

中華民國第四十五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

040711

校園內阿勃勒授粉現象之觀察

國立員林高級農工職業學校

作者姓名：

高二 陳雅凡 高二 陳宜吟 高二 巫琇婷

指導老師：

洪佳君 沈競辰

目錄

壹、摘要.....	1
貳、研究動機.....	1
參、研究目的.....	1
肆、研究項目.....	2
伍、研究材料.....	2
陸、研究方法.....	2
柒、研究結果.....	3
捌、討論.....	5
玖、結論.....	6
拾、未來研究方向.....	6
拾壹、參考資料.....	7
拾貳、表.....	8
拾參、圖.....	9

壹、摘要

一、本次活動觀察校園內阿勃勒花蕊構造與授粉昆蟲間的關係，發現：

(一) 阿勃勒具有長、短兩型雄蕊，花粉粒也有兩型。短型雄蕊孔裂，產生多數不正常的花粉粒，花粉粒較大，細胞質不飽滿，花粉粒外表網紋明顯。長型雄蕊花藥縱裂，產生的花粉多數正常，其花粉粒較小，細胞質飽滿，花粉粒外表網紋不明顯。

(二) 阿勃勒為蟲媒花，其授粉昆蟲為脈翅目蜜蜂科熊蜂屬 (*Bombus*) 以及木蜂屬 (*Xylocopa*)。授粉昆蟲攀附於花朵上時，長型雄蕊將花粉附著於授粉昆蟲胸部及腹部背面。授粉昆蟲利用震動取得短型雄蕊花粉，將花粉附著於後肢及腹面。

(三) 利用多元回歸分析授粉蜂體長與阿勃勒雌、雄蕊長度得到如下的線性關係：

蜂體長 = 長雄蕊長度 * 1.813 + 雌蕊長度 * 0.029 + 短雄蕊長度 * 0.017 - 12.22
其解釋力達 83%。

二、根據本活動觀察，我們推論：

(一) 阿勃勒具有特化的花朵構造，可以有效排拒其他動物取得花粉，只由特殊的昆蟲為其授粉，同時授粉昆蟲具有很高的專一性與忠誠度。

(二) 阿勃勒短型雄蕊產生提供授粉昆蟲食物的花粉粒，長型雄蕊產生完成授粉工作的花粉粒。

(三) 經由授粉蜂體長與花蕊構造進行線性分析，可知阿勃勒與授粉昆蟲具有很高的相互依存關係。

貳、研究動機

一年級上基礎園藝課時，老師帶同學到校園內認識植物，當介紹到阿勃勒 (*Cassia fistula* L.) 時，老師說阿勃勒有兩種長短不同的雄蕊。覺得很好奇，為什麼一朵花要開出兩種雄蕊呢？老師也回答不出來，查詢資料，國內並無人研究，所以決定進行進一步的觀察想瞭解阿勃勒兩種雄蕊在構造的差異性；兩型雄蕊花藥、花粉的構造是否有不同；這兩型雄蕊在授粉所扮演的角色。

教材相關單元：高職農科生物學上冊花的構造

高職園藝科一年級農業概論作物的育種。

高職園藝科一年級園藝學原理解作物的育種與採種。

參、研究目的

了解阿勃勒花朵構造與授粉的相關性，歸納分析其花藥、花粉結構比較有何不同，以及探討授粉蜂之授粉行為花朵構造的關係。

肆、研究項目

- 一、阿勃勒花器構造之觀察，探討兩種型態之雄蕊的花藥與花粉結構上之差異。
- 二、授粉蜂之採粉行為與花朵構造之關係。

伍、研究材料

項 目	用 途
植物材料：從學校內種植的阿勃勒，於開花期採取各發育階段的花蕊。	觀察花蕊型態、採集花粉
動物材料：用捕蟲網捕捉校園內採取阿勃勒花粉之授粉蜂 10 隻。	鑑定授粉昆蟲種類、觀察攜帶花粉位置
藥品：酒精、冰醋酸、蒸餾水、Carmine	配置花粉粒染色劑
玻璃瓶、滴管、載玻片，蓋玻片、酒精燈、打火機、濾紙、廣口瓶、簽字筆、標片盤、鑷子、解剖針、刀片、拭鏡紙、測微尺	標本製備工具
游標卡尺	測量花朵雌雄蕊長度、授粉蜂體長
掃描式電子顯微鏡 (SEM) 複式光學顯微鏡、數位相機(Nikon cooplex 4500)中興大學楊正澤教授提供。	花粉觀察工具
微量天平	測量每隻授粉蜂攜帶花粉量
數位相機(Canom 10D)	拍攝授粉昆蟲及授粉行為
Sony DV 攝影機	定點長時間紀錄授粉蜂訪花頻率
定向集音器	記錄授粉蜂振動授粉的頻率

陸、研究方法

- 一、利用照相機與 DV 攝影機紀錄授粉昆蟲及授粉行為。
- 二、利用定向集音器及錄音機收集授粉蜂所產生的振動頻率加以分析。
- 三、蜂長型態測量以補蟲網捕捉授粉蜂，放入燒杯，儲藏於冷凍庫內，待其死亡，測量其大小，收集身上各部位的花粉粒觀察，保留標本供鑑定種類。
- 四、花朵型態
利用高枝剪收集阿勃勒花朵(圖一)，利用測微尺測量花朵外部型態(圖二)。
測量項目如下
 1. 花藥大小。
 2. 短型、長型雄蕊長度，雌蕊長度。

五、花藥採集固定及花粉粒的觀察

(一)花藥採集固定：阿勃勒的花序中取出雄蕊中的長型雄蕊、短型雄蕊分別放進固定液（圖三），保留雌雄花蕊，立即放置在酒精和冰醋酸 3:1 之玻璃瓶中固定於 4°C 冰箱中過夜，每八小時用 70%酒精清洗。蒸餾水、純酒精以體積 3:7 的方式調配 70%酒精保存液，換洗三次，每次 2—3 分鐘，最後保存於 70%酒精，於冰箱冷凍層備用。

(二)染劑製備：Acetocarmine 為 45%醋酸中之飽和溶液，其配製法為 Carmine 0.5g、45%冰醋酸 100ml，兩者混合，一面攪拌，一面慢慢加熱至沸騰，在室溫下自然冷卻，過濾後使用（圖四、圖五）。

(三)玻片標本製備：

取花藥放置在載玻片上，將花藥橫切成一半，用解剖針和鑷子自切口處輕輕擠壓出花粉粒。加一滴酒精用酒精燈加熱蒸發酒精，加入染色劑，蓋上蓋玻片，吸掉多餘染劑。在複式光學顯微鏡底下觀察。每一樣本以測微尺量測不同發育階段細胞的大小，並分別紀錄之。

(四)顯微鏡攝影：

(一) 將製備好的玻片標本置於光學顯微鏡下觀察。

(二) 切換至顯微鏡照相機，調節適當焦距，按下快門。

(三) 觀察量測細胞大小：

先將接目鏡向左旋轉，卸下透鏡後，放入目鏡測微器。在載物台上置一載物台測微器。使用左眼檢視，移動載物台測微器之一端刻度與目鏡測微器重疊成一線，再檢視另一端刻度重疊，檢視目鏡測微器格數，換算花粉粒大小。

測量方式為

1. 先將接目鏡向左旋轉，卸下透鏡後，放入目鏡測微器。
2. 在載物台上置一載物台測微器。該測微器為一長方形玻片，其上刻有一段畫分為 100 個小格的 1mm 直線，即載物台測微器每一小格的寬度為 0.01mm(10 μ m)。
3. 使用左眼檢視，移動載物台測微器之一端刻度與目鏡測微器重疊成一線，再檢視另一端刻度重疊，則目鏡測微器一小格之大小則可計算如下：

$$\begin{aligned} & \text{目鏡測微器每一小格的大小}(\mu\text{m}) \\ & = 10\mu\text{m} \times \text{載物台測微器之格數} / \text{目鏡測微器之格數} \end{aligned}$$

柒、研究結果

一、授粉昆蟲及授粉行為之觀察

阿勃勒花朵為左右對稱（圖六），短型雄蕊花藥孔裂（圖七、圖八），長型雄蕊花藥縱裂（圖九）。花朵開放的方向與地面垂直，蜂類必須攀附在雌、雄蕊，以懸吊的方式停留在花朵上，當蜂類前肢鉤住長型雄蕊花絲 S 形突出部，會產生拉力

將長型雄蕊向內彎曲，將花粉黏附在昆蟲的胸部與腹部的背面(圖十、圖十一)。當昆蟲鉤住雌蕊時，雌蕊也會向內彎曲，柱頭接觸到昆蟲背部的花粉而完成異花授粉。

短型雄蕊花藥為孔裂，一般昆蟲無法從開口中順利取得花粉，而授粉蜂會產生特殊的振動將花粉由孔中振出，並將花粉收集於後肢與腹部帶回巢中(圖十二)，屬於振動授粉(buzz pollination)。在實驗過程中以集音器記錄授粉蜂的頻率，但因背景雜音太大無法分析。

授粉昆蟲經中興大學楊正澤教授鑑定為脈翅目蜜蜂科熊蜂屬(Bombus)以及木蜂屬(Xylocopa)。

二、雄蕊花藥大小差異分析

將阿勃勒兩種型態雄蕊，分別記錄其花藥大小進行T檢定差異性分析(見表一)，尤其結果可知長型雄蕊之花藥長度大於短型雄蕊之花藥長度，長型雄蕊之花藥寬度亦大於短型雄蕊之花藥寬度(圖十三)。且皆達顯著差異($p=0.001 < 0.05$, $p=0.000 < 0.05$)，可知長雄蕊與短雄蕊之花藥外部型態是不同的。

進一步進行長雄蕊與短雄蕊之花藥長度與寬度分散圖分析(圖十四)，可知長型雄蕊花藥大小同質性較高多分佈於4~5mm，而短型雄蕊花藥之差異性較大。此外每朵花之長型雄蕊花藥有三枚而短型雄蕊有四枚。

三、花粉粒型態、大小與發育時期之比較

為比較長短雄蕊之花粉粒發育狀況及不同時期之發育差異，紀錄孢子母細胞I、孢子四分體II、及花粉粒III等三時期之長短雄蕊之花粉粒大小並進行描述性分析(表二、圖十五)，由分析結果可知不論長短雄蕊的花粉發育大小隨時間增加而增大，其中第I II期之短型雄蕊花粉皆較長型雄蕊小，而第III期之短型雄蕊花粉皆較長型雄蕊花粉大。由染色可知長型雄蕊花粉細胞質較充實，發育較完整(圖十六)，短型雄蕊花粉粒多不充實(圖十七)，未來可進一步進行花粉發芽率，探討其花粉活力之比較。

進一步以掃描式電子顯微鏡(SEM)進行花粉粒表面特徵觀察，可知長型雄蕊花粉與短型雄蕊花粉外型皆呈橢圓形，具有三個發芽口，發芽口為溝狀(三溝粒)。區別點為短型雄蕊的花粉粒網紋明顯，且多不正常花粉(圖十八、圖十九、圖二十)。長型雄蕊花粉粒網紋不明顯，花粉粒形狀較為整齊(圖十八、圖二十一)。

四、花朵外部形態與蜂大小關係

利用描述分析探討長短雄蕊、雌蕊大小與授粉蜂體長之關係，可知長型雄蕊、雌蕊易於授粉蜂採集短雄蕊花粉時觸及蜂之背部，達到授粉的目的。(本研究亦記錄了一隻蜂可承載之花粉重量約為22 mg)。

進一步進行花朵雄蕊、雌蕊與蜂探討花朵與蜂之密不可分之關係，利用多元回歸分析得蜂長與花朵外部型態之線性關係(表三、圖二十二)，如下：

蜂體長=長型雄蕊長度*1.813+雌蕊長度*0.029+短型雄蕊長度*0.017-12.22
其解釋力達83%，由上述分析可知阿勃勒花朵構造與授粉蜂具密不可分之

關係。經由何種演化途徑，使得阿勃勒與其授粉蜂演化成獨具一格之授粉方式，實為有趣之議題。

捌、討論

在自然界中大多數的植物是行異花授粉，為了確實達到這個目的，異花授粉的植物，會產生一些特殊的機制與構造，來避免自花授粉。異花授粉雖然有助於後代的遺傳變異，但是如何將花粉由一朵花的花粉，準確的帶到相隔很遠的另一朵花的柱頭上，卻是另一個大問題！因此異花授粉的植物必須利用自然界的力量（風、水），或是與善於活動的動物（昆蟲、鳥類、哺乳動物）間建立良好的合作關係。這種植物與動物雙方互利的合作關係，經過長久時間的天擇與演化的結果，為提高效率與專一性，形成一種植物會與特定的授粉動物合作而排除其他的動物。

植物的花在構造上產生特化，以適合特殊的授粉者，授粉者也會產生相對應的變化，形成生物學上的【共同演化】。這樣有助於雙方的授粉工作更有效率，同時花朵也能藉特化的構造，排除其他與授粉無關的昆蟲來奪取花粉或花蜜，專一的授粉者則更易獲得授粉的報酬。

阿勃勒又名波斯皂莢（*Cassia fistula* L.）屬於鐵刀木屬（*Cassia* L.），原產喜馬拉雅山東部及中部。為直立喬木，腋生總狀花序；雄蕊10枚，長型雄蕊3枚，短型雄蕊四枚，3枚常退化或消失。花藥頂孔或直線開裂；子房胚珠多數。莢果圓筒狀或扁平狀。在本校的花期為5-9月。阿勃勒雖為外來觀賞樹種，但能與本土蜂類間建立極為專一的授粉關係。可推測在原生地應有與熊蜂屬（*Bombus*）以及木蜂屬（*Xylocopa*）極為近似的昆蟲為阿勃勒進行授粉工作。

阿勃勒主要提供花粉作為授粉蜂的報酬，為了提高效率，所以特化兩種不同的雄蕊及不同的花粉。短型雄蕊的孔裂方式可有效阻隔其他昆蟲取得花粉，由於從外表無法判斷短型雄蕊內是否還有花粉，所以授粉蜂就必須每朵花進行嘗試，而提高了阿勃勒授粉的效率。

為確保授粉的專一與有效性，阿勃勒會產生兩種不同的雄蕊，短型雄蕊作用為引誘授粉蜂前來採粉，短型雄蕊為孔裂，必須由授粉蜂特殊的震動方式才能得到花粉，因此有效區隔訪花的對象，然而短型雄蕊所產生的花粉為內容物不充實甚至空心的花粉，推測其所含的營養物質及能量儲存較低，可視為阿勃勒對於授粉蜂的一種「欺騙」，至於長型雄蕊所產生的花粉形狀整齊，細胞內容物充實，為真正進行授粉的花粉，其營養成分推測亦較高。

為了有助於授粉的成功率。長型雄蕊在授粉蜂胸部背面散佈花粉，授粉蜂腳無法接觸到這部位，這樣便可保證在飛行過程中，授粉蜂無法自行收集到長型雄蕊的花粉，當授粉蜂返回巢中，長型雄蕊花粉完成授粉任務，功成身退，便可由摩擦或同伴間互相清理行為取得花粉利用。至於為何短型雄蕊的花粉為空心或不充實，推測阿勃勒可以節省能量集中產生授粉使用的長型雄蕊花粉。

由授粉蜂身上所收集的花粉，放在顯微鏡下觀察，與阿勃勒雄蕊取出的花粉

對照，可知授粉蜂身上所攜帶的花粉的種類極為單純，並未摻雜其他植物的花粉，可見授粉蜂對於阿勃勒具有很高的單一性與忠誠度。如此，保證阿勃勒花粉可以傳佈到同種花朵的柱頭上，這樣可以避免花粉的浪費，也可避免與其他植物產生雜交的現象。至於，兩者之間如何達成這種專一性，仍有待後續的研究。

阿勃勒如何誘引授粉者前來，根據野外觀察，在阿勃勒花朵開放的後期，雌蕊授粉完成後，雄蕊會脫落但花瓣仍留存在花朵上。此時授粉蜂便不停留訪花，因此推測雄蕊是否存在是授粉蜂停留的關鍵，至於雄蕊是靠形狀、顏色或氣味吸引授粉者，花瓣在誘引授粉者所扮演的角色，仍有待進一步的觀察與實驗。

玖、結論

本次活動觀察校園內阿勃勒 (*Cassia fistula* L.) 花器構造、及昆蟲授粉行為，並比較其雄蕊型態及花粉粒發育過程。發現：

- 一、阿勃勒花器具有特化的雄蕊，阿勃勒雄蕊共有 10 枚，其中 3 枚退化，其餘雄蕊兩型化，短型雄蕊 4 枚，花藥孔裂，花絲直立，長型雄蕊 3 枚，花藥縱裂，花絲呈 S 形。花藥大小以長雄蕊花藥較大，而短雄蕊花藥較小，其差異顯著。
- 二、短型雄蕊與長型雄蕊花粉也有兩型化的現象，短型雄蕊產生多數不正常的花粉粒，細胞質較不飽滿，赤道面呈橢圓形，表面網紋明顯。長型雄蕊產生較多的正常花粉粒，細胞質飽滿，赤道面呈橢圓形，表面網紋不明顯。
- 三、阿勃勒為蟲媒花，脈翅目蜜蜂科熊蜂屬 (*Bombus*) 以及木蜂屬 (*Xylocopa*) 的蜂類為其主要的授粉者。授粉蜂會發出振動，將短型雄蕊內的花粉振出，採集花粉，屬於振動授粉 (buzz pollination)，雄蕊是否存在為授粉蜂訪花的關鍵。。
- 四、授粉蜂會將短型雄蕊花粉收集在腹部及後肢，其作用為提供授粉者食物報酬。而長型雄蕊花粉黏附在昆蟲的胸部與腹部的背面，當昆蟲鉤住雌蕊時，雌蕊也會向內彎曲，柱頭接觸到昆蟲背部的花粉而完成異花授粉。
- 五、授粉蜂體長與花朵構造之關係，經回歸分析得蜂長=長雄蕊*1.813+雌蕊*0.029+短雄蕊*0.017-12.22 具線性關係。其解釋力達 83%，由上述分析可知阿勃勒花朵之演化與傳粉蜂具極為密切之關係。

拾、未來研究方向

- 一、進行花粉發芽試驗，已瞭解長型雄蕊與短型雄蕊的花粉活力是否不同。
- 二、利用電子顯微鏡 (SEM)，拍攝花粉粒發育與分裂狀況。
- 三、探討阿勃勒短型雄蕊花藥與授粉蜂振動聲波之關係。
- 四、探討鐵刀木屬 (*Cassia* L.) 與授粉蜂間起源與演化及其地理分佈的關係。

拾壹、參考資料

1. 丁澤民 王偉 張世玲 連會瑞 1993 生物學 藝軒圖書出版社 台北
2. 宋碧華譯 1995 植物趣味問答題 大樹出版社 台北
3. 林政行 1984 植物與昆蟲的共同演化 台灣省立博物館 台北
4. 林讚標編 1991 愛玉子專論 台灣省林業試驗所 台北
5. 沈競辰 2003 花與授粉的觀察事典 晨星出版社 台中市
6. 孫克勤譯註 1988 達爾文物種原始精義 台灣省立博物館 台北
7. 張碧員 1994 台灣賞樹情報 大樹出版社 台北
8. 黃增泉 1972 中山自然科學大辭典植物學第六篇花粉學 P299-310 台灣商務印書館股份有限公司 台北
9. Attenborough, D. 1995 The private life of plant. David Attenborough Ltd. New Jersey U. S. A

誌謝

本次實驗感謝

中興大學昆蟲系楊正澤教授提供實驗設備及鑑定標本及聲波分析

拾貳、表

表一、長、短雄蕊花藥大小之比較

	平均值	標準差	t 值	自由度	顯著度
長雄蕊花藥長	4.113	0.728	3.657	29.000	0.001
短雄蕊花藥長	3.509	1.370			
長雄蕊花藥寬	1.944	0.449	6.854	29.000	0.000
短雄蕊花藥寬	1.606	0.624			

表二： 小孢子發育時期大小之比較分析

	短雄蕊花粉 I	長雄蕊花粉 I	短雄蕊花粉 II	長雄蕊花粉 II	短雄蕊花粉 III	長雄蕊花粉 III
平均數	0.001105	0.001716	0.00292	0.003228	0.003308	0.0032
標準差	0.000659	0.000169	0.00011	0.000415	0.000319	0.00012

單位 cm

表三： 花朵外部形態與蜂型態回歸分析結果

	係數大小	標準差	標準化後係數大小
常數	-12.22	9.482	
長雄蕊長度	1.813	.818	.887
長雌蕊長度	0.29	.328	.032
短雄蕊長度	0.017	.438	.011

蜂長=長雄蕊*1.813+長雌蕊*0.029+短雄蕊*0.017-12.22

單位：mm 解釋力=0.838

拾參、圖



圖一：利用高枝剪採集花朵



圖二：測量並記錄花朵雌雄蕊大小



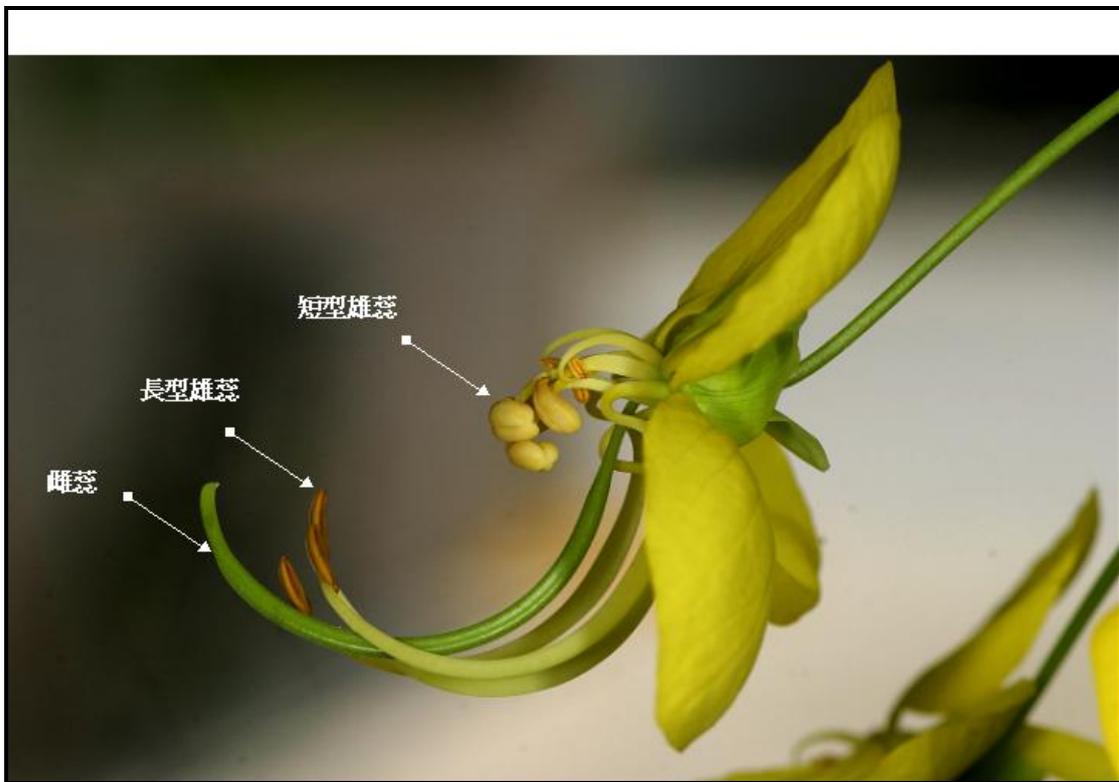
圖三：調製固定液



圖四：調製染色劑



圖五：染色劑加熱溶解



圖六：阿勃勒花蕊形態圖



圖七：短型雄蕊側面圖



圖八：短型雄蕊花藥孔裂



圖九：長型雄蕊花藥縱裂



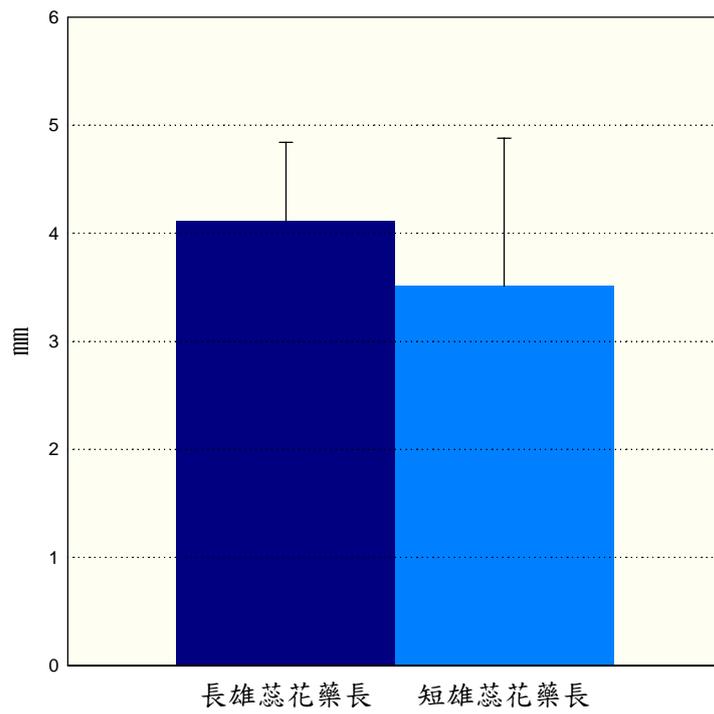
圖十：授粉蜂利用振動採集短型雄蕊花粉



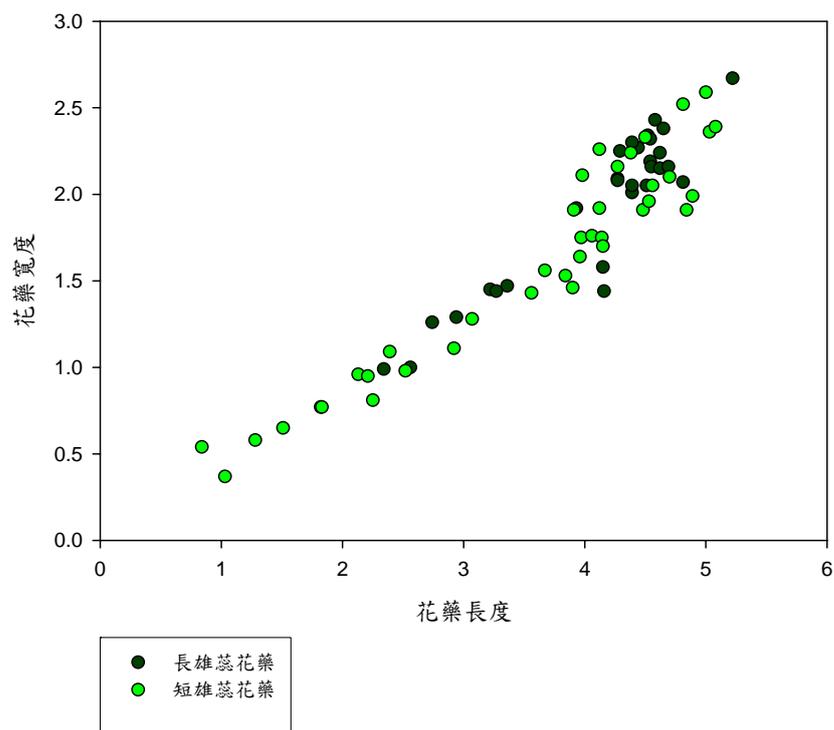
圖十一：黏附在授粉蜂背部的長型雄蕊花粉



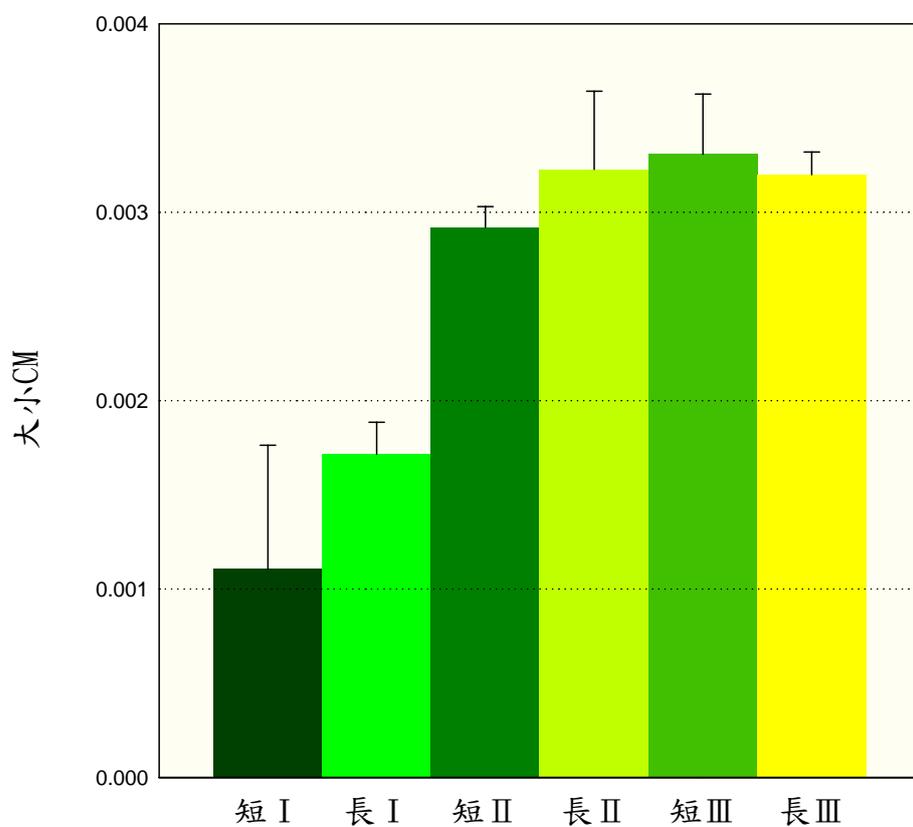
圖十二：黏附在授粉蜂後肢及腹面的短型雄蕊花粉。



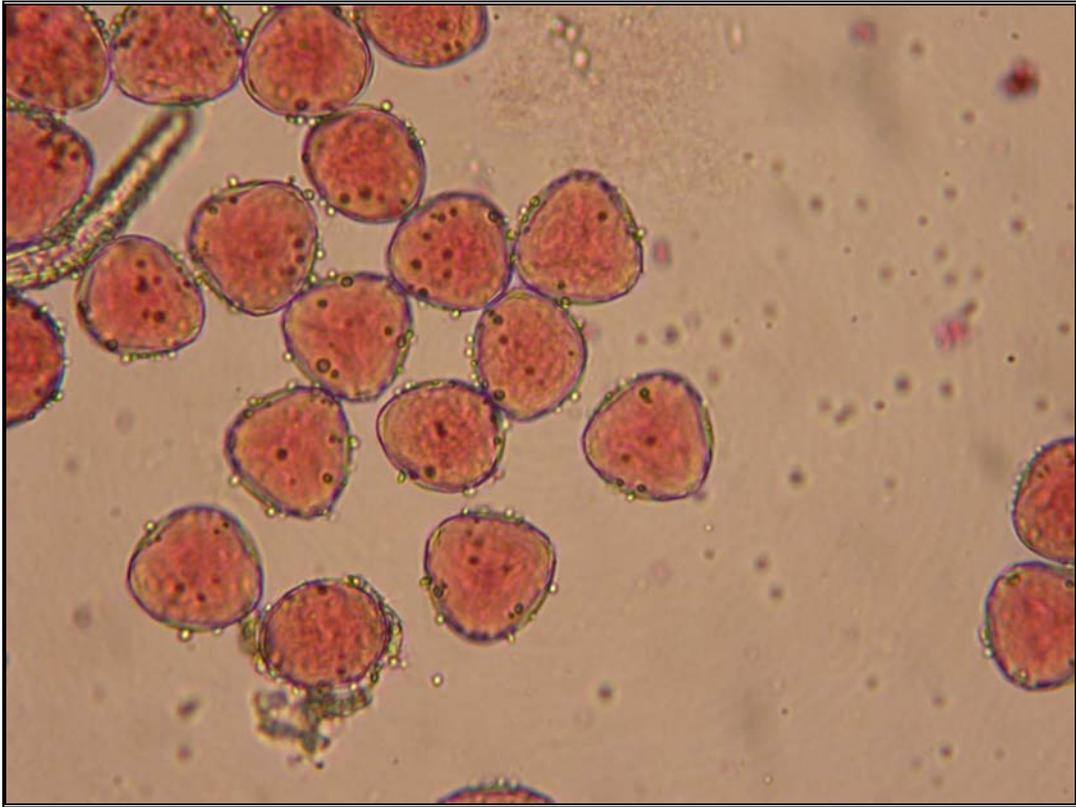
圖十三：長型、短型雄蕊花藥長度之比較



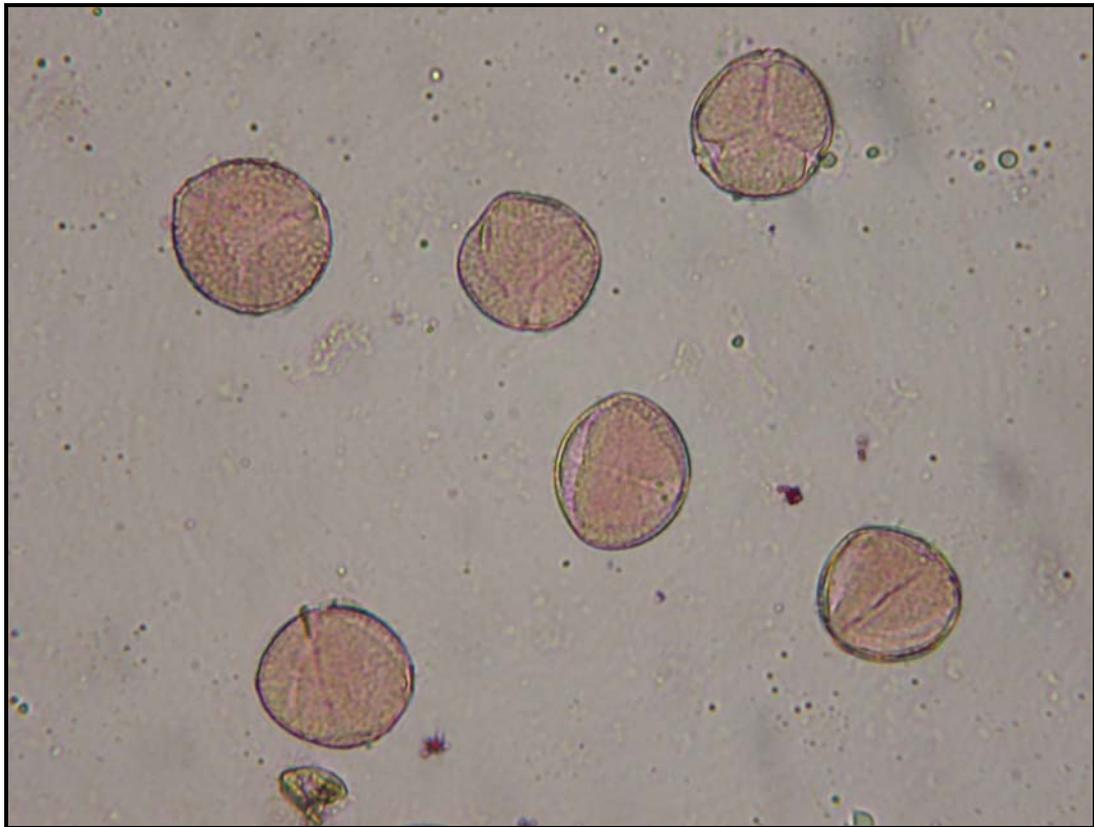
圖十四：長雄蕊與短雄蕊之花藥長度與寬度分散圖分析



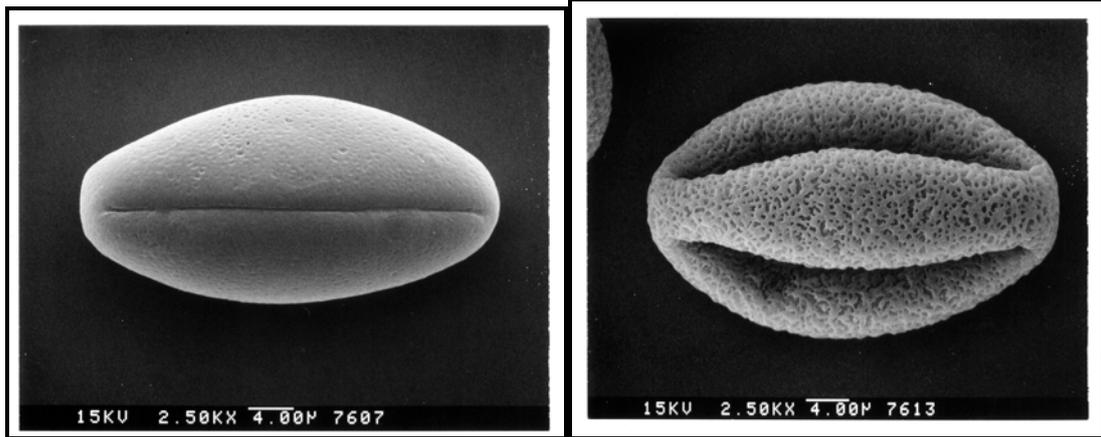
圖十五：長型雄蕊、短型雄蕊花粉粒發育時期大小之比較



圖十六：光學顯微鏡下長型雄蕊花粉極面形狀



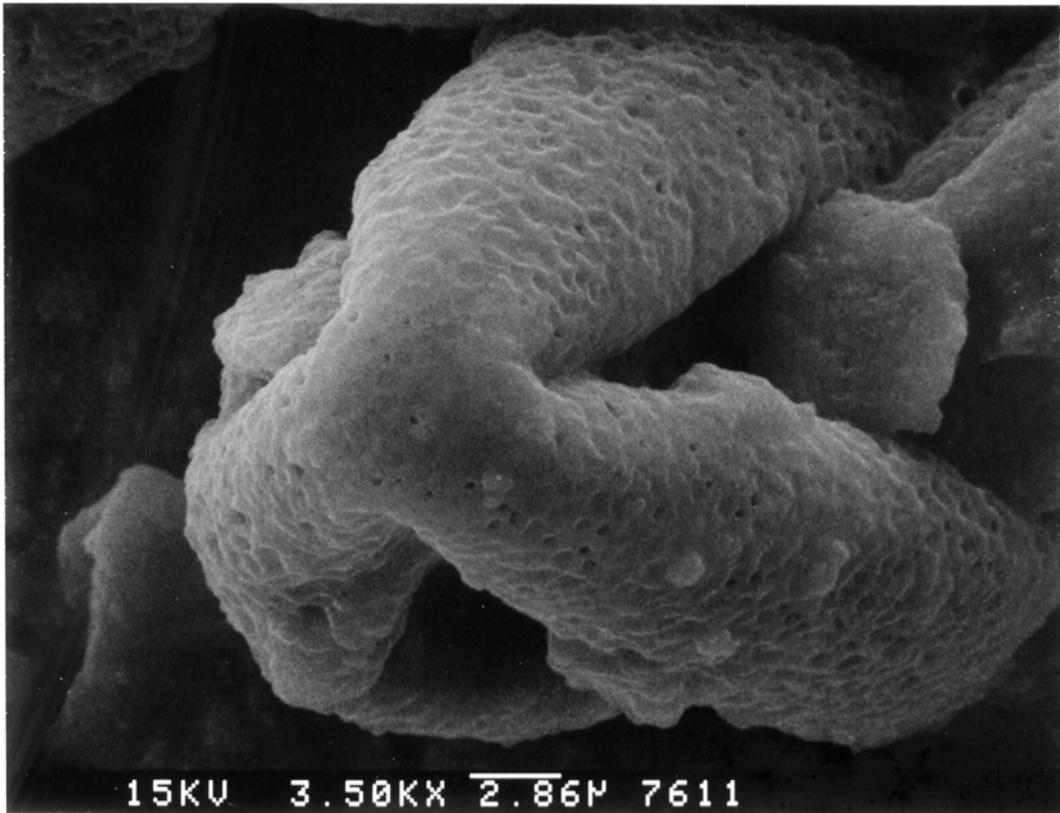
圖十七：光學顯微鏡下短型雄蕊花粉極面形狀



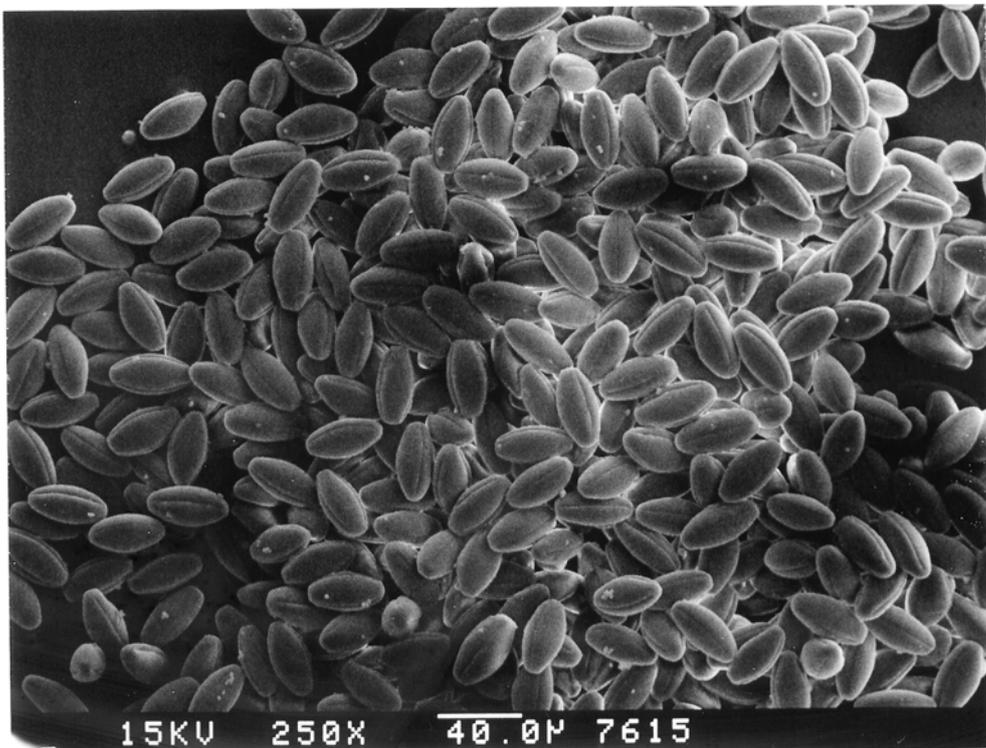
圖十八：掃瞄式電子顯微鏡（SEM）下，長型雄蕊花粉粒（左）與短型雄蕊花粉粒（右）之比較。



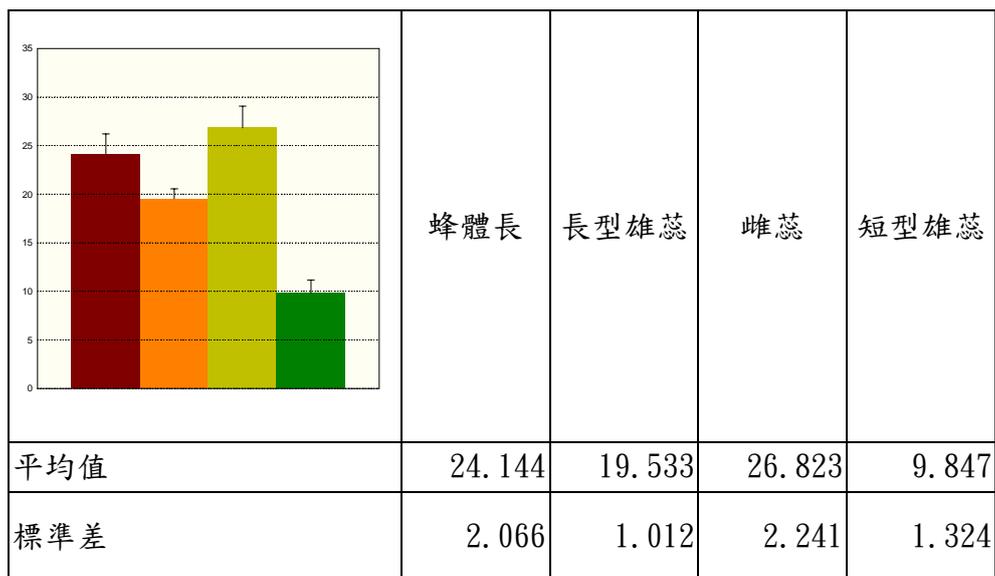
圖十九：短型雄蕊產生多數不正常的花粉粒。



圖二十：短型雄蕊所產生的不正常花粉粒。



圖二十一：長型雄蕊產生形狀較為一致的花粉粒。



註：單位 mm

圖二十二：花朵外部形態與授粉蜂大小之描述分析

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

高中組 生物(生命科學)科

第三名

040711

校園內阿勃勒授粉現象之觀察

國立員林高級農工職業學校

評語：

1. 能詳細觀察並記錄實驗數據
2. 資料搜尋應加強國外之研究現況
3. 鼓勵繼續進行更深入的研究