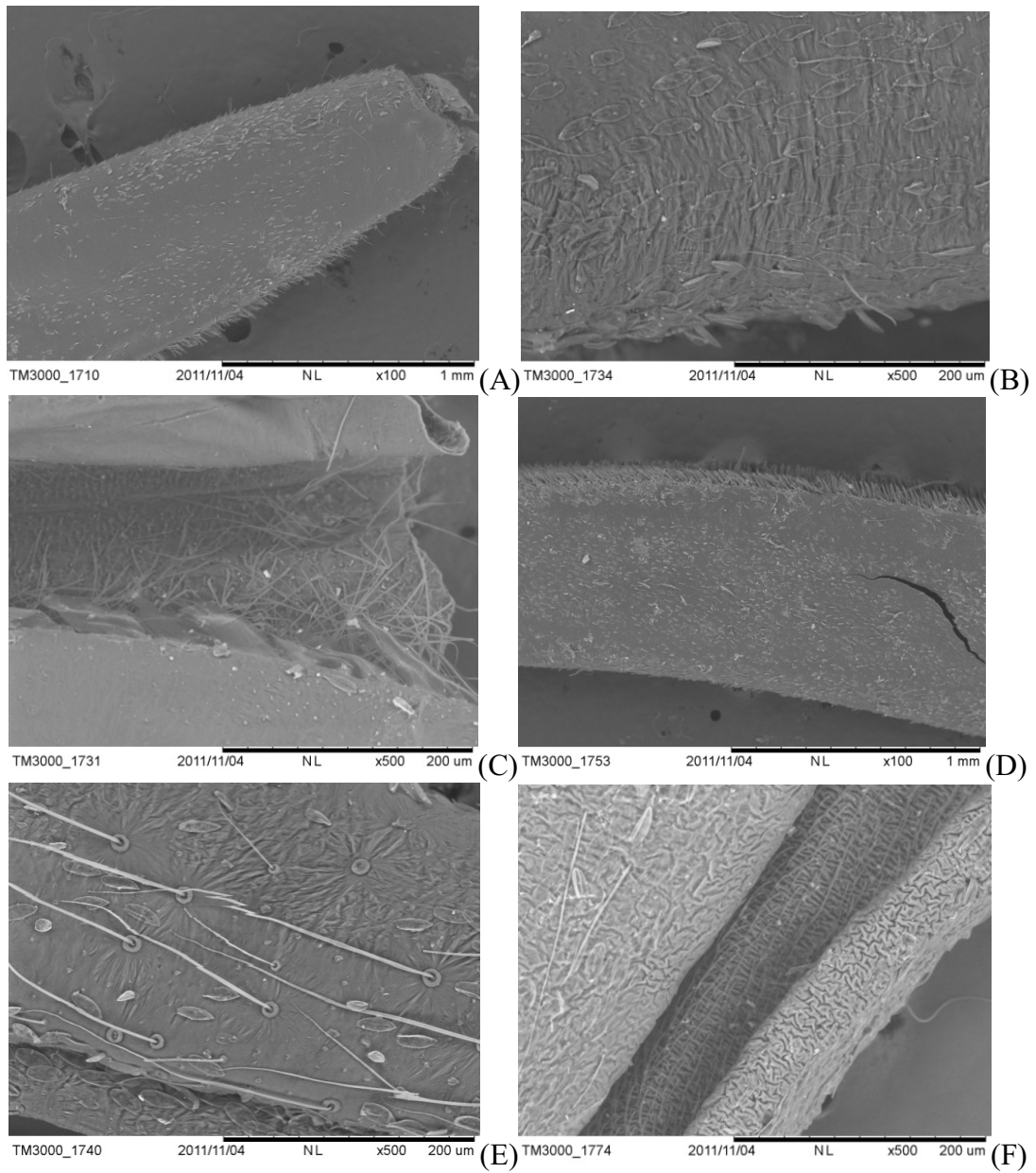
表四：環境水分差異紅娘華二齡蟲及成蟲微鱗毛的變化

二齡蟲微鱗毛的數量(根)		1mm ²	
水分	呼吸管外部	呼吸管內部	捕捉足
水分減少	0.525±0.103	0.375±0.062	0.361±0.027
水分充足	0.854±0.072	0.770±0.236	0.562±0.108
成蟲微鱗毛的數量(根)		1mm ²	
水分	呼吸管外部	呼吸管內部	捕捉足
水分減少	10.375±0.375	6.870±0.703	10.025±0.787
水分充足	17.750±0.901	8.916±0.629	11.666±0.144

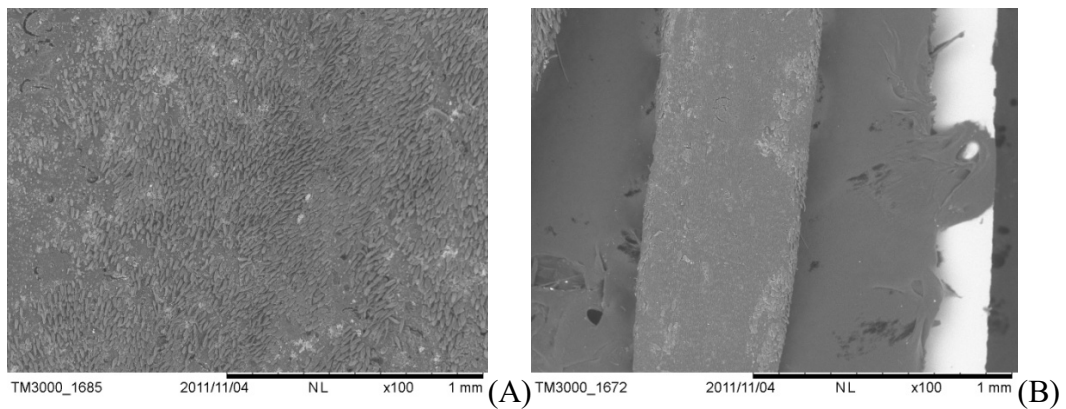
表五：環境水分差異二齡蟲及成蟲的紅娘華微鱗毛數量的 t-test 檢定

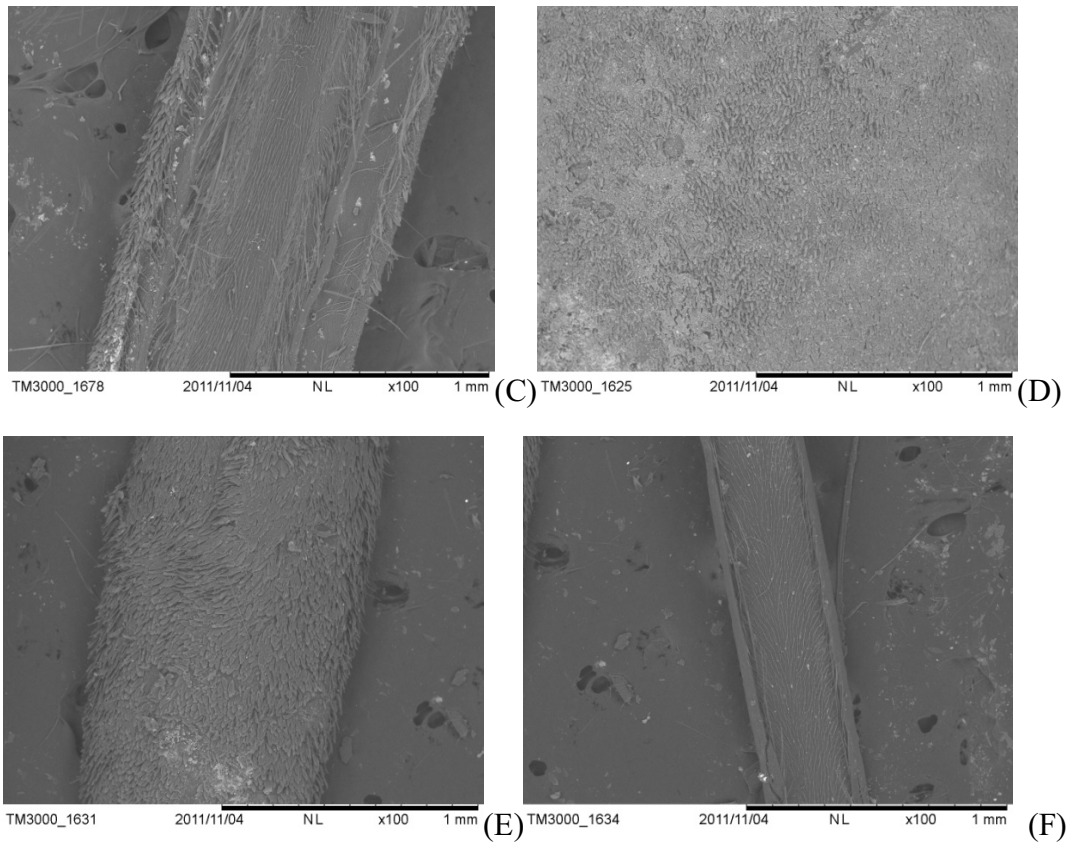
二齡若蟲		
	T 值	p 值
呼吸管前端	-6.92824**	0.000481
呼吸管末端	-5.11743*	0.001858
呼吸管內部	0.055884	0.478799
成蟲		
	T 值	p 值
呼吸管前端	-30.3076**	3.67E-07
呼吸管末端	-5.34317*	0.001541
呼吸管內部	-1.02543	0.176094

* 為 p<0.05，**為 p<0.001

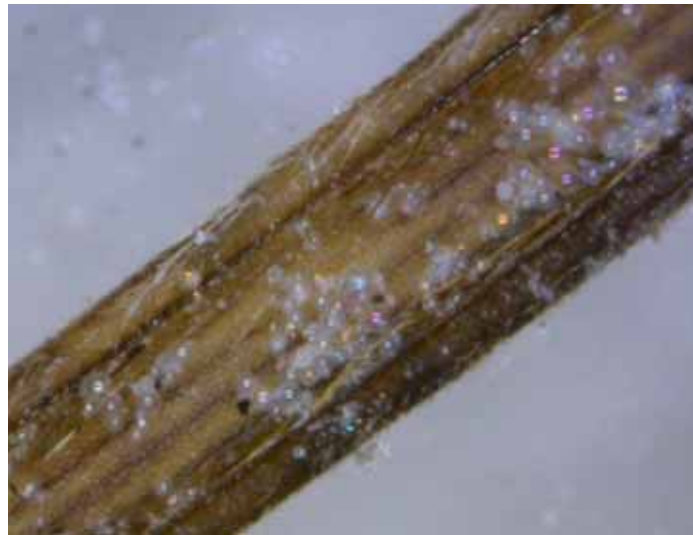


圖十六：二齡蟲在水分減少環境下電子顯微鏡觀察 (A) 捕捉足，(B) 呼吸管外部，(C) 呼吸管內部；二齡蟲在水分充足環境下電子顯微鏡觀察 (D) 捕捉足，(E) 呼吸管外部，(F) 呼吸管內部。





圖十七：成蟲在水分減少環境下電子顯微鏡觀察 (A) 捕捉足，(B) 呼吸管外部，(C) 呼吸管內部；成蟲在水分充足環境下電子顯微鏡觀察 (D) 捕捉足，(E) 呼吸管外部，(F) 呼吸管內部。



圖十八：紅娘華呼吸管內部吸附氣體（解剖顯微鏡 60X）。

陸、討論

昆蟲的一生可說是變化多端，人類及其他哺乳類動物在成長過程中其外部形態特徵變化不大。昆蟲則不然，從出生到成蟲其形態上要發生幾次大的改變，我們稱這種改變過程為「變態」。而昆蟲變態後棲息位置可能是會改變，例如大楓子星椿象會因捕食壓力，而在變態後改變棲地(Nishidat et al., 2001)，而這個現象與本研究的紅娘華是相符合的，紅娘華在若蟲時因呼吸管短小，覓食範圍僅在淺處，而成蟲時因為呼吸管的長度相對變長，能前往更深的地方去進行覓食，這樣的改變能夠避免與若蟲爭食。而昆蟲變態後外表微構造也可能是會改變，例如條紋紅椿會在夏天晚期為較隱蔽的灰白褐色到隔年春天早期轉換成紅與黑的條紋的警戒色。

在異速生長理論方面，Peter (2006)指出異速生長是個大家都能接受的理論。異速生長過去的研究大都使用在植物的研究上(Enquist, 1998)，少部分在動物上。對於單一物種不同器官的生長差異有 Bassey(2003) 研究臭腹腺蝗胃盲囊的異速生長和功能特性，發現在乾季及濕季，臭腹腺蝗的前後胃生長速率會有所不同。在台灣有關異速生長的文獻只有章魚口器的分類(許，2003)以及雄性招潮蟹螯之研究(黃，2008)，但關於不完全變態的昆蟲不同部位的異速生長差異的文獻少之又少可說是沒見過。

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)發現龍蝨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，這種形態的改變，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(表一)，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。而且我們發現成蟲沒有群聚性，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。田蟹的外型與紅娘華相近，也都利用特化的捕捉足獵取食物，但是田蟹的捕捉足由何(2003)發現會隨著齡期增長而有佔體長比例越大的現象，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(表一；表二)。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，等待獵物經過再出其不意的抓住。在這時呼吸管已接近體長，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。

根據本研究發現，紅娘華的不同器官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(表一；表二)。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（表一；表二），捕捉足原本是大於體長的，但在三齡蟲之後相對的變小了。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），並且在呼吸管上的微鱗片也有顯著的增加（表四），這樣的改變可能可以使呼吸管增加浮力，如同 Nina(2010)認為像水獺這種半水生的哺乳動物則有濃密防水的毛，這些毛能捕捉小氣泡，增加浮力，減少動物漂浮水面時需耗費的力氣；而這樣的構造也在阿根廷的划樁身上所發現(María, 2011)；特別是在雌蟲的呼吸管長度利用異速生長方程式計算後發現，呼吸管所佔的比例是更大(b 值=1.87)。這應與交配時雌蟲位於下方，呼吸管若不長一點，可能會有缺氧的危險。所以呼吸管的改變對於生殖是一個重要的條件。

在異速生長方面，可持續研究在顯微構造方面的研究，並更進一步研究異速生長的改變在生態部分的意義。另外，紅娘華在台灣的分佈及分類演化的研究，也可由異速生長著手。而在呼吸管內增加浮力的發現，或許可作為潛水、近海研究延長時間的應用。

柒、結論

- 一、紅娘華呼吸管為正異速生長，在四齡有明顯的變大；捕捉足為負異速生長，在二至三齡有明顯的變小。
- 二、紅娘華的電顯構造，呼吸管上的微鱗毛隨著齡期增加而增多，捕捉足上的微鱗毛變化不大，顯示呼吸管的微構造可能可增加浮力。
- 三、紅娘華在水分不同的環境下，外觀並無差異，但在水分多的環境下，外部呼吸管的微鱗毛有增加的現象。

捌、參考文獻

- Bassey E. A., Tony G. O. 2003. Allometric growth and performance of the gastric caeca of *Zonocerus variegatus*(L.) (Orthoptera: Pyrgomorphidae). *ACTA Entomologica Sinica* 46(5), 558-566.
- Enquist, B. J., Brown, J. H. and West, G. B. 1998. Allometric scaling of plant energetic and population density. *Nature* 395, 163 – 166.
- Huxley, J. S. 1924. Constant differential growth ratios and their significance. *Nature*,114, 895-896.
- María C. M. and Erica E. S. 2011. Description of the immature stages of *Sigara (Tropocorixa) jensenhaarupi*(Hemiptera: Heteroptera: Corixidae: Corixini), with ecological notes. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82, 117-130.
- Nina G. J. 2010. The Naked Truth: Why Humans Have No Fur. *Scientific American* 302, 42-49
- Nishidat T., Nakamura K., Noerdjito W. A. 2001. Population Dynamics of an Isolated Population of the Tropical Pyrrhocorid Bug, *Melamphaus faber*, Feeding on Seeds of *Hydnocarpus* Trees and the Specialist Predator, *Raxa nishidai* in Bogor, West Java, Indonesia. *Tropics* 10(3),449-467
- Peter B. R, Mark G. T, Jose-Luis M. and Jacek O. 2006. Universal scaling of respiratory metabolism, size and nitrogen in plants. *Nature*, 439, 457-461
- Phlhemu, J. T. 1995. Zoogeography of Saldidae and other aquatic Hemiptera in the Southern hemisphere. *National Geographic Society Research Report* 18, 601-609
- 黃筱婷。2008。高美濕地短身大眼蟹的生長與繁殖。靜宜大學生態學系碩士論文，新竹。
- 許嘉錦。2003。Octopus與Cistopus屬章魚口器地標點之幾何形態測量學研究。國立中山大學海洋生物研究所，高雄。
- 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。
- 何健鎔。2003。椿象。親親文化事業有限公司，279 頁。
- 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，嘉義。
- 顏月珠。2006。第十章：回歸與相關，商用統計學。三民書局，台北市。
- 陳緝鈴、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。
- 賴玫秀、黃郁真。2011。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。中華民國第五十一屆中小學科學展覽會作品說明書。

【評語】 040724

1. 探討紅娘華異速生長的生物意義，這是一個有趣的問題。
2. 除了呼吸管及捕捉足之異速生長外，是否還有其他器官有此現象及其生物意義。
3. 再加強呼吸管及捕捉足異速生長之生物意義數據之取得。