

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

佳作

040717

『蟬』寶寶－終齡若蟬羽化與蟬殼鑑種探討

學校名稱：桃園縣私立新興高級中學

作者： 高二 徐子喻 高二 張淳雅 高二 徐常軒	指導老師： 呂建興 楊文心
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：蟬殼、若蟬、鑑種

摘要

高砂熊蟬的幼生期約 5~6 年，而環境因子變動會影響蟬羽化，雨後蟬的羽化數量明顯下降。高砂熊蟬羽化月份為單一高峰（七月），每日羽化時間也呈現單一高峰（PM19:00~PM20:00）。終齡若蟲體長愈長爬行速度愈快，羽化停棲高度也較高，但標準化爬行速度則相似。終齡若蟲爬行停止後，至少需 15 分鐘不受干擾才進行羽化，開始羽化至羽化完成約耗時一小時，且各羽化階段時間相似。我們以蟬殼胸寬/體全長比值、前足腿節的齒狀突起、蟬殼顏色及前足腿節毛列分佈為主要鑑種特徵，再輔助測量特徵差異，我們可以準確的區別出七種研究樣本的蟬殼，且符合蟬的親源關係。而熊蟬屬三種蟬的蟬殼與成蟲的胸寬/體全長比值相近（都接近 0.40），可以供從蟬殼鑑別出「熊蟬屬」的標準。

壹、研究動機

臺灣地處熱帶及亞熱帶地區，四面環海。於冰河期間，許多生物藉由陸橋輾轉遷徙於臺灣，之後冰河退卻、氣候回暖，海平面上升，臺灣海峽形成，而這些留在臺灣的物種由於地理上的隔絕，因此演化為獨特的物種。這些生物為了適應臺灣島上的多樣生態系，也發展出許多不同的型態和構造。尤其是蟬，其外部型態更是豐富。臺灣蟬的種類繁多，而蟬的分類地位上屬於動物界（Animalia）；節肢動物門（Arthropoda）；昆蟲綱（Insecta）；同翅目（Homoptera）。對於蟬這種動物，我們發現除了其成蟲的多樣化外，更發現其蟬殼的差異性。蟬的若蟲期生活於土中，以植物枝液為食，經過一次又一次的蛻皮，最後終齡若蟲鑽出土表，脫去蟬殼，羽化成蟲。而蟬殼的外部型態因棲息環境或物種的不同，而略有差異（陳，2007）。

這次科展的研究起因為去年夏天一次無意與蟬的邂逅。在某個夏日的午後，我們在體育課過後，尋找能夠遮蔭的樹下。就在尋找途中，我們發現在樹上除了在枝頭高叫的蟬成蟲，還有一樣令我們懷疑的生物——牠就如同失了魂魄的蟬一般。我們將牠拿去問生物老師，生物老師替我們解釋，原來這是蟬的蟬殼。在生活中，大家都知道「金蟬脫殼」的道理，但親眼看到蟬殼，觸摸蟬殼，想像著蟬從蟬殼破殼而出，又是另一番感受。我們繼續問生物老師這是什麼物種，可是生物老師說不知道？這引起了我們對於蟬殼的高度疑問，這是甚麼種類的蟬？為甚麼高掛枝頭卻高度不同？為甚麼不是每棵樹上都有蟬殼呢？一個一個的疑問如泡泡般冒出？

我們尋找文獻，卻發現蟬成蟲本身文獻很多，從成蟲形態態到蟬聲音都有許多人研究，但是相對於蟬殼，卻相當稀少。為了解決這個疑問，所以我們向生物老師提出了以蟬殼為主題的生物科展實驗計畫。

【教材相關性】：

- 一、基礎生物（上）第一章生命的特性：1-1 生命現象。
- 二、基礎生物（上）第二章遺傳：2-2 性狀的遺傳、2-3 遺傳物質、2-4 基因轉直技術及其應用。
- 三、基礎生物（上）第三章演化與生物多樣性：3-1 生物演化、3-2 生命樹、3-3 生物多樣性。
- 四、基礎生物（下）第五章動物體的構造與功能：5-6 生殖。
- 五、基礎生物（下）第六章生物與環境。
- 六、選修生物（下）主宰生命奧妙的分子：13-4 基因的表現、13-5 遺傳工程。
- 七、選修生物（下）演化：14-1 演化的原理。

貳、研究目的

- 一、綜合分析不同種蟬鑽出土羽化時停棲高度，並探討可能原因？
- 二、環境因子變化（是否下雨）對蟬是否出鑽出土羽化有無關聯性？
- 三、利用調查不同時間種植的樹木是否有高砂熊蟬鑽出土羽化，間接推估出高砂熊蟬的幼生期？
- 四、綜合分析終齡若蟲爬行速度與羽化時停棲高度之關聯性？
- 五、瞭解終齡若蟲爬出土後至少需多少未受干擾才開始進行羽化？
- 六、瞭解高砂熊蟬羽化高峰月份及高峰時間？
- 七、瞭解判別雌雄若蟲（蟬殼）的特徵？
- 八、綜合分析若蟲的各項形態特徵，找出可作為若蟲分類檢索的特徵並建立檢索表？
- 九、綜合分析瞭解終齡若蟲與成蟲之關聯性？

參、實驗材料、研究設備及器材

一、實驗材料、研究設備及器材：

衛生紙、夾鏈袋、橡皮筋、布丁杯、100ml 量筒、解剖針、95%酒精、水彩筆、透明指甲油、3M 膠帶、捕蝦用網、伸縮釣竿、鐵絲彎成的小鐵鉤、皮卷尺、保麗龍板、電子秤（精準至小數點下 4 位）、電子游標尺（精準至小數點下 2 位）、昆蟲針（0 號及 1 號）、解剖用小剪刀、解剖顯微鏡、光學顯微鏡、尖鑷子、珠針、電腦、捕捉網、數位相機。

二、實驗物種

高砂熊蟬蟬殼、高砂熊蟬成蟲、紅脈熊蟬蟬殼、紅脈熊蟬成蟲、臺灣熊蟬蟬殼、臺灣熊蟬成蟲、端黑蟬蟬殼、騷蟬蟬殼、騷蟬成蟲、薄翅蟬蟬殼、薄翅蟬成蟲、蟋蟀蟬蟬殼及蟋蟀蟬成蟲。

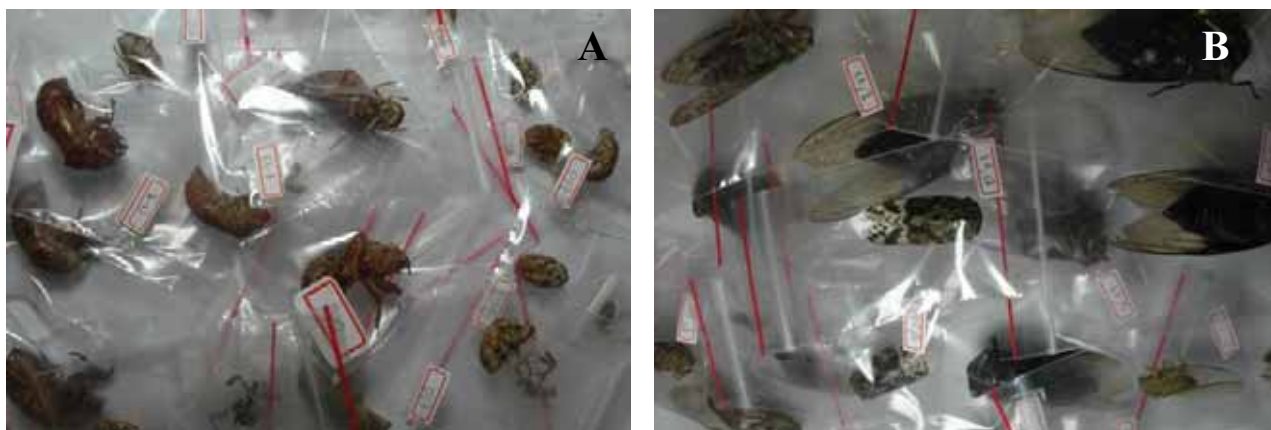
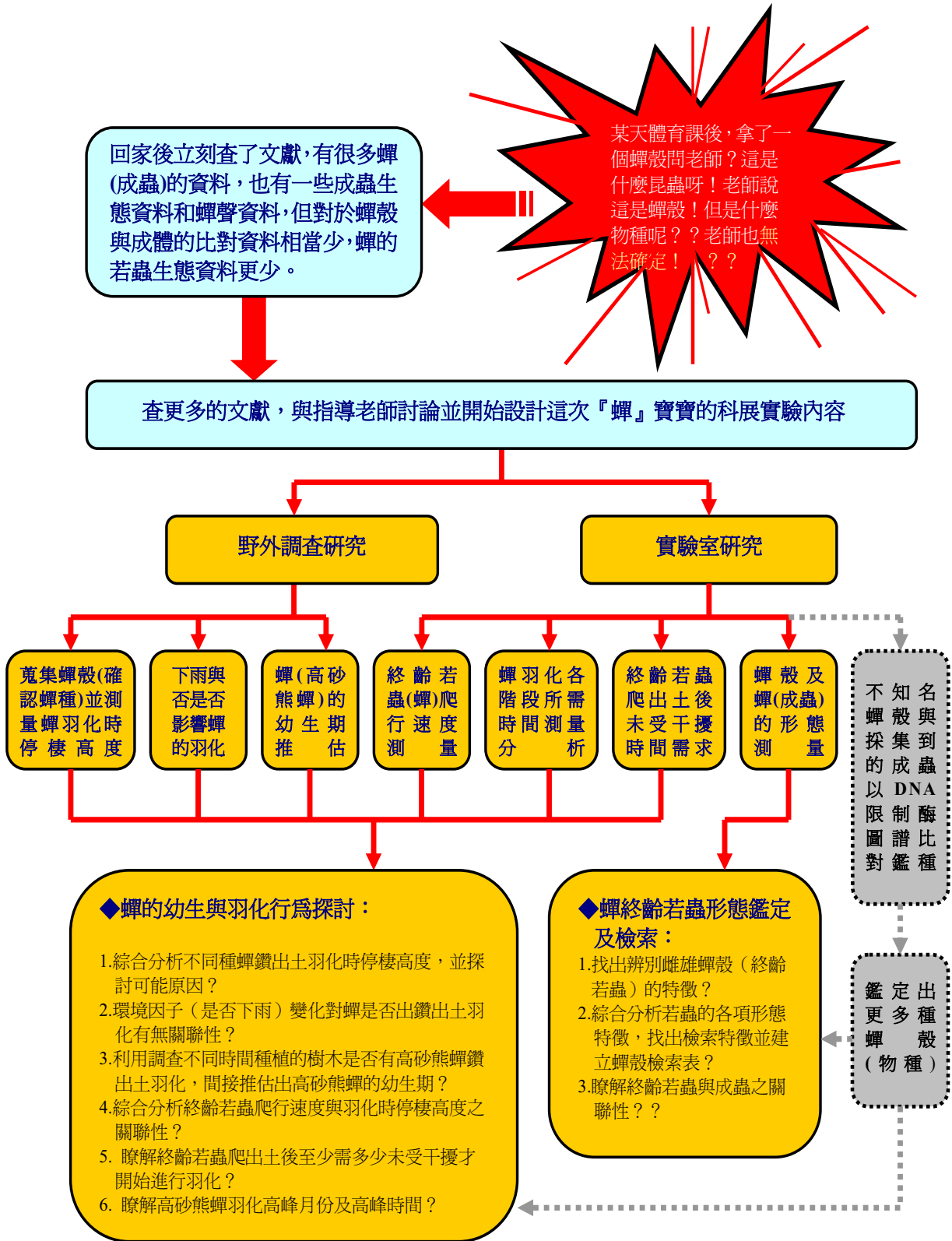


圖 1、實驗物種，包括高砂熊蟬、紅脈熊蟬、臺灣熊蟬、端黑蟬、騷蟬、薄翅蟬、蟋蟀蟬的 A：蟬殼及 B：成蟲。

肆、研究過程與方法

一、科展研究計畫的想法及實驗流程圖：



備註：灰色框框及虛線箭頭部分表示尚未完成之實驗。

二、實驗樣本的採集

(一) 樣本採集：

1.採集地點：桃園縣中壢市國立中央大學校園（高砂熊蟬）、桃園龜山近郊山區及公園（臺灣熊蟬、高砂熊蟬、蟋蟀蟬、薄翅蟬）、桃園縣八德市學校校園及公園（紅脈熊蟬）、新北市烏來山區（端黑蟬）、桃園及苗栗地區公園及學校（高砂熊蟬幼生期時間推估調查）。

2.採集方式：

(1) 捕蟲網採集：利用小的捕撈網連接在伸縮釣竿上，捕捉停在樹枝上的成蟲。

(2) 晚上採集剛羽化的成蟲，並蒐集蟬殼：

①先將樣區內前一羽化的蟬殼記錄高度並將蟬殼蒐集或清除。

②檢視樣區內新爬出的若蟲，終齡若蟲移動緩慢，容易捕捉。但我們將區域內的樹都檢查完畢時大概已經花了 15 分鐘了，就算是行動緩慢的幼蟲也早已爬到我們所無法觸及的高度，此時可利用自製的伸縮採集網加以捕捉（並記錄停棲高度）。

③將捕捉的若蟲放到較低的樹梢(徒手可觸及處)，等它羽化，並記錄蟬殼羽化的各階段羽化時間，羽化後採集蛻下蟬殼（記錄羽化後成蟲性別）或將終齡若蟲放入透明塑膠盒帶回家拍攝和紀錄。

(3) 成蟲夜間路燈下採集：利用部分蟬夜間具趨光性的特性，夜間到路燈下採集被路燈吸引趨光的蟬。

(4) 蟬殼蒐集：白天或晚上到公園、校園或近郊山區，找尋已經羽化或正在羽化完留下的蟬殼。白天去蒐集時較容易發現蟬殼，但無法確認是哪一種蟬的蟬殼。晚上則比較不容易發現正鑽出土的終齡若蟲，但晚上蒐集時可以確認物種，並且可以辨別雌雄。

三、蟬鑽出土羽化時停棲高度：

確認實驗調查地區都是同一種蟬在羽化後，每次到達實驗樣區後，就以皮尺測量蟬殼離地面的垂直距離，若蟲殼的位置太高，則自製的伸縮鐵絲鉤鉤住皮尺，升高至蟬殼位置測量，以並記錄在記錄表內。

四、高砂熊蟬羽化高峰月份及高峰時間：

每月紀錄實驗調查地區（國立中央大學校園及桃園龜山公園）高砂熊蟬羽化的數量及每晚 5 個時段（PM05:00~PM06:00、PM06:00~PM07:00、PM07:00~PM08:00、PM08:00~PM09:00、PM09:00~PM10:00）高砂熊蟬羽化的數量。並計算出每個月份每天羽化的高砂熊蟬數量（隻 / 天）及每晚每 1 時段羽化的高砂熊蟬數量（隻 / 小時）。

五、下雨是否影響高砂熊蟬出鑽出土羽化：

進行高砂熊蟬羽化高峰月份及高峰時間記錄實驗時，同時也記錄該天的天氣情況，記錄是否下雨，以利後續探討環境因子（是否下雨）變化對蟬是否鑽出土羽化有無關聯性。

六、終齡若蟲爬行速度測量：

(一) 速度測量：選擇常見的高砂熊蟬、薄翅蟬及蟋蟀蟬進行此實驗，取一樹枝筆直豎立並固定住，並在樹枝上下端各 5 公分處以紅筆畫記，將終齡若蟲放置於樹枝底端，待若蟲頭部經過下方紅線畫記處開始計時，當若蟲尾部通過上方紅線畫記處時結束計時，並量測出二段紅線畫記處距離，計算出三種終齡若蟲的爬行速度（公分/秒）。每隻若蟲進行三次實驗（圖 2）。

(二) 標準化速度計算：

1. 以蟋蟀體長（體長為三種物種中最短的）為標準。

2. 計算方法： $\frac{\text{高砂熊蟬體全長倍率} = \text{高砂熊蟬體全長}}{\text{蟋蟀體全長}} \rightarrow \text{高砂熊蟬爬行標準化距離} = \text{高砂熊蟬爬行距離} / \text{體全長倍率} \rightarrow \text{高砂熊蟬標準化速度} = \text{高砂熊蟬標準化距離} / \text{爬行時間}$ 。



圖 2、終齡若蟲蟬爬行速度測量方式。

七、終齡若蟲各階段羽化時間記錄（圖 3）：

選擇常見的高砂熊蟬、薄翅蟬及蟋蟀蟬進行此實驗，取一樹枝筆直豎立並固定住，讓若蟲抓握在樹枝上，若蟲爬行一段時間後會靜止不動（通常在樹枝頂端），靜靜觀察若蟲外殼的變化，當若蟲胸部背面裂開時開始記錄時間，共分成殼裂至頭出、頭出至足及腹出、足及腹出至翅撐平、翅撐平至完成羽化四個階段，分別記錄四個階段所需時間。

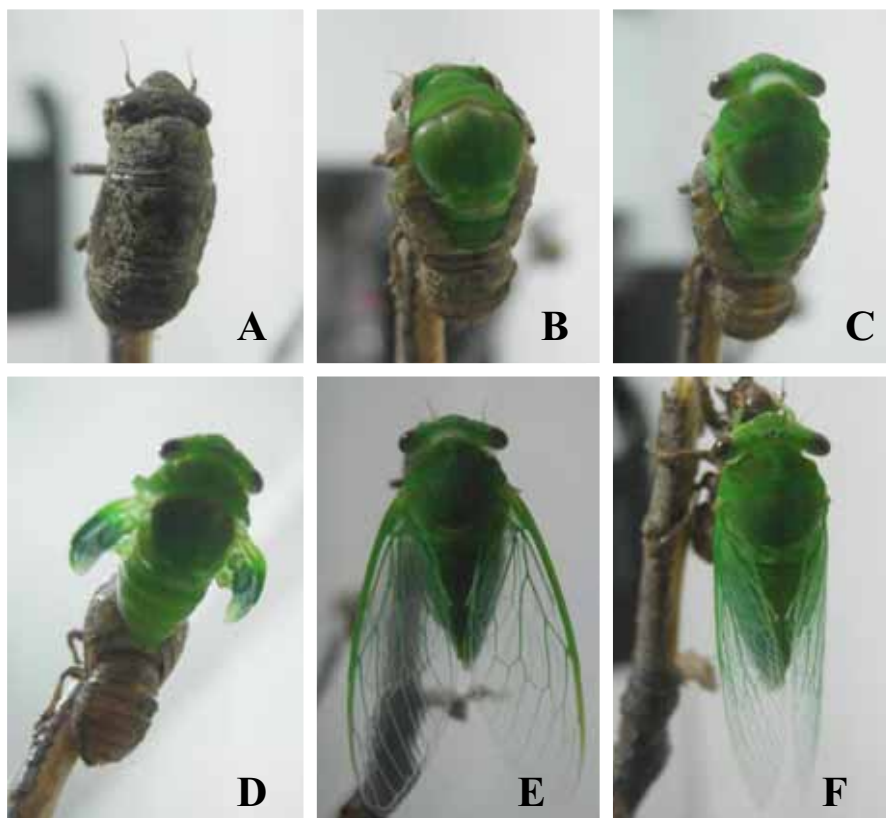


圖 3、終齡若蟲（薄翅蟬）各羽化階段 A~F。

八、終齡若蟲羽化干擾測試：

我們將若蟲捕捉帶回家及進行終齡若蟲各階段羽化時間記錄時發現，在一直震動或不安定的環境下，若蟲並不會羽化，因此進行這個實驗，在若蟲靜止不動時，給予碰觸

樹枝的干擾，共分成間隔 1 分鐘、5 分鐘、10 分鐘、20 分鐘的碰觸干擾刺激實驗。

九、高砂熊蟬的幼生期推估實驗：

在桃園及苗栗地區的部分學校及公園調查記錄是否有高砂熊蟬爬上樹羽化，並調查出這些公園或學校成立或樹木種植（移植）時間，藉此間接推估出高砂熊蟬幼生期時間。

十、蟬殼及蟬成蟲外部形態測量（圖 4）：

（一）以電子游標器測量：體全長、頭長、胸長、腹長、頭寬、胸寬、腹寬、前足腿節、前足脛節、前足跗節、中足腿節、中足脛節、中足跗節、後足腿節、後足脛節、後足跗節、複眼距離、口器長、額唇基長及額唇基寬（測量單位：mm）。

（二）雌雄蟬殼的判別：觀察剛羽化的成蟲性別，並將蟬殼蒐集標示，以利日後分析找出分析雌雄蟬殼的辨識特徵。

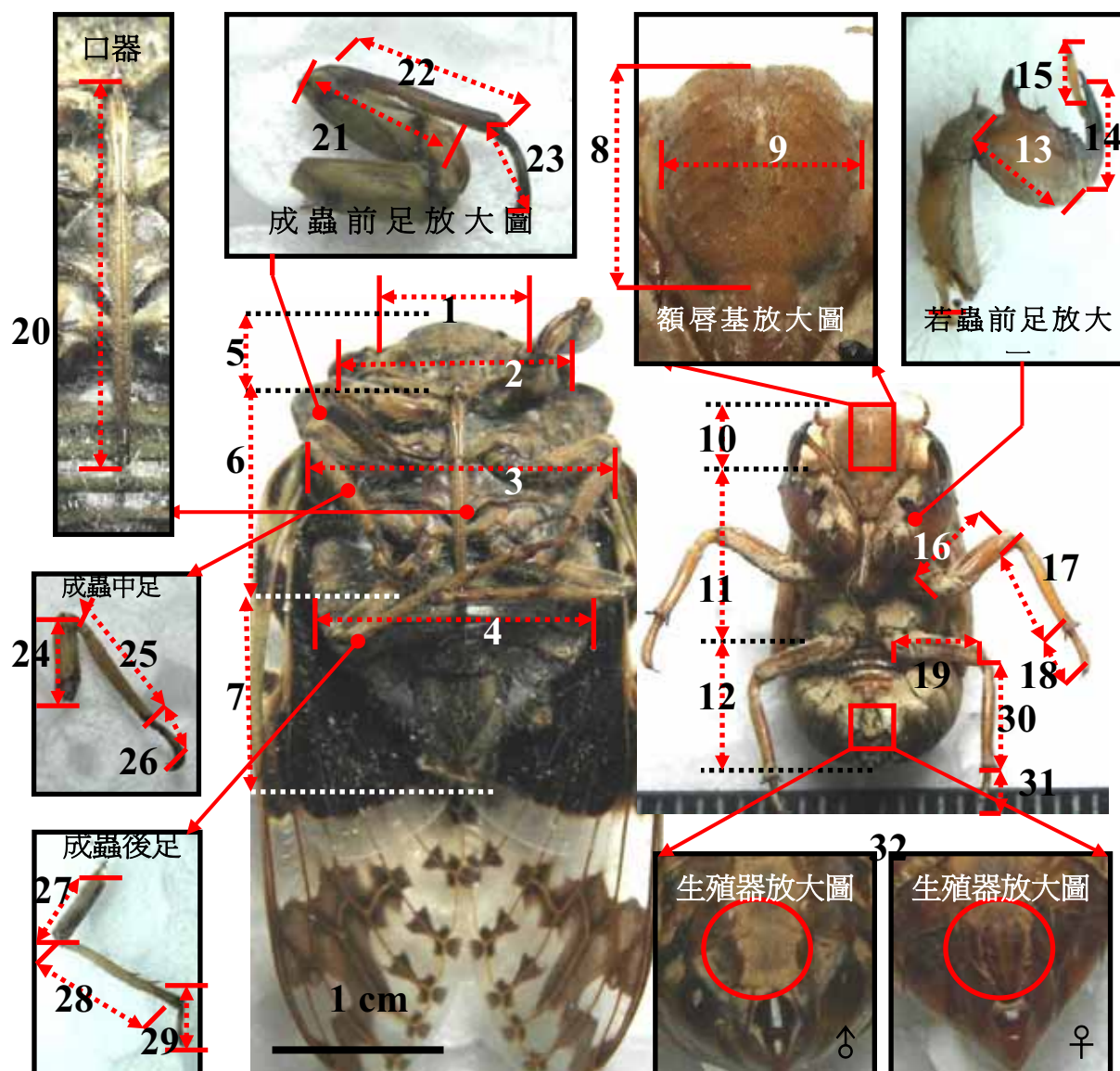


圖 4、測量蟬（以蟪蛄蟬為例）的成蟲：1=眼距、2=頭寬、3=胸寬、4=腹寬、5=頭長、6=胸長、7=腹長、5+6+7=體長、20=口器、21=前足腿節、24=中足腿節、27=後足腿節、22=前足脛節、25=中足脛節、28=後足脛節、23=前足跗節、26=中足跗節、29=後足跗節；測量終齡若蟲羽化蛻下的蟬殼：8=額唇基長、9=額唇基寬、10=頭長、11=胸長、12=腹長、10+11+12=體長、13=前足腿節、16=中足腿節、19=後足腿節、14=前足脛節、17=中足脛節、30=後足脛節、15=前足跗節、18=中足跗節、31=後足跗節、32=判斷終齡若蟲蟬殼性別。

(三) 胸寬與體全長標準化比值計算：

計算方法：蟬殼及成蟲的胸寬與體全長標準化比值 = 胸寬長度 (mm) / 體全長 (mm)。

(四) 羽化成長百分比計算：

計算方法：〔 (成蟲特徵長度 - 蟬殼特徵長度) / 蟬殼特徵長度 〕 x 100%。

(五) 蟬殼及蟬成蟲體積 (mm³) 測量：

將蟬殼及成蟲的附肢拔除，先以3M膠帶將蟬殼及成蟲附肢處的孔洞封住，再將蟬的整個軀體塗上透明指甲油，確認水不會滲入蟬軀體內，取一100ml量筒，裝水至75ml處，將蟬殼放入此量筒內，以解剖針將蟬體推送至液面下，判讀取量筒內水上升的刻度，並記錄之。

體積計算方法：(判讀取量筒內水上升的刻度 - 75ml) = 軀體排除的體積 (假定水密度為1) = 估算出蟬成蟲或蟬殼軀體的體積 (圖5)。

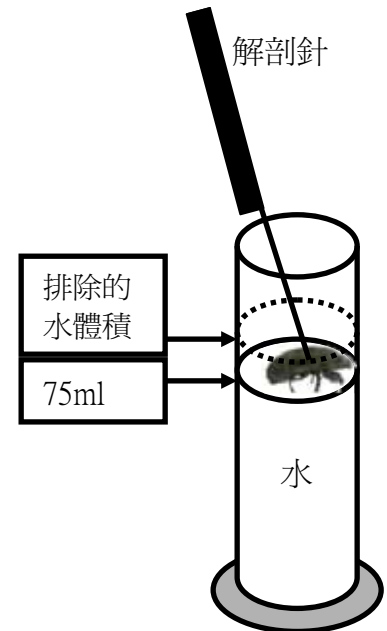


圖 5、蟬殼及蟬成蟲體積測量方法。

(六) 蟬殼體色測量：

先將蟬殼拍照 (七種蟬殼用一樣的光源及拍照距離，同一次拍攝的照片)，再用影像分析軟體 (PhotoImpact3.0) 在蟬殼照片上隨機選取 5 個點分析其灰階值，每一種蟬殼分析至少 5 個樣本，再計算出每個樣本的灰階值平均值 (圖 6)。灰階分析原理：灰階模式 (Grayscale mode) 採用 256 階不同明度的灰階來描述影像，每一個像素都有從 0 (黑) 到 255 (白) 範圍的明度值，每一個像素可以有 256 種變化，最亮是為白色，以數值 255 表示之；最暗的顏色是為黑色，以數值 0 表示之。介於黑與白之間的顏色稱為灰色，而灰色依明暗的不同可以有 254 種變化，以數值 254 到 1 表示。

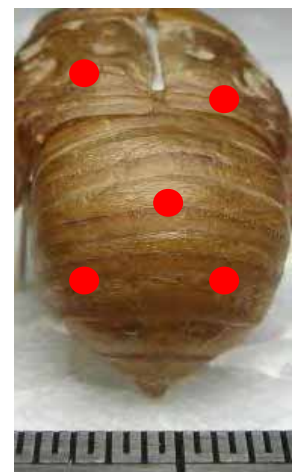


圖 6、蟬殼的體色測量分析 (紅點表示取樣點)。

(七) 蟬殼前足形態：

我們將七種蟬殼的前足用數位相機拍照，再將前足照片放大後以複寫紙描繪出七種蟬的蟬殼前足腿節形態，再加以分析其差異 (包括前足腿節爬狀齒列形態及毛列分佈情形)。

十一、統計分析：

實驗中的數據都用SAS統計軟體 (Statistical Analysis System) 分析差異性。我們用鄧氏新多變域測量法 (Duncan's new multiple range test) 分析蟬殼與蟬成蟲各項外部特徵測量的平均值的差異，不同英文字母 (a, b, c.....) 代表外部特徵在不同物種有顯著差異 ($p < 0.05$)。

伍、研究結果

一、下雨情況是否影響若蟲鑽出土羽化：

我們從圖 7 中可以看出下雨前幾天(10.90 ± 1.91 隻/天)及下雨天(10.00 ± 2.83 隻/天)每天高砂熊蟬若蟲爬出羽化的數量並無明顯差異，但下雨後幾天(6.33 ± 0.58 隻/天)高砂熊蟬若蟲每天羽化的數量就明顯比下雨前幾天及下雨天減少。

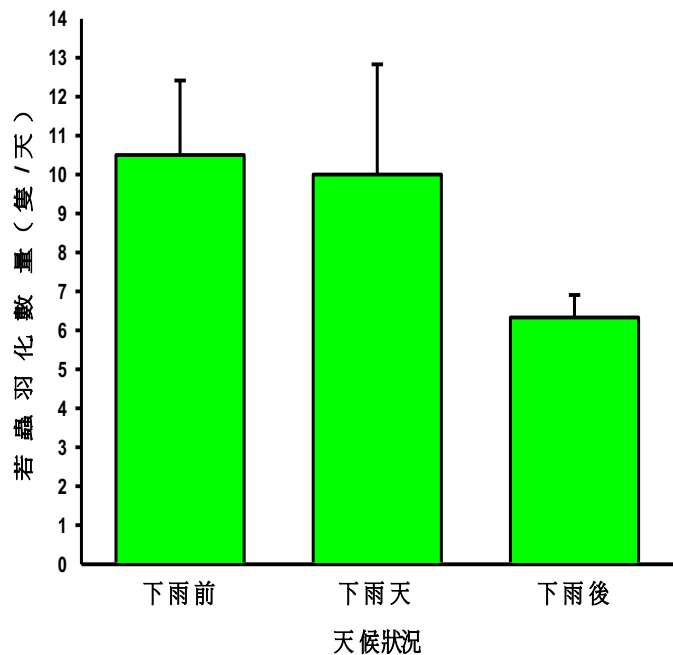


圖 7、下雨前、中或後若蟲是否鑽出土羽化影響。

二、六種蟬的終齡若蟲羽化停棲高度：

我們從圖 8 中可以看出七種蟬中，只有臺灣熊蟬終齡若蟲羽化時停棲的高度都在 300cm 以下，且 60% 以上的臺灣熊蟬終齡若蟲羽化高度都在 150cm 以下。而其他六種蟬（高砂熊蟬、紅脈熊蟬、騷蟬、薄翅蟬、端黑蟬、螻蛄蟬）其羽化時停棲的高度從低至高都有，而最高羽化高度都在 300cm 以上，其中高砂熊蟬及紅脈熊蟬羽化停棲高度大多在較高 (> 300cm) 的地方最多 (> 50%)，而薄翅蟬、端黑蟬及螻蛄蟬羽化停棲高度大多在較低 (< 300cm) 的地方最多 (> 80%)，此三種蟬中，又以螻蛄蟬羽化時停棲在較低位置的相對百分比比較高 (76.74%)。

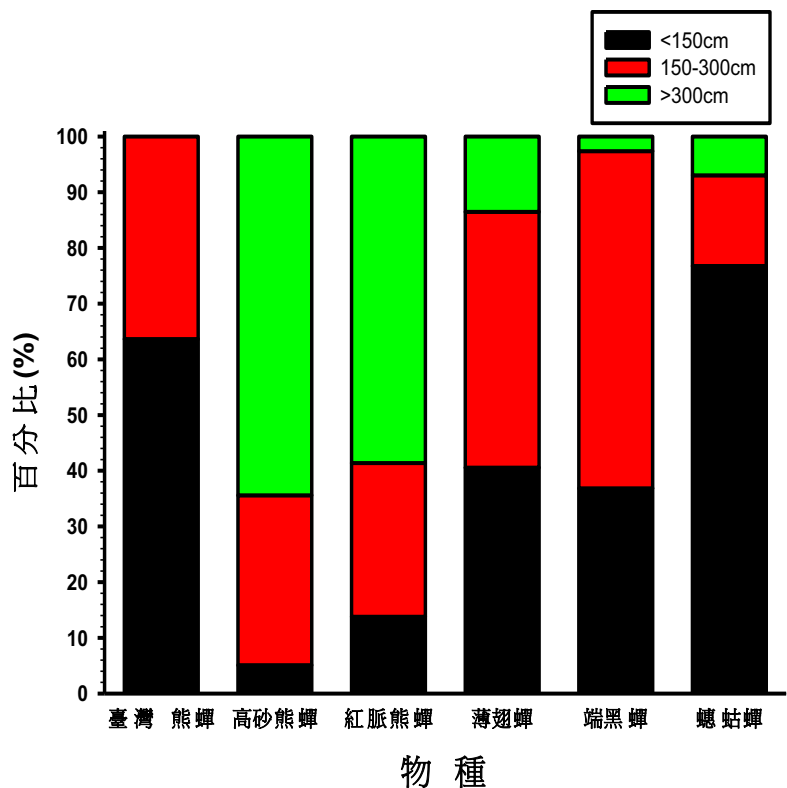


圖 8、七種蟬終齡若蟲鑽出土羽化時停棲高度 (< 150 cm, 150-300cm, > 300cm) 相對百分比。

三、終齡若蟲爬行速度：

由圖 9 可知：三種蟬的終齡若蟲爬行速度以高砂熊蟬終齡若蟲爬行速率為最快 ($0.33 \pm 0.05 \text{ cm/s}$)，可以與其他蟬明顯區分；而若蟲爬行速率最慢是蟪蛄蟬，其爬行速度為 ($0.21 \pm 0.02 \text{ m/s}$)。

四、終齡若蟲爬行速度與體全長及羽化停棲高度相關性分析：

我們從圖 10 若蟲體全長與若蟲爬行速度的 XY 散佈圖中可以明顯看出，若蟲體長與若蟲爬速度呈現正相關。三種實驗物種當中，以高砂熊蟬的體長 ($31.41 \pm 3.73 \text{ mm}$) 最長其次為體全長的薄翅蟬 ($21.18 \pm 0.47 \text{ mm}$)，其爬行速度也介於三種實驗物種中間，而爬行速度最慢的則是三種物種體全長最小的蟪蛄蟬 ($16.90 \pm 0.80 \text{ mm}$)。

我們也以從圖 11 的結果中看出三種實驗物種若蟲爬行速度由慢至快分別為蟪蛄蟬、薄翅蟬及高砂熊蟬。而羽化高度則分別為 $352.71 \pm 129.32 \text{ cm}$ 、 $168.97 \pm 117.45 \text{ cm}$ 及 $99.77 \pm 89.78 \text{ cm}$ ，可明顯看出終齡若蟲爬行速度愈快，其羽化時停棲的高度也愈高。但是從標準化的爬行速度（排除體型差異因素）實驗結果則發現，蟪蛄蟬 ($0.16 \pm 0.02 \text{ cm/s}$)、薄翅蟬 ($0.17 \pm 0.01 \text{ cm/s}$) 及高砂熊蟬 ($0.17 \pm 0.03 \text{ cm/s}$) 的標準化爬行速度並無差異。

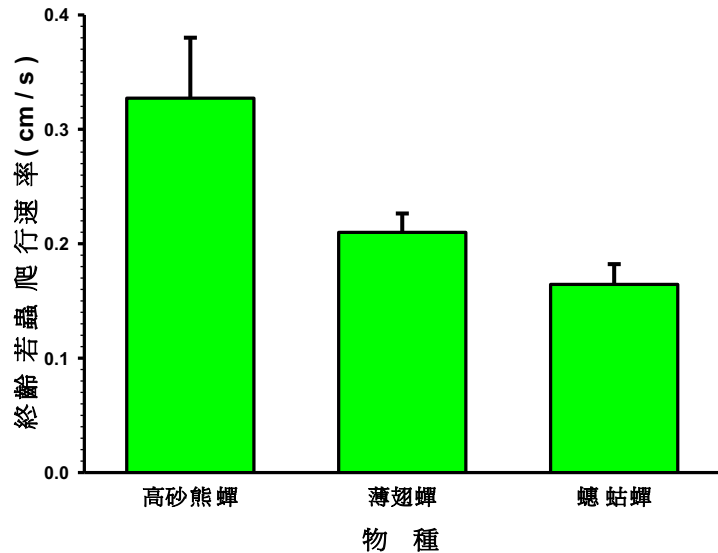


圖 9、高砂熊蟬、薄翅蟬及蟪蛄蟬終齡若蟲爬行速度。

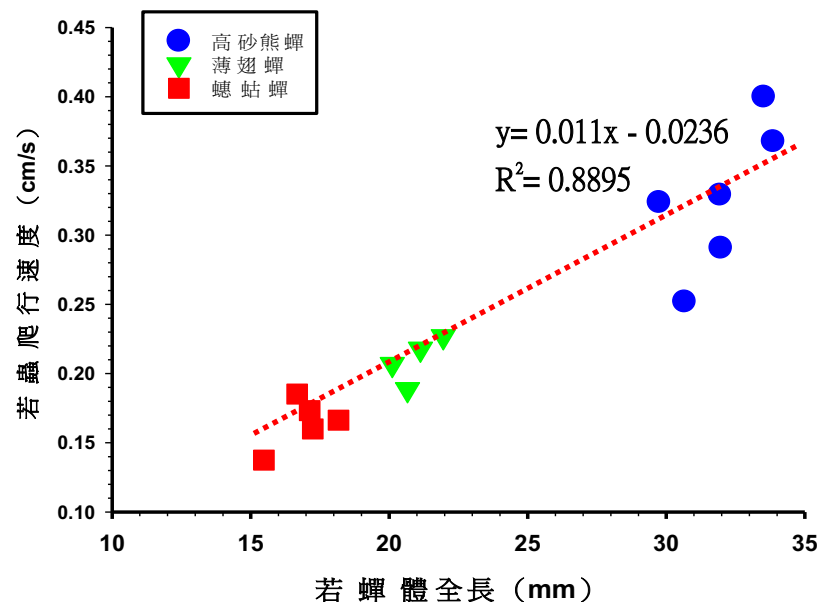


圖 10、爬行速度與終齡若蟲體全長相關性。

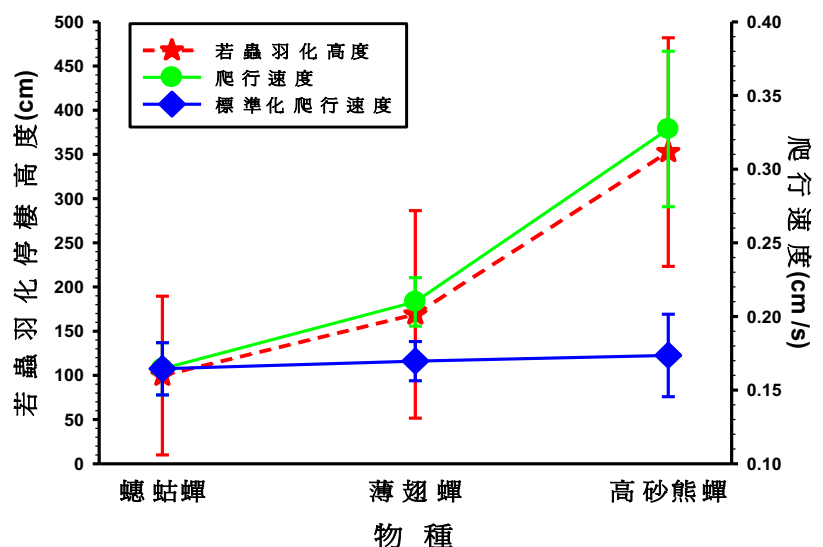


圖 11、羽化停棲高度與爬行速度、標準化爬行速度相關性。

五、終齡若蟲羽化干擾實驗：

從表一中可以看出在持續間隔碰觸干擾終齡若蟲實驗結果可看出，在間隔時間為 10 分鐘以內干擾時，三種實驗若蟲都沒有進行羽化動作，而在間隔實驗為 15 分鐘干擾時，高砂熊蟬有 40% (2/5) 的若蟲羽化，而薄翅蟬則有 25% (1/4) 的若蟲羽化，但是螻蛄蟬仍未羽化。當干擾間隔時間延長為 20 分鐘時，三種實驗若蟲都進行羽化動作，羽化百分比為高砂熊蟬 75% (3/4)、薄翅蟬 75% (3/4) 及螻蛄蟬 66.7% (1/3)。但羽化過程中共有 4 隻 (高砂熊蟬：2 隻、薄翅蟬：1 隻、螻蛄蟬：1 隻) 若蟲羽化失敗。

表一、三種終齡若蟲 (高砂熊蟬、薄翅蟬及螻蛄蟬) 不受干擾所需最短時間測試實驗。

物種	1min		5min		10min		15min		20min	
	羽化	未羽化	羽化	未羽化	羽化	未羽化	羽化	未羽化	羽化	未羽化
高砂熊蟬	0% (0/6)	100% (6/6)	0% (0/6)	100% (6/6)	0% (0/6)	100% (6/6)	40% (2/5)	60% (3/5)	75% (3/4)	25% (1/4)
薄翅蟬	0% (0/8)	100% (8/8)	0% (0/8)	100% (8/8)	0% (0/6)	100% (6/6)	25% (1/4)	75% (3/4)	75% (3/4)	25% (1/4)
螻蛄蟬	0% (0/6)	100% (6/6)	0% (0/6)	100% (6/6)	0% (0/6)	100% (6/6)	0% (0/3)	100% (3/3)	66.7% (2/3)	33.3% (1/3)

六、高砂熊蟬羽化高峰月份及時間：

從圖 12 中可明顯看出高砂熊蟬六月至十月都有終齡若蟲羽化的紀錄，且其羽化月份呈現單一高峰 (七月最高：平均每天 13.80 隻 / 天)。六月 (2.50 隻 / 天)、八月 (2.33 隻 / 天) 及九月 (2.40 隻 / 天) 的終齡幼蟲羽化數量明顯較七月低。十月時 (0.20 隻 / 天) 只剩下零星個體羽化，十一月後至隔年五月在調查地點則無羽化記錄。

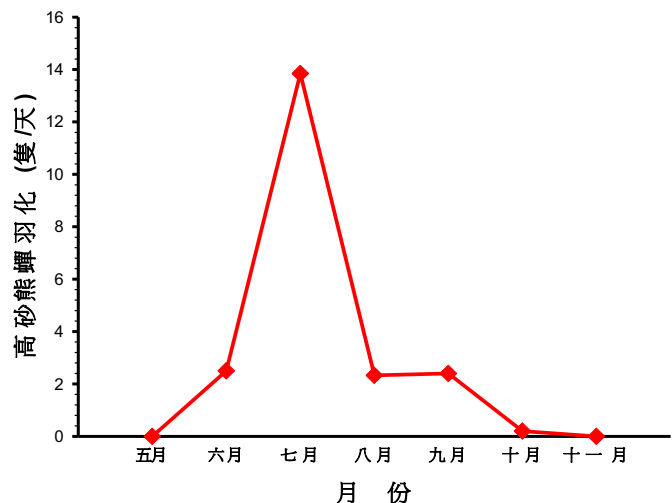


圖 12、高砂熊蟬羽化高峰月份。

在高砂熊蟬每日的羽化時間調查結果 (圖 13) 中可以看出高砂熊蟬從 PM06:00 (天色漸暗) 開始有羽化紀錄，羽化的時間從 PM 06:00~PM 09:00 都有若蟲爬出羽化。每日羽化時間也呈現單一高峰 (PM07:00-PM08:00 最高：平均 4.70 隻 / 小時)。而 PM07:00~ PM08:00 (1.71 隻 / 小時) 其次，晚間 PM08:00 ~ PM09:00 (0.64 隻 / 小時) 時只剩下零星個體爬出羽化。

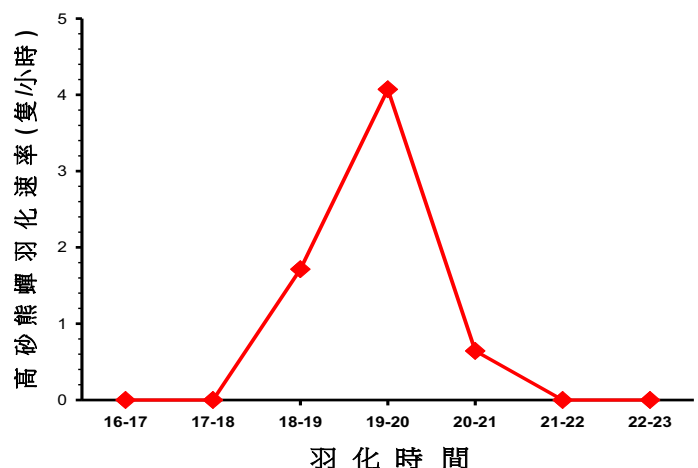


圖 13、高砂熊蟬每日羽化高峰時間。

七、終齡若蟲各階段羽化時間紀錄：

依圖 14 可以看出三種研究物種的羽化過程總時間分別為：高砂熊蟬（ 65.59 ± 3.87 分鐘）、蟋蟀蟬（ 57.63 ± 6.21 分鐘）、薄翅蟬（ 75.19 ± 6.82 分鐘），可以看出薄翅蟬羽化所需時間較長，蟋蟀蟬在三種研究物種中羽化所需時間最短。

從圖 14 及 15 中可以看出在四個羽化階段（第一階段：殼裂至頭出、第二階段：頭出至足腹出、第三階段：足腹出至翅撐平及第四階段：翅撐平至完成羽化），三種蟬羽化過程中大部分時間都耗費在頭出至足腹出來上面（約 23~31 分鐘），其次則是翅撐平至完成羽化階段（約 15~20 分鐘），足腹出至翅撐平階段所耗費時間在三種物種中都最短的，約耗時 9~14 分鐘。另外，從圖 15 的折線圖可以明顯看出，三種蟬在各階段羽化所耗費的時間都相似，只有薄翅蟬在頭出至足腹出及足腹出至翅撐平這兩階段上面明顯比其他二種物種耗費更多時間。

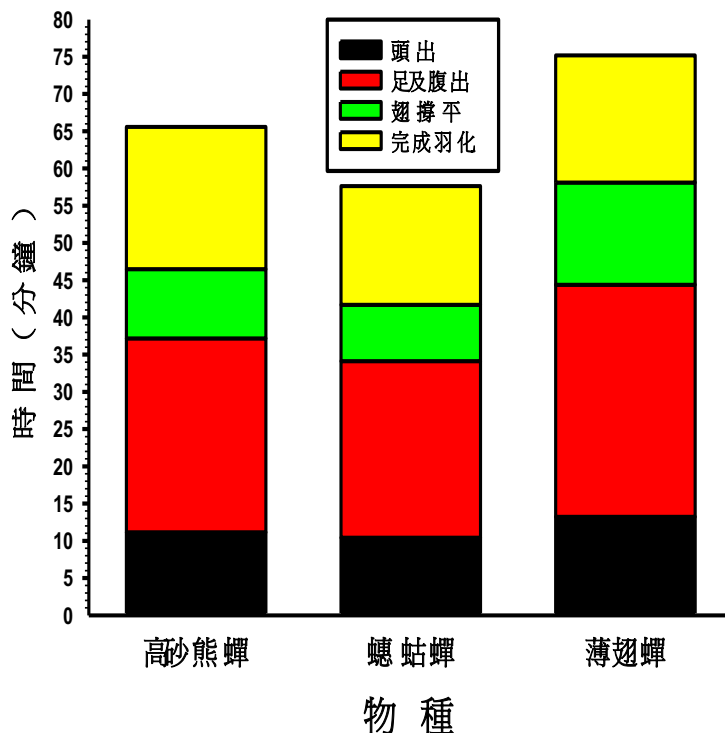


圖 14、三種蟬（高砂熊蟬、蟋蟀蟬及薄翅蟬）羽化過程所需時間及各階段時間。

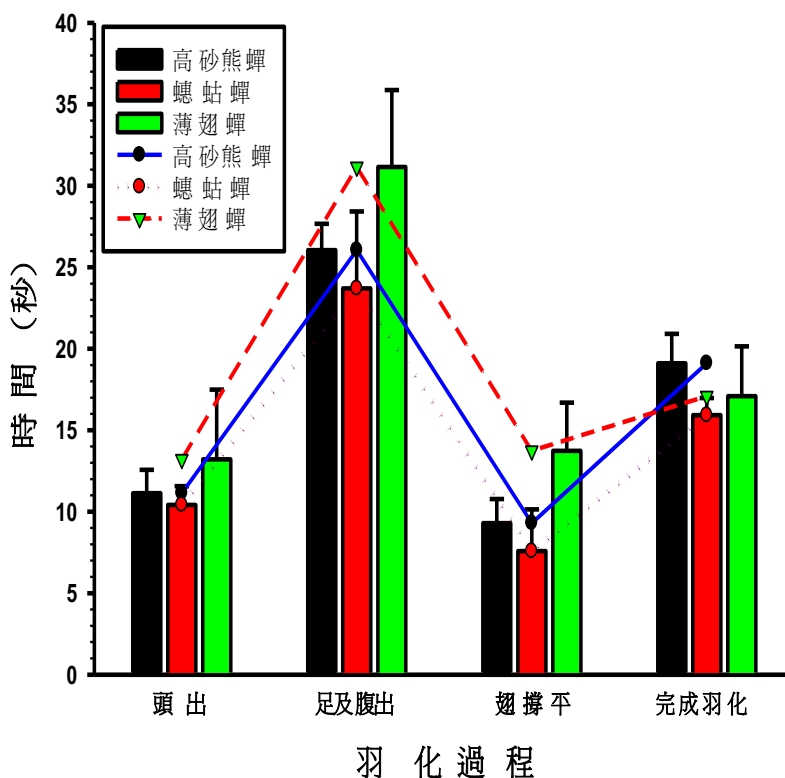


圖 15、三種蟬（高砂熊蟬、蟋蟀蟬及薄翅蟬）羽化過程各階段時間。

八、高砂熊蟬幼生期推估實驗：

從桃園及苗栗地區的部分學校及公園調查樹木種植年份及是否有高砂熊蟬爬上樹羽化這個實驗結果中(表二)可以發現研究地點數目種植(移植)時間短於四年的樹木上都沒有高砂熊蟬的羽化紀錄,而從樹木種植五年的樹木才開始有高砂熊蟬終齡若蟲爬上樹羽化,但是調查四個樣區只有一個樣區有終齡若蟲羽化紀錄(25%)。而若樣區內樹木種植(移植)時間達六年或超過六年以上的樣區,則都有高砂熊蟬終齡若蟲爬上樹羽化的紀錄(100%)。

表二、調查地點樹木種植(移植)年份或學校公園成立時間與是否有高砂熊蟬羽化相關聯性分析。(「-」表示無調查資料)

調查地點蟬的羽化狀況	調查地點樹木種植年份或學校公園成立時間					
	一年以內	一年	二年	三年	四年	五年
羽化百分比(高砂熊蟬)	-	0% (0/4)	0% (0/2)	-	0% (0/2)	25% (1/4)
調查地點蟬的羽化狀況	調查地點樹木種植年份或學校公園成立時間					
	六年	七年	八年	九年	十年	十年以上
羽化百分比(高砂熊蟬)	100% (4/4)	100% (8/8)	100% (5/5)	100% (6/6)	100% (2/2)	100% (10/10)

九、判斷雌雄終齡若蟲蟬殼：

我們分析了高砂熊蟬雌、雄蟬殼七項外部型態特徵(體全長、頭長、胸長、腹長、頭寬、胸寬及腹寬),發現其七項特徵在雌雄蟬殼都無顯著差異(表三, $p > 0.05$),並無法區分雌雄蟬殼。但是,我們以解剖顯微

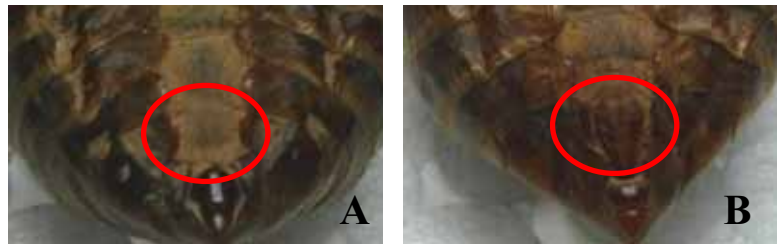


圖 16、找出判斷終齡若蟲雌雄蟬殼的辨別特徵, A=雄蟬殼; B=雌蟬殼。

鏡觀察高砂熊蟬雌雄蟬殼腹部末端時發現雌雄蟬殼在最末腹板有明顯差異(圖 16),在圖 16A 紅色圓圈中可明顯看出,其腹版平整無突起(雄蟬殼),而圖 16B 紅色圓圈中則可看到有明顯突起的生殖器(產卵管)構造(雌蟬殼)。

表三、高砂熊蟬雌、雄蟬殼七項外部型態特徵(體全長、頭長、胸長、腹長、頭寬、胸寬及腹寬)平均值與標準偏差(括弧內數值),不同英文字母(a, b, c.....)代表以鄧氏多變域測驗法分析顯示兩者有顯著差異($p < 0.05$)。

高砂熊蟬(若蟲)性別	外部型態特徵(mm)						
	體全長	頭長	胸長	腹長	頭寬	胸寬	腹寬
雄蟲(N=24)	31.72 (1.67) a	7.60 (0.44) a	15.84 (1.76) a	20.48(0.76) a	11.70 (0.69) a	12.90 (0.93) a	12.50 (0.56) a
雌蟲(N=24)	32.04 (1.90) a	7.95 (1.55) a	15.98 (1.59) a	20.02 (2.04) a	11.65 (0.77) a	13.71 (3.84) a	12.56 (1.14) a

十、七種蟬殼（終齡若蟲）形態測量結果：

（一）七種終齡若蟲蟬殼頭、胸、腹部及體積八型態特徵分析：

我們從表四的結果中可以看出七種終齡若蟲蟬殼：

- 1.體全長（mm）只有騷蟬和端黑蟬無差異（ $p > 0.05$ ），無法區別，其他彼此之間都有顯著差異（ $p < 0.05$ ），可以相互區別。
- 2.而在頭長的分析中，臺灣熊蟬與高砂熊蟬無顯著差異（ $p > 0.05$ ），薄翅蟬、端黑蟬及蟋蟀蟬無顯著差異（ $p > 0.05$ ），其他彼此間則有顯著差異（ $p < 0.05$ ）。
- 3.胸長的分析中，紅脈熊蟬與高砂熊蟬無顯著差異（ $p > 0.05$ ），薄翅蟬、端黑蟬及蟋蟀蟬無顯著差異（ $p > 0.05$ ），其他彼此間則有顯著差異（ $p < 0.05$ ）。
- 4.腹長的分析中，紅脈熊蟬與高砂熊蟬無顯著差異（ $p > 0.05$ ），薄翅蟬及端黑蟬無顯著差異（ $p > 0.05$ ），其他彼此間則有顯著差異（ $p < 0.05$ ）。
- 5.頭寬的分析中，薄翅蟬、端黑蟬及蟋蟀蟬無顯著差異（ $p > 0.05$ ），其他彼此間則有顯著差異（ $p < 0.05$ ）。
- 6.胸寬的分析中，紅脈熊蟬與高砂熊蟬無顯著差異（ $p > 0.05$ ），薄翅蟬及端黑蟬無顯著差異（ $p > 0.05$ ），其他彼此間則有顯著差異（ $p < 0.05$ ）。
- 7.腹寬的分析中，紅脈熊蟬與臺灣熊蟬無顯著差異（ $p > 0.05$ ），薄翅蟬、端黑蟬及蟋蟀蟬無顯著差異（ $p > 0.05$ ），騷蟬及蟋蟀蟬無顯著差異（ $p > 0.05$ ），其他彼此間則有顯著差異（ $p < 0.05$ ）。
- 8.在體積的分析中，紅脈熊蟬與高砂熊蟬無顯著差異（ $p > 0.05$ ），薄翅蟬、端黑蟬及蟋蟀蟬無顯著差異（ $p > 0.05$ ），其他彼此間則有顯著差異（ $p < 0.05$ ）。

表四、七種終齡若蟲蟬殼的頭、胸、腹部及體積八項型態特徵（體全長、頭長、胸長、腹長、頭寬、胸寬、腹寬及體積）平均值與標準偏差（括弧內數值）。不同英文字母(a, b, c...)代表以鄧氏多變域測驗法分析顯示兩者有顯著差異（ $p < 0.05$ ）。

外部型態 特徵測量 (mm)	物 種						
	臺灣熊蟬 (N=9)	紅脈熊蟬 (N=13)	高砂熊蟬 (N=33)	騷蟬 (N=13)	薄翅蟬 (N=8)	端黑蟬 (N=14)	蟋蟀蟬 (N=15)
體全長	36.81 (1.46) a	34.40 (1.20) b	31.41 (3.73) c	27.04 (2.04) d	21.18 (0.47) e	25.20 (1.64) d	16.90 (0.80) f
頭長	8.50 (0.43) a	7.02 (0.40) b	7.92 (1.61) a	6.07 (0.37) c	4.55 (0.25) d	4.78 (0.30) d	4.79 (0.27) d
胸長	19.08 (0.62) a	16.22 (0.92) b	15.98(1.59) b	12.91 (0.42) c	9.05 (0.59) d	9.55 (0.82) d	9.29 (0.44) d
腹長	23.35 (0.94) a	21.37 (1.46) b	20.66 (2.97) b	17.26 (0.87) c	13.13 (0.75) d	13.92 (1.08) d	10.40 (0.69) e
頭寬	12.44 (0.40) a	11.09 (0.33) b	11.82 (1.07) c	8.03 (0.35) d	6.60 (0.24) e	6.49 (0.37) e	7.07 (0.53) e
胸寬	15.56 (0.90) a	13.41 (0.59) b	12.87 (1.39) b	9.42 (0.82) c	7.12 (0.37) e	7.26 (0.69) e	8.33 (0.30) d
腹寬	14.87 (0.69) a	14.24 (2.76) a	12.70 (1.26) b	8.85 (0.33) c	7.49 (0.47) d	7.31 (0.61) d	8.44 (0.39) c, d
體積 (mm ³)	5.80 (0.98) (N=5) a	4.04 (0.13) (N=5) b	3.71 (0.40) (N=9) b	1.78 (0.15) (N=5) c	1.02 (0.16) (N=5) d	0.84 (0.05) (N=5) d	0.96 (0.25) (N=5) d

(二) 七種終齡若蟲蟬殼九項足部特徵分析 (表五):

- 1.前足腿節長 (mm) 分析中, 臺灣熊蟬與騷蟬無差異 ($p > 0.05$), 紅脈熊蟬與騷蟬無差異 ($p < 0.05$), 薄翅蟬與蟋蟀蟬無顯著差異 ($p > 0.05$), 其他物種彼此間則有顯著差異 ($p < 0.05$)。
- 2.前足脛節長的分析中, 紅脈熊蟬、高砂熊蟬與騷蟬無顯著差異 ($p > 0.05$), 薄翅蟬、端黑蟬與蟋蟀蟬無顯著差異 ($p > 0.05$), 其他物種彼此間則有顯著差異 ($p < 0.05$)。
- 3.前足跗節長的分析中, 臺灣熊蟬、紅脈熊蟬、高砂熊蟬與騷蟬無顯著差異 ($p > 0.05$), 紅脈熊蟬與高砂熊蟬無顯著差異 ($p > 0.05$), 薄翅蟬及端黑蟬無顯著差異 ($p > 0.05$), 無法區別, 其他物種彼此間則有顯著差異 ($p < 0.05$)。
- 4.在中足腿節長的分析中, 臺灣熊蟬、紅脈熊蟬、高砂熊蟬及騷蟬間無顯著差異 ($p > 0.05$), 薄翅蟬、端黑蟬與蟋蟀蟬無顯著差異 ($p > 0.05$), 無法區別, 其他物種

表五、七種終齡若蟲蟬殼九項足部特徵 (前足腿節、前足脛節、前足跗節、中足腿節、中足脛節、中足跗節、後足腿節、後足脛節及後足跗節) 平均值與標準偏差 (括弧內數值)。不同英文字母(a, b, c.....)代表以鄧氏多變域測驗法分析顯示兩者有顯著差異 ($p < 0.05$)。

外部型態 特徵測量 (mm)	物 種						
	臺灣熊蟬 (N=11)	紅脈熊蟬 (N=12)	高砂熊蟬 (N=28)	騷蟬 (N=7)	薄翅蟬 (N=8)	端黑蟬 (N=15)	蟋蟀蟬 (N=15)
前足腿節	7.57(0.83) a	8.19 (0.56) b	6.76 (0.78) c	7.76 (0.71) a, b	3.77 (0.41) d	5.27 (0.47) e	4.46 (0.34) d
前足脛節	7.17 (0.25) a	6.38 (0.65) b	6.54 (0.34) b	5.98 (0.90) b	3.79 (0.12) c	3.80 (0.23) c	4.26 (0.52) c
前足跗節	5.03 (0.09) a	4.45 (0.35) a, b	4.70 (0.29) a, b	3.76 (0.12) c	2.39 (0.28) d	4.70 (0.29) d	2.91 (0.26) e
中足腿節	4.75(0.57) a	4.34 (0.52) a	4.67 (0.83) a	4.33 (0.34) a	2.92 (0.69) b	2.89 (0.65) b	3.07(0.31) b
中足脛節	7.64(0.41) a	6.57 (0.48) b	6.90 (1.06) b	6.53 (0.46) b	3.89 (0.48) c	4.17(0.77) c	4.01(0.23) c
中足跗節	12.76(0.56) a	11.39 (0.45) b	11.25 (1.54) b	11.32 (0.58) b	7.02 (0.29) c	6.74 (0.80) c	7.40 (0.40) c
後足腿節	5.02 (0.58) a	4.45(0.46) b	4.41 (0.71) b	4.30 (0.19) b	3.00 (0.45) c	3.45 (0.82) c	3.00 (0.54) c
後足脛節	7.61 (0.86) a	6.83 (0.48) b	6.81 (1.04) b	6.79(0.57) b	4.36 (0.46) c	4.00 (0.38) c	4.20 (0.38) c
後足跗節	12.23 (0.49) a	11.56 (1.06) b	11.11 (0.81) b	10.99 (0.44) b	7.04 (0.42) c	7.41 (0.48) c	6.99 (0.41) c

彼此間則有顯著差異 ($p < 0.05$)。

5. 中足及後足脛節、跗節與後足腿節的分析中，紅脈熊蟬、高砂熊蟬與騷蟬無顯著差異 ($p > 0.05$)，薄翅蟬、端黑蟬及螻蛄蟬無顯著差異 ($p > 0.05$)，其他彼此間則有顯著差異 ($p < 0.05$)。

(三) 七種終齡若蟲複眼距離、口器長、額唇基長及額唇基寬分析 (表六)：

1. 複眼距離 (mm) 分析中，紅脈熊蟬與高砂熊蟬無差異 ($p > 0.05$)，騷蟬、薄翅蟬及螻蛄蟬無顯著差異 ($p > 0.05$)，其他彼此間則有顯著差異 ($p < 0.05$)。
2. 口器長的分析中，臺灣熊蟬與騷蟬無顯著差異 ($p > 0.05$)，紅脈熊蟬與高砂熊蟬無顯著差異 ($p > 0.05$)，薄翅蟬及螻蛄蟬無顯著差異 ($p > 0.05$)，其他彼此間則有顯著差異 ($p < 0.05$)。
3. 額唇基長的分析中，紅脈熊蟬及高砂熊蟬無顯著差異 ($p > 0.05$)，紅脈熊蟬及騷蟬無顯著差異 ($p > 0.05$)，薄翅蟬、端黑蟬及螻蛄蟬無顯著差異 ($p > 0.05$)，其他彼此間則有顯著差異 ($p < 0.05$)。
4. 額唇基寬的分析中，紅脈熊蟬、高砂熊蟬與騷蟬無顯著差異 ($p > 0.05$)，高砂熊蟬、騷蟬、薄翅蟬、端黑蟬及螻蛄蟬無顯著差異 ($p > 0.05$)，其他彼此間則有顯著差異 ($p < 0.05$)。

表六、七種終齡若蟲蟬殼複眼距離、口器長、額唇基長及額唇基寬的平均值與標準偏差 (括弧內數值)。不同英文字母(a, b, c....)代表以鄧氏多變域測驗法分析顯示兩者有顯著差異 ($p < 0.05$)。

外部型態 特徵測量 (mm)	物 種						
	臺灣熊蟬 (N=11)	紅脈熊蟬 (N=12)	高砂熊蟬 (N=24)	騷蟬 (N=7)	薄翅蟬 (N=8)	端黑蟬 (N=15)	螻蛄蟬 (N=13)
複眼距	5.42 (0.51) a	4.30 (0.84) b	4.77 (0.90) b	3.64 (0.56) c	3.51 (0.30) c	2.63 (0.55) d	3.52 (0.29) c
口器長	6.98 (0.34) a	7.60 (0.59) b	7.57 (0.96) b	6.73 (0.22) a	4.65 (0.48) c	4.00 (0.48) d	5.08 (0.54) c
額唇基長	9.00 (1.28) a	7.61 (0.99) b, c	7.74 (1.44) b	6.52 (0.85) c	4.77 (1.97) d	4.86(0.61) d	4.99 (1.51) d
額唇基寬	6.78 (0.52) a	4.95 (1.49) b	3.83 (2.65) b, c	3.90 (0.33) b, c	3.35 (1.48) c	3.19 (0.40) c	3.44 (0.43) c

(四) 七種終齡若蟲（蟬殼）體色差異：

從圖 17 中可以看出，七種蟬的蟬殼顏色有差異，從灰階值的測量結果也可以看出，端黑蟬的蟬殼顏色最深（灰階值=20.23±3.67），其他六種蟬殼顏色由深至淺分別為臺灣熊蟬（22.53±3.38）、高砂熊蟬（24.31±7.07）、紅脈熊蟬（25.06±5.68）、騷蟬（48.22±9.51）、騷蟬（49.85±6.83）及薄翅蟬（59.67±10.56）。

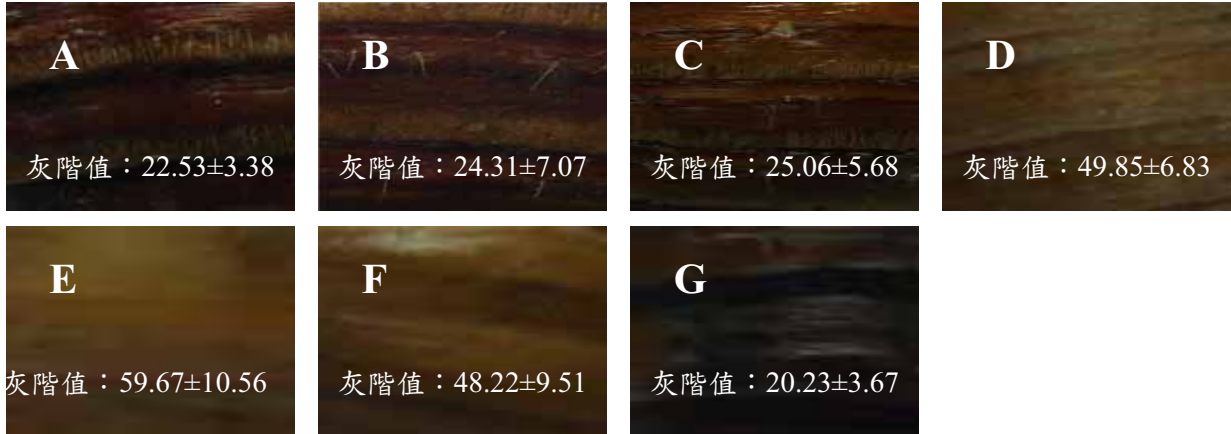


圖 17、七種終齡若蟲（蟬殼）體色差異，A:臺灣熊蟬、B:高砂熊蟬、C:紅脈熊蟬、D:騷蟬、E:薄翅蟬、F:蟋蟀蟬及 G:端黑蟬。

(五) 七種終齡若蟲（蟬殼）前足形態差異：

從圖 18A~F 的七種蟬殼（終齡若蟲）前足照片中可以看出此七種終齡若蟲前足都為開掘足，脛節向前延伸以保護跗節，腿節上具有不同形狀的耙形齒列突起（Snodgrass,1970；貢 1991），適合耙土挖掘。我們可以發現紅色箭頭處的大型（第一）齒列突起、藍色箭頭處的第二齒列突起及黃色箭頭指處接近脛節處的三個小齒列突起仔細比對後各物種間都有差異。因此，可以作為蟬殼鑑種的重要依據，且前足上也有不同的毛列分佈（圖 18 黑色箭頭指處），也可提供蟬殼鑑種依據。

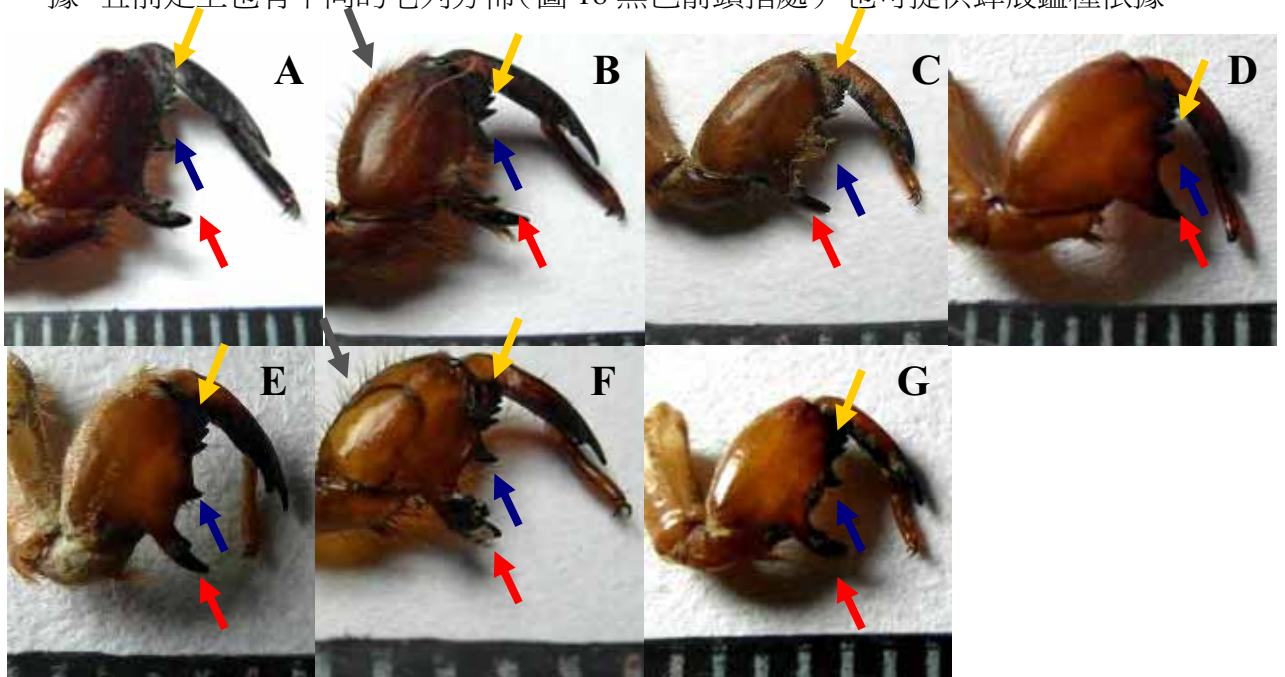


圖 18、七種終齡若蟲（蟬殼）前足形態差異，A:臺灣熊蟬、B:高砂熊蟬、C:紅脈熊蟬、D:騷蟬、E:薄翅蟬、F:蟋蟀蟬及 G:端黑蟬（比例尺為直尺：一小格為 1mm）。

十一、蟬殼特徵檢索鑑種探討：

我們依照前述蟬殼（終齡若蟬）的 21 項測量特徵（體全長、頭長、胸長、腹長、體積、頭寬、胸寬、腹寬、前足腿節、前足脛節、前足跗節、中足腿節、中足脛節、中足跗節、後足腿節、後足脛節、後足跗節、複眼距離、口器長、額唇基長及額唇基寬），選擇適合的特徵（數值差異大且無重疊，足以區別物種的特徵），包括體全長、頭寬、胸寬、腹寬、體積及胸長六項特性，並依照這些特徵差異將七種蟬殼加以區別，並建立分類檢索表（圖 19）。

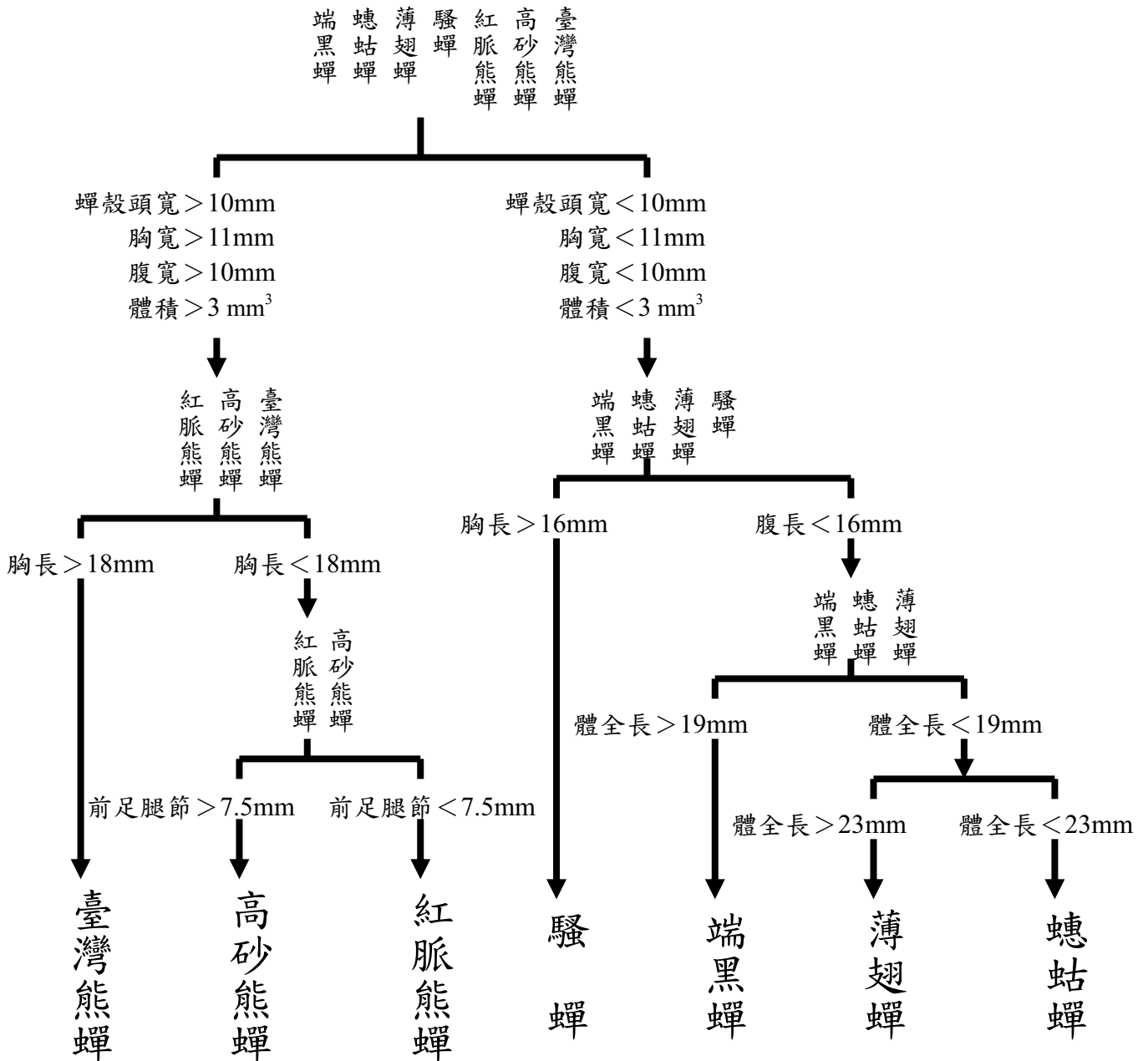


圖 19、依照前述蟬殼的 21 項測量特徵選擇適合的特徵（體全長、頭寬、胸寬、腹寬、體積及胸長六項特性）建立分類檢索表。

十二、終齡若蟲與成蟲形態關聯性探討：

(一) 頭、胸、腹部及體積關聯性探討：

從表七中可以看出，六種蟬（臺灣熊蟬、紅脈熊蟬、高砂熊蟬、騷蟬、薄翅蟬及螻蛄蟬）的蟬殼與成蟲八項特徵（體全長、頭長、胸長、腹長、頭寬、胸寬、腹寬及體積）分析中發現臺灣熊蟬的頭長和胸長、高砂熊蟬的頭長和腹長、紅脈熊蟬的腹寬、薄翅蟬的體全長和腹寬及螻蛄蟬的胸寬這 8 項特徵（8/45）在成蟲與終齡若蟲並無差異（ $p > 0.05$ ），其餘 37 項（37/45）均有顯著差異（ $p < 0.05$ ），無法藉由蟬殼特徵比對出成蟲物種。

表七、終齡若蟲蟬殼與成蟲頭、胸、腹部及體積八形態測量的平均值與標準偏差（括弧內數值）。不同英文字母(a, b, c....)代表以鄧氏多變域測驗法分析顯示兩者有顯著差異（ $p < 0.05$ ）。

物種	成蟲或若蟲蟬殼	外部型態特徵 (mm)							
		體全長	頭長	胸長	腹長	頭寬	胸寬	腹寬	體積 (mm ³)
臺灣熊蟬	成蟲 (N=5)	49.83 (1.79) a	10.52 (2.84) a	18.06 (4.94) a	26.62 (3.67) a	17.61 (0.46) a	20.69 (1.33) a	19.33 (0.73) a	8.75 (0.24) (N=4) a
	蟬殼 (N=11)	36.83 (1.41) b	8.70 (0.59) a	19.10 (0.56) a	23.52 (1.02) b	12.34 (0.42) b	15.56 (0.90) b	14.90 (0.62) b	5.80 (0.24) (N=5) b
高砂熊蟬	成蟲 (N=3)	43.27 (1.78) a	11.25 (0.78) a	12.31 (1.55) a	23.90 (3.40) a	14.24 (3.35) a	16.90 (0.53) a	18.34 (0.59) a	6.33 (0.23) (N=3) a
	蟬殼 (N=33)	31.41 (3.73) b	7.92 (1.61) a	15.98 (1.59) b	20.66 (2.97) a	11.82 (1.07) b	12.87 (1.39) b	12.70 (1.26) b	3.71 (0.40) (N=9) b
紅脈熊蟬	成蟲 (N=3)	44.51 (0.36) a	9.86 (0.19) a	11.73 (2.39) a	24.93(3.95) a	15.55 (1.33) a	17.88 (1.07) a	17.95 (1.11) a	6.70 (0.71) (N=2) a
	蟬殼 (N=13)	34.40 (1.20) b	7.02 (0.40) b	16.22 (0.92) b	21.37 (1.46) b	11.09 (0.33) b	13.41 (0.59) b	14.24 (2.76) a	4.08 (0.13) (N=4) b
騷蟬	成蟲 (N=3)	44.21 (0.10) a	8.77 (0.02) a	9.73 (0.18) a	28.38 (0.74) a	9.04 (0.34) a	13.53 (0.68) a	14.47 (0.12) a	
	蟬殼 (N=13)	27.04(2.04) b	6.07 (0.37) b	12.91 (0.42) b	17.26 (0.87) b	8.03 (0.35) b	9.42 (0.82) b	8.85 (0.33) b	
薄翅蟬	成蟲 (N=3)	21.28 (0.52) a	7.18 (0.50) a	5.82 (0.85) a	11.23 (0.40) a	8.20 (0.45) a	9.81 (0.35) a	8.89 (0.12) a	
	蟬殼(N=8)	21.18 (0.47) a	4.55 (0.25) b	9.05 (0.59) b	13.13 (0.75) b	6.60 (0.24) b	7.12 (0.37) b	7.49 (0.47) a	
螻蛄蟬	成蟲 (N=4)	20.63 (0.93) a	5.45 (0.44) a	5.57 (0.63) a	12.84 (1.07) a	9.39 (0.29) a	9.00 (4.90) a	10.17 (0.46) a	
	蟬殼 (N=15)	16.90 (0.80) b	4.79 (0.27) b	9.29 (0.44) b	10.40(0.69) b	7.07 (0.53) b	8.33 (0.30) a	8.44 (0.39) b	

(二) 足部九項形態關聯性探討：

從表八中可以看出，六種蟬（臺灣熊蟬、紅脈熊蟬、高砂熊蟬、騷蟬、薄翅蟬及螻蛄蟬）蟬殼與成蟲九項足部特徵（前足腿節、前足脛節、前足跗節、中足腿節、中足脛節、中足跗節、後足腿節、後足脛節及後足跗節）分析發現：

1. 臺灣熊蟬成蟲與終齡若蟲蟬殼的中後足腿節無差異 ($p > 0.05$)，前足腿節、前中後足脛節及前中後足跗節有顯著差異 ($p < 0.05$)。
2. 高砂熊蟬成蟲與終齡若蟲蟬殼的足部九項特徵，除了前足腿、脛及跗節在成蟲與蟬殼間有顯著差異外 ($p < 0.05$)，其他六項特徵均無差異 ($p > 0.05$)。

表八、終齡若蟲蟬殼與成蟲足部九項外部型態特徵的平均值與標準偏差（括弧內數值）。不同英文字母(a, b, c....)代表以鄧氏多變域測驗法分析顯示兩者有顯著差異 ($p < 0.05$)。

物種	成蟲或若蟲蟬殼	外部型態特徵 (mm)								
		前足腿節	前足脛節	前足跗節	中足腿節	中足脛節	中足跗節	後足腿節	後足脛節	後足跗節
臺灣熊蟬	成蟲 (N=5)	8.64 (0.58) a	10.20 (0.64) a	13.13 (0.34) a	5.27 (0.29) a	9.07 (0.62) a	14.66 (0.80) a	4.74 (0.18) a	8.81 (0.83) a	13.88 (0.09) a
	蟬殼 (N=11)	7.17 (0.25) b	5.03 (0.09) b	7.60 (0.93) b	4.75 (0.57) a	7.64 (0.41) b	12.76 (0.56) b	5.02 (0.58) a	7.61 (0.86) b	12.23 (0.49) b
高砂熊蟬	成蟲 (N=3)	7.80 (0.87) a	8.13 (1.92) a	11.21 (1.67) a	4.89 (0.30) a	8.78 (1.78) a	10.01 (5.82) a	4.86 (0.74) a	9.55 (2.54) a	9.48 (0.11) a
	蟬殼 (N=33)	6.54 (0.34) b	4.70 (0.29) b	6.68 (0.59) b	4.67 (0.83) a	6.90 (1.06) a	11.25 (1.54) a	4.41 (0.71) a	6.81 (1.04) a	11.11 (0.81) a
紅脈熊蟬	成蟲 (N=3)	6.68 (0.54) a	5.83 (1.63) a	6.74 (0.01) a	5.59 (1.32) a	10.58 (2.77) a	6.85 (4.93) a	5.93 (1.12) a	11.79 (3.57) a	4.01 (0.23) a
	蟬殼 (N=13)	6.38 (0.65) a	4.45 (0.35) a	8.19 (0.80) b	4.34 (0.52) b	6.57 (0.48) b	11.39 (0.45) b	4.45 (0.46) b	6.83 (0.48) b	11.56 (1.06) b
騷蟬	成蟲 (N=3)	6.68 (0.37) a	8.01 (0.58) a	11.43 (0.14) a	3.79 (0.19) a	6.91 (0.02) a	13.33 (0.49) a	4.77 (0.23) a	7.36 (0.20) a	14.86 (0.23) a
	蟬殼 (N=13)	5.98 (0.90) a	3.76 (0.12) b	8.09 (0.17) b	4.33 (0.34) b	6.53 (0.46) a	11.32 (0.58) b	4.30 (0.19) b	6.79 (0.57) a	10.99 (0.44) b
薄翅蟬	成蟲 (N=3)	3.72 (0.01) a	5.15 (0.16) a	7.02 (0.16) a	2.65 (0.03) a	4.49 (0.15) a	7.09 (0.14) a	3.31 (0.21) a	4.28 (0.23) a	8.02 (0.31) a
	蟬殼 (N=8)	3.79 (0.12) a	2.39 (0.28) b	4.06 (0.42) b	2.92 (0.69) a	3.89 (0.48) a	7.02 (0.29) a	3.00 (0.45) a	4.36 (0.46) a	7.04 (0.42) a
螻蛄蟬	成蟲 (N=4)	4.10 (0.44) a	5.01 (0.30) a	7.86 (0.40) a	2.74 (0.13) a	4.78 (0.20) a	9.16 (0.18) a	2.81 (0.44) a	5.16 (0.45) a	8.90 (0.63) a
	蟬殼 (N=15)	4.26 (0.52) a	2.91 (0.25) b	4.58 (0.18) b	3.07 (0.31) a	4.01 (0.23) b	7.40 (0.40) b	3.00 (0.54) a	4.20 (0.38) b	6.99 (0.41) b

- 3.紅脈熊蟬成蟲與終齡若蟲蟬殼的足部九項特徵，除了前足腿節及脛節在成蟲與蟬殼間無差異外 ($p > 0.05$)，其他七項特徵均有顯著差異 ($p < 0.05$)。
- 4.騷蟬成蟲與蟬殼的前足腿節、中足脛節、後足脛節無差異外 ($p > 0.05$)，其他六項特徵則有顯著差異 ($p < 0.05$)。
- 5.薄翅蟬成蟲與蟬殼的前足脛節及跗節無差異 ($p > 0.05$)，其他七項特徵則有顯著差異 ($p < 0.05$)。
- 6.螻蛄蟬成蟲與終齡若蟲蟬殼的前、中及後足腿節無差異 ($p > 0.05$)，其他六項特徵則有顯著差異 ($p < 0.05$)。

(三) 複眼距離、口器及額唇基長寬四項特徵關聯性探討：

我們從表九中可以看出，六種蟬（臺灣熊蟬、紅脈熊蟬、高砂熊蟬、騷蟬、薄翅蟬及螻蛄蟬）的蟬殼與成蟲四項特徵（複眼距離、口器長、額唇基長、額唇基寬）分析中發現臺灣熊蟬成蟲與終齡若蟲蟬殼的額唇基寬、高砂熊蟬的口器長和額唇基長寬、紅脈熊蟬的口器長和額唇基長、騷蟬的額唇基寬、薄翅蟬的額唇基寬及螻蛄蟬的額唇基寬這 9 項特徵 (9/24) 在成蟲與終齡若蟲並無差異 ($p > 0.05$)，除了這 9 項特徵外，其餘 15 項 (15/24) 均有顯著差異 ($p < 0.05$)，無法藉由蟬殼特徵比對出成蟲物種。

表九、七種終齡若蟲蟬殼複眼距離、口器長、額唇基長及額唇基寬的平均值與標準偏差（括弧內數值）。不同英文字母(a, b, c.....)代表以鄧氏多變域測驗法分析顯示兩者有顯著差異 ($p < 0.05$)。

物種	成蟲或若蟲蟬殼	外部型態特徵 (mm)			
		複眼距離	口器長	額唇基長	額唇基寬
臺灣熊蟬	成蟲 (N=5)	12.31 (0.70) a	9.26 (0.32) a	7.60 (0.58) a	6.99(0.34) a
	蟬殼(N=11)	5.42 (0.51) b	6.98 (0.34) b	9.00 (1.28) b	6.78(0.52) a
高砂熊蟬	成蟲 (N=3)	10.34 (0.77) a	8.51 (0.29) a	6.50 (0.26) a	5.99 (0.85) a
	蟬殼(N=33)	4.77 (0.90) b	7.57 (0.96) a	7.74 (1.44) a	5.87 (0.45) a
紅脈熊蟬	成蟲 (N=3)	9.85 (0.57) a	8.05 (0.22) a	7.11 (0.60) a	6.20 (0.39) a
	蟬殼(N=13)	4.30 (0.84) b	7.60 (0.59) a	7.61 (0.99) a	4.95 (1.49) b
騷蟬	成蟲 (N=3)	6.94 (0.22) a	13.23 (0.38) a	5.22 (0.23) a	3.81 (0.09) a
	蟬殼(N=13)	3.64 (0.56) b	6.73 (0.22) b	6.52 (0.85) b	3.90 (0.33) a
薄翅蟬	成蟲 (N=3)	6.40 (0.39) a	5.36 (0.52) a	3.52 (0.04) a	3.45 (0.04) a
	蟬殼(N=8)	3.51 (0.30) b	4.65 (0.48) b	4.77 (1.97) b	3.35 (1.48) a
螻蛄蟬	成蟲 (N=4)	5.09 (0.20) a	9.52 (0.33) a	3.95 (0.27) a	3.33 (0.15) a
	蟬殼(N=15)	3.52 (0.29) b	5.08 (0.54) b	4.99 (1.51) b	3.44 (0.43) a

(四) 胸寬/體全長標準化比值關聯性探討：

從表十及圖 20 中可以看出臺灣熊蟬、紅脈熊蟬及高砂熊蟬成蟲與蟬殼的胸寬/體全長的標準化比值相近，從表十中將成蟲比值除以蟬殼比值的結果都接近 1，更可以明顯看出成蟲與蟬殼的胸寬/體全長的標準化幾乎一樣。另外，可以看出騷蟬成蟲的胸寬/體全長的標準化比值大於蟬殼的比值，將成蟲比值除以蟬殼比值的結果為 1.20，顯示蟬殼（終齡若蟲）比成蟲瘦長。而薄翅蟬與螻蛄蟬成蟲的胸寬/體全長的標準化比值小於蟬殼（終齡若蟲）的比值，將成蟲比值除以蟬殼比值的結果為分別為 0.73 及 0.89，顯示蟬殼（終齡若蟲）比成蟲圓胖。從表十及圖 20 中也可以看出 6 種蟬中，成蟲和蟬殼（終齡若蟲）都是螻蛄蟬最圓胖。

表十、六種終零若蟲（臺灣熊蟬、高砂熊蟬、紅脈熊蟬、騷蟬、薄翅蟬及螻蛄蟬）成蟲與蟬殼的胸寬/體全長標準化比值平均值與標準偏差（括弧內數值）之關聯性。

齡期類別 \ 物種	臺灣熊蟬	紅脈熊蟬	高砂熊蟬	騷蟬	薄翅蟬	螻蛄蟬
	(成蟲 N=5, 蟬殼 N=11)	(成蟲 N=3, 蟬殼 N=13)	(成蟲 N=4, 蟬殼 N=33)	(成蟲 N=3, 蟬殼 N=7)	(成蟲 N=3, 蟬殼 N=8)	(成蟲 N=4, 蟬殼 N=8)
成蟲 (胸寬/體全長標準化比值)	0.42 (0.02)	0.40 (0.03)	0.40 (0.04)	0.35 (0.06)	0.34 (0.02)	0.49 (0.03)
蟬殼 (胸寬/體全長標準化比值)	0.42 (0.03)	0.39 (0.02)	0.39 (0.02)	0.29 (0.03)	0.46 (0.02)	0.56 (0.02)
成蟲比值 / 蟬殼比值	0.99	1.03	1.04	1.20	0.73	0.89

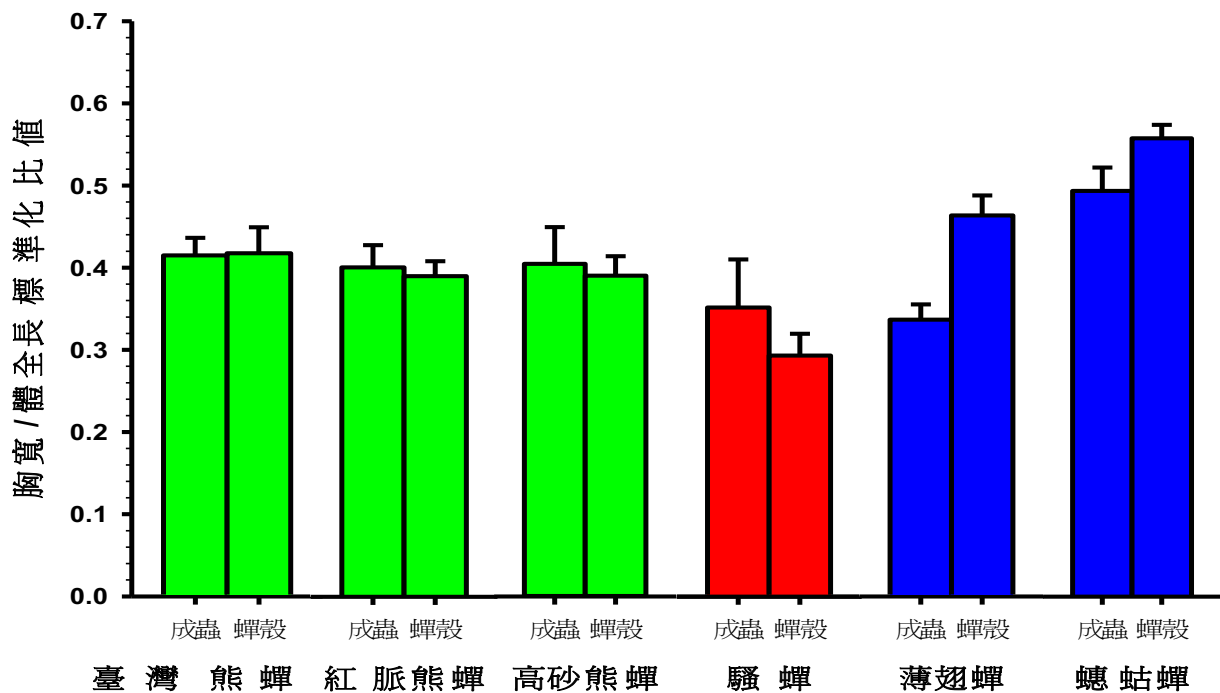


圖 20、六種終零若蟲（臺灣熊蟬、高砂熊蟬、紅脈熊蟬、騷蟬、薄翅蟬及螻蛄蟬）成蟲與蟬殼的胸寬/體全長標準化比值關聯性。

(五) 身體各部位成長百分比關聯性探討：

從圖 21A~F 中可以看出在測量六種蟬蟬殼（終齡若蟲）與成蟲的 21 項特徵中，大多數的特徵在若蟲羽化為成蟲後都有增長，有些特徵還增長了一倍以上（>100%）。我們從身體體積的變化上可以看出熊蟬屬的三種物種都有 50% 以上（臺灣熊蟬：50.86%、紅脈熊蟬：64.22%、高砂熊蟬：70.62%）的增長，另外三種物種因成蟲樣本不足無法計算。結果中也發現：胸寬和額唇基長在六種物種中都呈現負成長（長度變短了）。熊蟬屬的三種物種在中足腿節呈現正成長，但是其他三種蟬（騷蟬、薄翅蟬及螻蛄蟬）的中足腿節則呈現負成長。另外，還有些物種在部分特徵上也呈現負成長，包括臺灣熊蟬的後足腿節、紅脈熊蟬的中足及後足跗節、高砂熊蟬的前中後足跗節、騷蟬的額唇基寬、薄翅蟬的腹長、螻蛄蟬的前後腿節及額唇基寬。

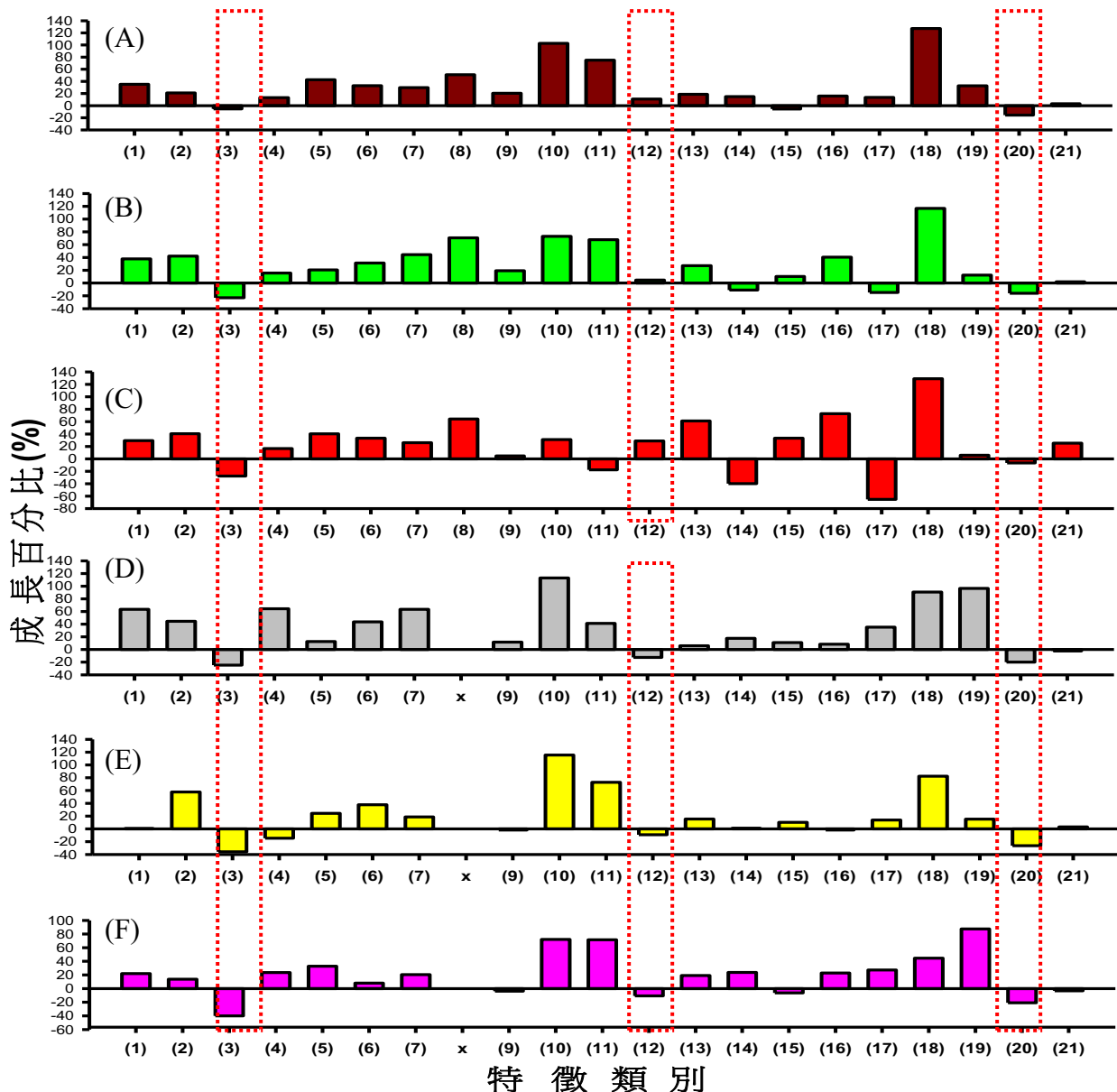


圖 21、六種終零若蟲（A：臺灣熊蟬、B：高砂熊蟬、C：紅脈熊蟬、D：騷蟬、E：薄翅蟬及 F：螻蛄蟬）羽化成蟲後身體各部位成長百分比（%）。(1):體全長；(2):頭長；(3):胸長；(4):腹長；(5):頭寬；(6):胸寬；(7):腹寬；(8):蟬身體體積；(9):前足腿節；(10):前足脛節；(11):前足跗節；(12):中足腿節；(13):中足脛節；(14):中足跗節；(15):後足腿節；(16):後足脛節；(17):後足跗節；(18):複眼距離；(19):口器長；(20):額唇基長；(21):額唇基寬；x:無數據。

陸、討論

一、下雨情況是否影響終齡若蟲鑽出土羽化：

我們從此實驗的結果中的發現跟原本自己的推測有些不同，原本以為下雨天會干擾終齡若蟲爬出羽化，因此爬出羽化的數量應該會比較少。但是調查結果卻是下雨後幾天若蟲爬出羽化的數量明顯降低。推測原因可能是終齡若蟲在要羽化前幾天就已經爬至接近地表的土壤表層，而下雨時土表層土壤含水量高，若蟲又無法迅速（從若蟲爬行速度測試實驗結果可知其爬行速度緩慢）鑽回深層土壤中，因此爬出地表羽化，而下雨後，土表層土壤含水量高，還躲在較深土壤層的若蟲較少往上爬，因此下雨後的幾天若蟲羽化數量明顯減少。但此推測仍有一問題：下雨時，土表層土壤含水量高，但並沒有觀察到下雨當天若蟲有提早爬出羽化（還是將近 PM06:00 以後才爬出羽化）的現象，在白天時間若蟲不知到是怎樣躲過淹水問題，仍有待釐清。

二、終齡若蟲爬行速度與體全長相關性分析：

我們分析三種終齡若蟲爬行速度發現，三種若蟲爬行速度以體長最長的高砂熊蟬爬行速度最快，爬行速度其次的也是體長介於三者之間的薄翅蟬，最慢的是三種蟬中體長最短的螻蛄蟬，此結果與我們原本推測的相同。但是我們也發現三種若蟲爬行的標準化速度則相似，顯示大的若蟲爬的快是因為跨步距離相對較大造成的。查閱文獻後發現蜚蠊的爬行速度與其胸寬/體全長標準化比值有關聯性，因此分析三種蟬的胸寬/體全長標準化比值（圖 22）後發現愈瘦長（胸寬/體全長標準化比值愈小）的終齡若蟲爬行速度也有愈快的趨勢，與文獻結果相符合（馬等，1997）。

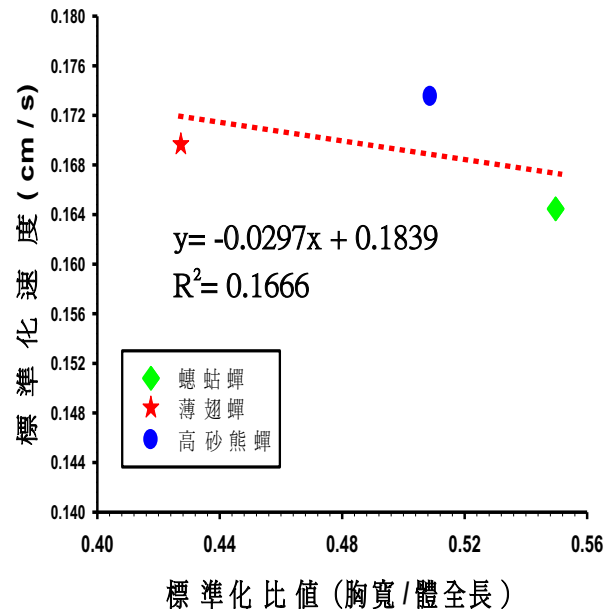


圖 22、三種蟬（高砂熊蟬、螻蛄蟬及薄翅蟬）胸寬/體全長標準化比值與標準化速度 XY 散佈圖。

三、終齡若蟲爬行速度與羽化停棲高度相關性分析：

當初設計調查記錄終齡若蟲羽化停棲高度時並沒有想太多，只記錄若蟲停下羽化的位置，經分析後發現六種蟬（高砂熊蟬、紅脈熊蟬、騷蟬、薄翅蟬、端黑蟬、螻蛄蟬）中高砂熊蟬及紅脈熊蟬羽化停棲高度大多在較高（>300cm）的地方最多（都>50%），而薄翅蟬、端黑蟬及螻蛄蟬羽化停棲高度大多在較低（<300cm）的地方最多（都>80%），此三種蟬中，又以螻蛄蟬羽化時停棲在較低位置的相對百分比比較高（76.74%）。從此結果中可以看出體型較大（跨步距離較大，爬行速度較快）的蟬確實有比較高的比例都爬到較高的位置。但是，在進行此項實驗記錄時，我們也發現臺灣熊蟬體型最大，若對照其他物種資料，其爬行速度應該也較快（調查時沒找到剛爬出的若蟲，沒有爬行速度資料），但其羽化停棲的高度卻都低於 300cm。綜合分析了我們選擇的實驗地點後發

現：臺灣熊蟬的調查地點（棲地）在較複雜的次生林內，喬木（大樹）下灌木及草本植物多，發現臺灣熊蟬蟬殼的地方大多是灌木枝條末端，因此高度都不超過 300 cm，推測臺灣熊蟬若蟲鑽出土後即攀附複雜的灌木及草本植物向上爬直到枝條末端羽化。而高砂熊蟬、紅脈熊蟬、騷蟬、薄翅蟬、端黑蟬、螻蛄蟬的的調查地點（棲地）都是在公園、校園或山區道路旁，喬木下都經常除草，因此推測體型較大的高砂熊蟬及紅脈熊蟬若蟲鑽出土後雖攀附到草本植物，但因重量較重，可能造成草本植物莖葉倒下，一直到攀附到大樹樹幹後才爬到高處羽化，而爬行速度又都較快，因此爬至較高位置羽化。而體型較小的螻蛄蟬、薄翅蟬及騷蟬，相對重量較輕，若蟲鑽出土後攀附到草本植物，若草本植物莖葉可以支撐若蟲重量，則在草本植物莖及葉處末端羽化（在較低位置羽化的紀錄，大多是在草本植物莖及葉處末端羽化的），若無法支撐的，則爬到大樹樹幹後才爬到較高處羽化，但因爬行速度相對較慢，因此爬至較高位置羽化的比例相對也較少。

四、終齡若蟲羽化干擾實驗：

從干擾實驗結果中可以發現若蟲爬行停止後約需要至少 15 分鐘的完全不受干擾的環境才開始進行羽化，而開始進入羽化狀態的若蟲則無法停止羽化過程，實驗中可能因有些若蟲已近入羽化狀態還受干擾，造成羽化失敗。實驗過程中也發現如果將若蟲放置於平滑容器則若蟲六足無法抓握，則若蟲也會不斷爬行不進行羽化。

五、高砂熊蟬羽化高峰月份及高峰時間：

從結果中可以明顯看出高砂熊蟬羽化月份（七月）及每日羽化時間（PM19:00~PM20:00）都呈現單一高峰。許多種生物都有相同的結果：物種同步羽化，同步生殖，增加生殖成功機率（貢，1996）。至於若蟲是受到哪些環境因子或訊號影響而大多數同步在七月鑽出羽化，則必須測量更多環境因子分析後才可能比較清楚。另外，每日羽化時間集中在 PM19:00~ PM20:00 比較可能的原因是光照度的刺激，但是光照度變化（黃昏）後若蟲也沒有馬上鑽出，還有白天陰天時的光照度也有變化，但是若蟲並不會在白天爬出羽化，因此，可能也是由多項變因共同影響，需進行更多環境因子分析後才可能比較清楚。

六、終齡若蟲各階段羽化時間紀錄：

蟬的羽化過程是蟬一生中相當危險的一個階段，但是每種蟬還是都花了一小時左右才能完成羽化，此次實驗中三種蟬的羽化總時間約在 55~75 分鐘，與文獻的結果相符。且三種蟬各階段的羽化時間也相似，物種間的差異不大。實驗中也觀察到另一現象，新羽化的成蟲都會繼續往高處爬，翅稍稍硬化後，大多會飛至較高處樹上，應該是要躲避地面的掠食者。但是在薄翅蟬調查地點草本及灌木層發現一些蜘蛛網，有剛羽化的薄翅蟬向上飛的時候被蛛網黏住（圖 23）。



圖 23、被蛛網黏住剛羽化的薄翅蟬。

七、高砂熊蟬的幼生期推估實驗：

對於蟬的幼生期並不容易研究觀察，查閱文獻發現不同種蟬的幼生期時間差異很

大，有著名的十七年蟬，也有文獻指出中國大地區的紅脈熊蟬幼生期約 6 年，一直找不到一個方法研究瞭解蟬的幼生期，無意中發現校園樹上有高砂熊蟬成蟲，但是卻沒有高砂若蟲爬出羽化，對照學校五年的創校時間，有了這個想法：調查樹木種植年份及是否有高砂熊蟬爬上樹羽化這個實驗，並藉由此方法間接推估出高砂熊蟬幼生期，雖然無法確定其幼生期時間，但還是可以推估出高砂熊蟬的幼生期約 5~6 年，與文獻中同樣是熊蟬屬的中國大陸紅脈熊蟬相近。

實驗過程中仍有另一項發現，道路中央分隔島的樹木或是路旁的行道樹，如果周圍是用水泥或柏油圍起來的，樹上有蟬的成蟲，但是並不會有若蟲爬出羽化。查閱文獻後發現蟬產卵於植物枝條上，孵化後的一齡若蟲無法抓握樹枝，其經風吹或直接掉落至地面後鑽入土中 (Snodgrass,1970)。因此，推測樹木周圍用水泥或柏油圍起來鋪平的地方，一齡若蟲掉落後即死去，因此不會有若蟲爬出羽化。

八、判斷雌雄終齡若蟲蟬殼：

我們發現雌雄蟬殼的各項外部形態特徵測量分析並沒有辦法區別雌雄蟬殼。而我們也試圖在蟬殼胸及腹部交界處找尋雄成蟲的發音器構造，但是在雄蟬殼上並沒有發現有此構造的痕跡，但是我們在高砂熊蟬雌雄蟬殼腹部末端時發現雌雄蟬殼在最末腹板有明顯差：雄蟬殼腹版平整無突起，而雌蟬殼則有明顯突起的生殖器構造痕跡，可以藉由此特徵區別雌雄蟬殼 (陳，2007)。

九、蟬殼特徵檢索鑑種探討：

我們發現可以輕易的找出多項蟬殼 (終齡若蟲) 的測量特徵將七種蟬分成兩群 (熊蟬屬與其他四種)，但是在將熊蟬屬的三種蟬及其他四種蟬的區分上，就比較不容易找出區別特徵，都只能找出一至二項可供區別的特徵。成功將七種蟬殼建立檢索特徵分別出物種後還是有一個問題：以現在的檢索方式分類出的物種無法和他的親源關係完全吻合 (陳，2007)，未來應該增加更多的檢索特徵，期望可以和其親源關係相吻合。

十、終齡若蟲 (蟬殼) 與成蟲形態關聯性探討

我們從終齡若蟲與成蟲的關聯性探討中可以看出，終齡若蟲羽化為成蟲後各部為都有明顯增長，因此並無法從成蟲與若蟬之間找出明顯的相關性特徵，無法明確的利用我們測量的 21 項特徵找出若蟲 (未知成蟲之若蟲) 直接辨識成蟲的特徵。雖然此實驗無法找出從未知成蟲之若蟲直接辨識成蟲的特徵，但實驗中我們也發現終齡稚蟬的軀體部分增長幅度較大，足部的變化則明顯較小，只有前足的變化比較明顯 (由開掘足變成步行足)。另外，我們也發現終齡若蟲羽化為成蟲時額唇基寬並沒有明顯改變，可以提供輔助鑑定蟬殼的依據。而若蟬羽化後額唇基長則變短了 (圖 24)，但若仔細觀察會發現，終齡若蟲羽化為成蟲時，其額唇基向前延展至頭頂的部位 (圖 24 A 黑色箭頭指處)，因為我們是以游標尺測量，因此無法測量向前延展的距離，因此測量的距離變短了，若能依其彎曲幅度測量

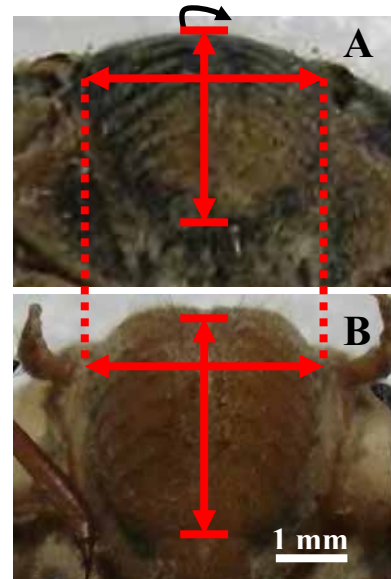
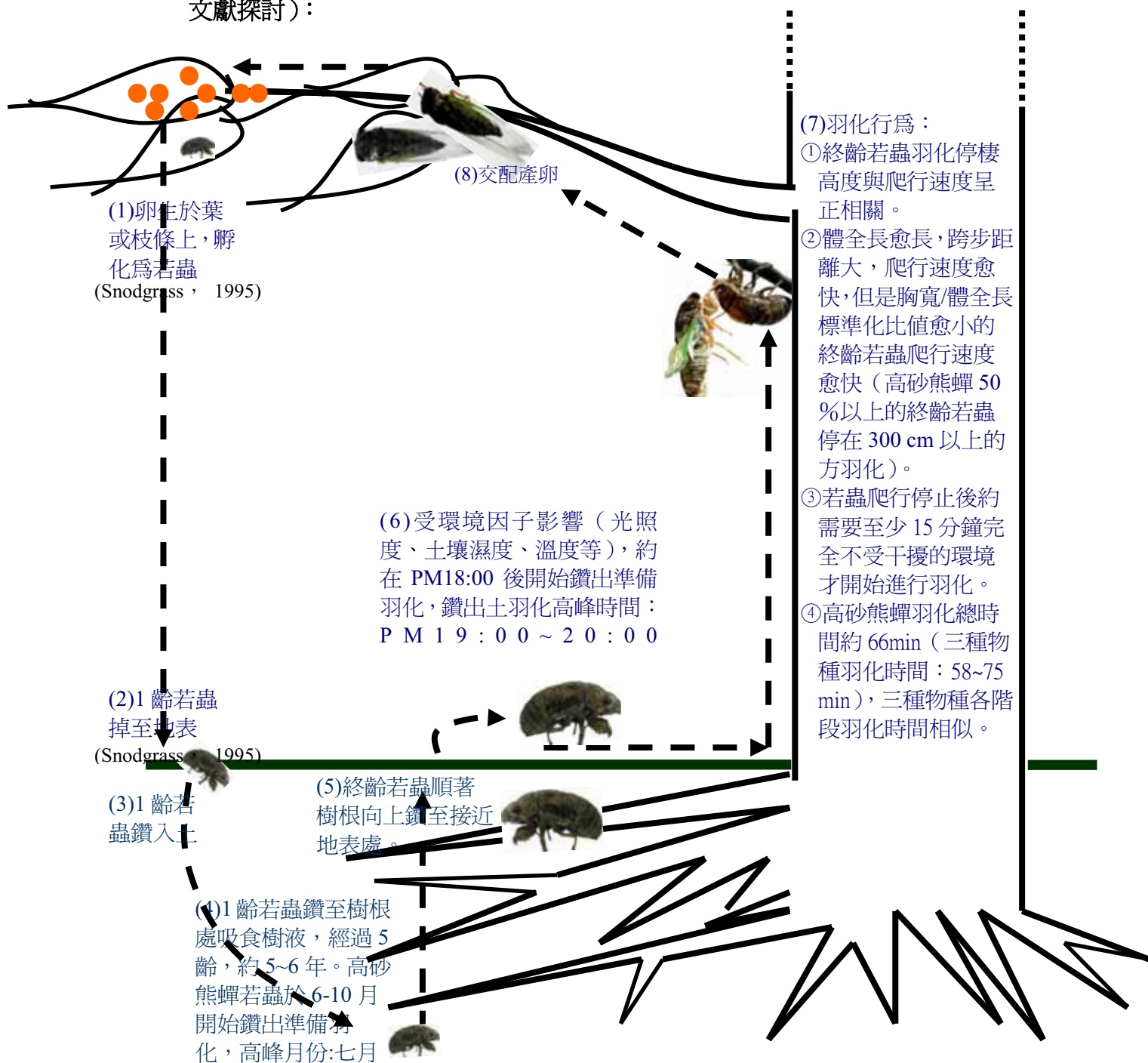


圖 24、蟪蛄蟬 A：成蟲；
B：終齡若蟲 (蟬殼) 的額唇基。

，相信其額唇基長應該也相近。有一項較特別的是紅脈熊蟬，其足部的特徵變化大，與其他二種熊蟬有不同的羽化形態轉變，且其額唇基寬度也變寬了，與其他物種明顯不同，值得深入探討。另外，我們從胸寬/體全長標準化比值關聯性探討中也發現，同樣是熊蟬屬的三種蟬其比值相近（都接近 0.40），而我們也發現與熊蟬屬親源關係較接近的薄翅蟬其比值（0.46）也與熊蟬屬比值相近。其他三種不同屬的蟬則沒有這種發現，這是一個蠻有趣的結果，是否同屬的蟬都有這樣的結果呢？但也因為其他三種蟬因為沒有同屬的物種可以比對，因此無法確定是否同屬的蟬都有一樣的結果，未來可以增加其他屬蟬的調查研究，更確立此種現象是否成立，也許可以供從蟬殼直接鑑定出「屬」的標準。

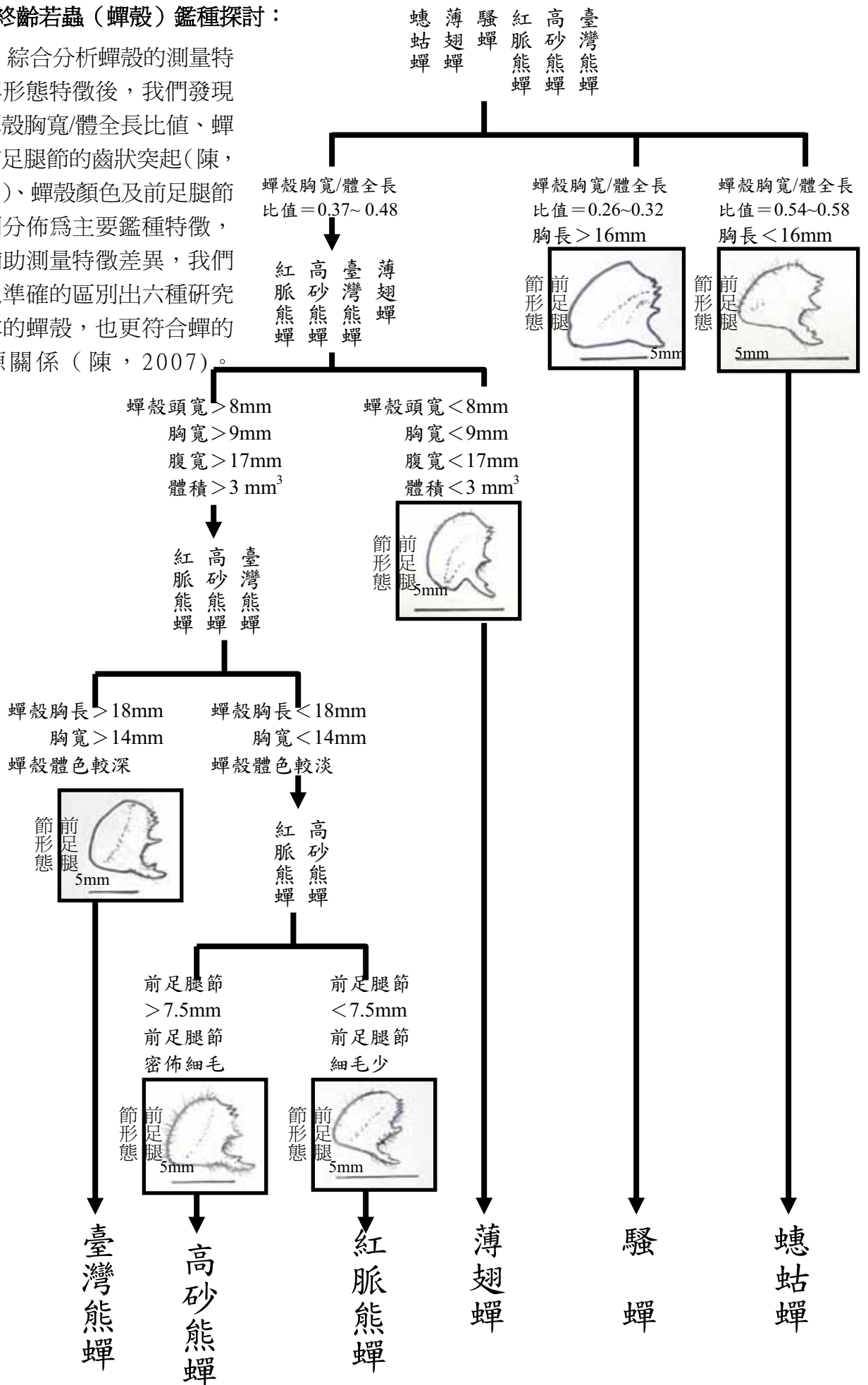
十一、綜合探討

(一) 若蟲（以高砂熊蟬為例）幼生與羽化行為探討（包含文獻探討）：



(二) 終齡若蟲 (蟬殼) 鑑種探討：

綜合分析蟬殼的測量特徵與形態特徵後，我們發現以蟬殼胸寬/體全長比值、蟬殼前足腿節的齒狀突起(陳, 1995)、蟬殼顏色及前足腿節毛列分佈為主要鑑種特徵，再輔助測量特徵差異，我們可以準確的區別出六種研究樣本的蟬殼，也更符合蟬的親源關係(陳, 2007)。



柒、結論

- 一、下雨等環境因子變動，會影響蟬的羽化，雨後蟬的羽化數量明顯下降。
- 二、終齡若蟲體長愈長爬行速度愈快，停棲羽化的高度也較高。
- 三、高砂熊蟬、薄翅蟬及螻蛄蟬體全長標準化爬行距離計算出的標準速度相似，但是愈瘦長（胸寬/體全長標準化比值愈小）的終齡若蟲爬行速度則愈快。
- 四、終齡若蟲爬行停止後，至少需 15 分鐘不受干擾才進行羽化。
- 五、高砂熊蟬羽化月份為單一高峰，每年七月；而每日羽化時間也呈現單一高峰（每日 PM19:00~ PM20:00）。
- 六、高砂熊蟬、薄翅蟬及螻蛄蟬的各階段羽化時間相似，羽化總時間約一小時。
- 七、高砂熊蟬的幼生期約 5~6 年。
- 八、熊蟬屬三種蟬的蟬殼與成蟲的胸寬/體全長比值相近（都接近 0.40），也許可以供從蟬殼鑑別出「熊蟬屬」的依據。
- 九、我們以蟬殼胸寬/體全長比值、蟬殼前足腿節的齒狀突起、蟬殼顏色及前足腿節毛列分佈為主要鑑種特徵，再輔助測量特徵差異，我們可以準確的區別出七種研究樣本的蟬殼，也更符合蟬的親源關係。
- 十、藉由準確的區別出蟬殼物種，可應用於生物資源調查，並且容易藉由蟬殼數量估算出該樣區蟬的數量。

捌、未來展望

- 一、蒐集更多種蟬殼與成蟲，以限制酶圖譜分析出找出更多蟬殼物種？
- 二、記錄光照度、土壤溫度、土壤濕度等環境因子變動，更瞭解終齡若蟲爬出羽化的因素？
- 三、測量更多種終齡若蟲爬行速度？
- 四、調查更多種蟬的羽化高峰月份及每日羽化的高峰時間？
- 五、推估出更多種蟬的幼生期？
- 六、記錄觸角、腹側板、腹板等更多蟬殼的細微特徵，找出更多可提供蟬殼鑑種的特徵？

玖、參考文獻

- 一、馬君媛、謝舒安、邱馨怡、施宛君，2008。中華民國第四十九屆中小學全國科學展覽會—“小強”競速之步步為「贏」。
- 二、施河，1998。高中生物下冊。南一書局出版。
- 三、徐立鵬、李家維、張立雪、崔文慧、鍾楊聰、葉開溫、黃璧祈編譯，生物學（上）（下）(Campbell)，1999。偉名圖書有限公司
- 四、莊雪芬、鐘淑紅，1997。高中基礎生物。全華圖書出版。
- 五、莊雪芬、蔡欣蓉、余宛真、施方蕓、陳婉茹、陳妙嫻，1999。高中選修生物上冊。全華圖書出版。
- 六、貢穀紳，1991。昆蟲學上冊。國立中興大學農學院出版委員會出版。
- 七、貢穀紳，1992。昆蟲學中冊。國立中興大學農學院出版委員會出版。
- 八、貢穀紳，1996。昆蟲學下冊。國立中興大學農學院出版委員會出版。
- 九、陳振祥，2007。臺灣賞蟬圖鑑，天下文化出版。
- 十、陳碩，1995。國立中興大學昆蟲學系。〈Department of Entomology National Chung Hsing University〉碩士論文，同翅目蠟蟬總科的後足跗節（The metatarsi of Fulgoridea Homoptera】）。
- 十一、葉文斌，1990。國立中興大學昆蟲學研究所〈Department of Entomology National Chung Hsing University 碩士論文，長翅飛蟲科若蟲(同翅目:飛蟲總科)。
- 十二、梭德葛理斯（Snodgrass Dr.R.E）、張光樸，1970。十七年蟬的故事。廣文出版社。
- 十三、謝文綺，1995。國立中興大學昆蟲學系〈Department of Entomology National Chung Hsing University〉碩士論文，同翅目頸吻群的觸角（THE ANTENNAE OF AUCHENORRHYNCHA 【HOMOPTERA】）。

【評語】 040717

1. 此作品一則探討終齡若蟲的羽化行為，一則建立蟬殼的特徵資料，用以鑑別蟬的親源關係。作者的觀察相當細微。
2. 建議增加樣本數及特徵點來建立特徵資料庫，以降低判斷的誤差。
3. 建議利用機器學習模式來建立特徵與品種之間的關聯，所得模式可較準確應用於蟬殼品種的鑑定。