

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生物科

第三名

080312

野蜂之無形助手

—靜電與翅膀結構、狀態對採粉的幫助

學校名稱：國立東華大學附設實驗國民小學

作者： 小六 李書亞 小六 顏向均 小六 汪玟漪 小六 洪欣茹 小六 張庭語	指導老師： 張慧娟 田俊賢
---	-----------------------------

關鍵詞：臺灣野蜂、靜電、翅膀

摘要

本研究以臺灣野蜂 (*Apis cerana*) 採集花粉的行為做為觀察標的。檢視野蜂利用哪些身體上的作用，有效率的採集花粉？透過顯微鏡的觀察，我們發現：翅膀上具有針狀凸起物。那麼「針狀凸起物的演化目的是：增加與空氣摩擦，而產生更多的靜電嗎？」實驗證實，我們的推論正確。

此外，利用直尺摩擦置放於花朵上方，發現靜電能夠吸附花粉。我們再以電風扇旋轉實驗和夜光粉沾附實驗，實驗結果顯示，臺灣野蜂胸毛以及翅膀狀態（雙翅勾合、後翅下摺），能輔助蜜蜂善用靜電，聚合較多的花粉。因此在花海中，野蜂除了利用腿部構造刮集身上的花粉，「靜電和毛狀構造、翅膀狀態」的功勞也不容小覷！

野蜂之無形助手 – 靜電與翅膀結構狀態對採粉幫助

壹、研究動機：

校園內的金露花、繁星花、咸豐草花……上，可看見嬌小的臺灣野蜂在花叢間飛飛停停（圖 1-1）。奇怪！就算我們靠近觀察時，牠仍辛勤工作，一點也不怕人。牠是如何去採集花粉、花蜜的呢？是否會因為花朵顏色不同而產生喜好差異呢？對於蜜蜂的採集行為，我們產生了好奇。我們針對顏色、糖水、訪花行為展開不同的實驗、測試。

研究過程中，更因為閱讀到「電在蜜蜂收集花粉的工作中扮演了相當重要的角色。當蜜蜂飛行時，由於翅膀和空氣摩擦而產生靜電」（沈競辰，1999），簡短一句話，激發了我們的好奇：「從沒有人告訴我們蜜蜂採粉與靜電有關，難道**蜜蜂會產生靜電嗎？**」查詢資料，無法找到相關的蜜蜂靜電研究報告。難道，靜電真的那麼神奇嗎？

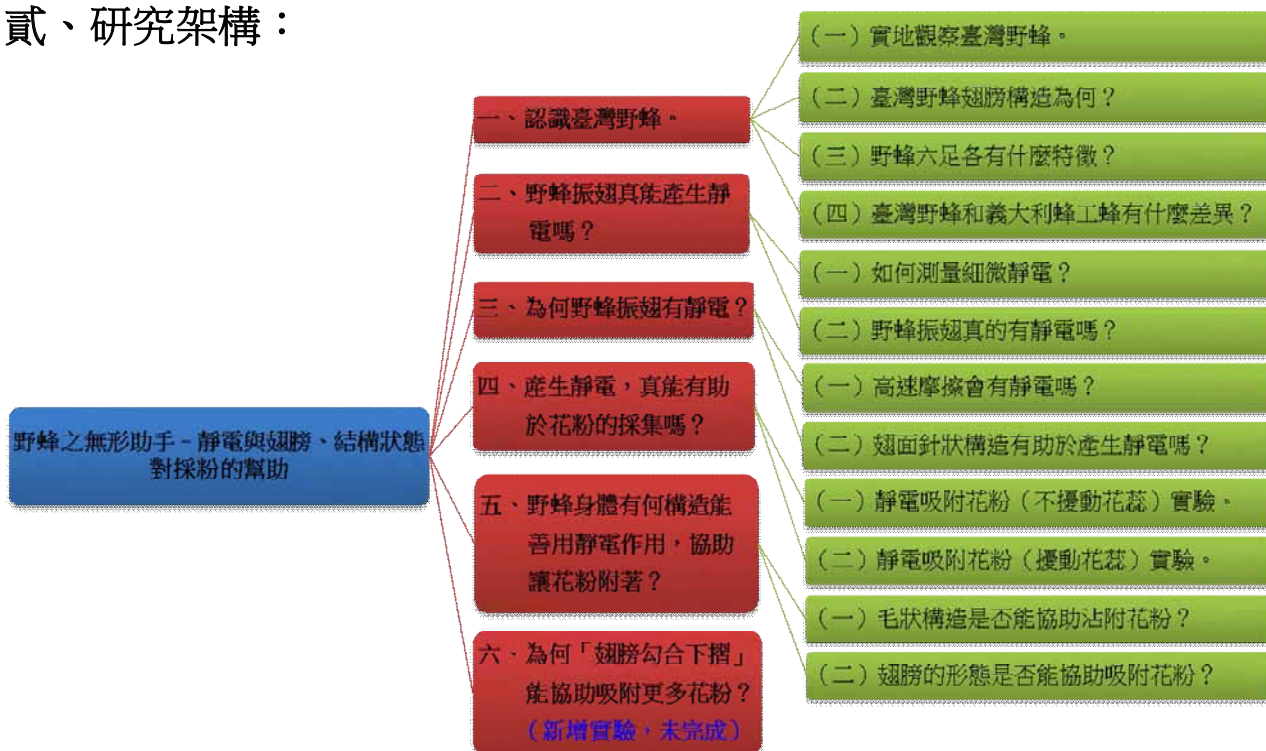
在戶外觀察我們發現，蜜蜂的翅膀在巢穴及花粉上呈現不一樣的狀態。巢穴外老弱的蜜蜂翅膀伸直；在巢穴內的蜜蜂翅膀則會摺疊於腹部上方；而在花朵上採蜜採粉的野蜂，則會有一特殊現象「**前後翅黏合、後翅下摺於腹部旁**」。找尋文獻資料，並無相關介紹。這個發現引發了我們的疑問：「難道**翅膀狀態能幫助野蜂採集花粉嗎？**」

在養蜂場的實驗、測試過程中，我們曾因義大利蜂的攻擊而傷痕累累，而觀察臺灣野蜂的飼養箱時卻安全許多，因此選定溫和的「**臺灣野蜂**」做為研究對象，開始與蜜蜂一同沉醉在香甜的世界。



圖 1-1 觀察校園內的野蜂

貳、研究架構：



參、研究設備與器材：

- 一、記錄：記錄紙、鉛筆、直尺、精密量尺、SONY DSC - T200、彩色筆、網路硬碟空間、NIKON V1 (10~30mm f3.5~5.6)、CANON 400D (100mm MACRO f2.8)、翻拍架。
- 二、觀察：臺灣野蜂、義大利蜂、延長線、放大鏡、顯微鏡、透明壓克力蜂箱、巢片、木頭蜂箱、給水器、糖水、燻煙器、護目鏡、帽子、手套、頭巾、口罩、蜜蜂王籠。
- 三、實驗：CASIO BABY - G 電子錶、靜電測試器、剪刀、金箔、竹籤、錐型瓶、漆包線、頭髮、衛生紙、工業用電風扇、延長線、棉線、冰棒棍、投影片、熱熔膠、鋁箔、筆記本補強圈貼紙、計時器、PHILIPS flood light 120W、塑膠直尺、篩子、集粉器、膠帶、玻璃棒、不織布 (黑色)、雙面膠、吹風機、刮藥匙、玻璃棒、粗吸管、長效型夜光粉、吹風機、寶特瓶、美工刀、保麗龍膠、茶葉濾網、光碟筆、衛生紙、噴霧器、保麗龍、糖度計、定量滴管、PH 值檢測筆、沖洗瓶。
- 四、統計：筆記型電腦、Helicon Focus 軟體試用版。

肆、研究方法與結果：

研究一、認識臺灣野蜂：

(一) 實地觀察臺灣野蜂，研究習性。

為了想要多認識臺灣野蜂，我們藉由資料查詢來增加瞭解蜜蜂知識，並且在校園內、美崙山以及養蜂場中觀察、實驗 (圖 1-1、圖 4-1、圖 4-2、圖 4-3)。為了進一步研究，我們請美崙野蜂改良場的張伯伯 (註¹) 和張大哥教我們認識蜜蜂，帶我們到野外捕捉野蜂群，並帶回學校飼養 (圖 4-4)。

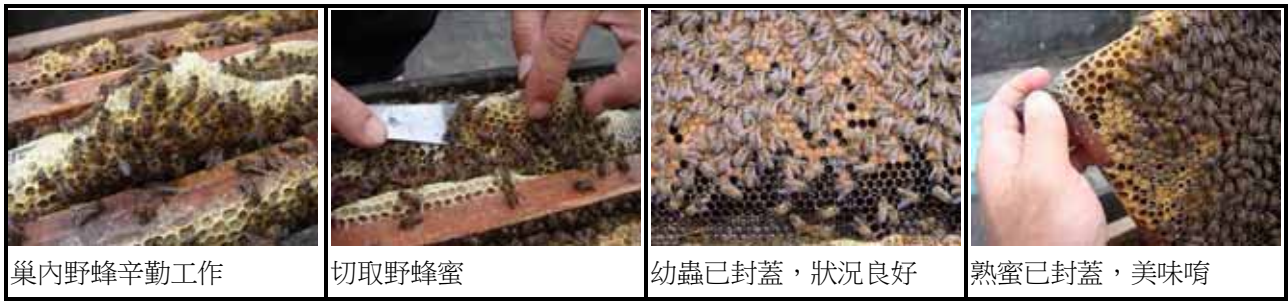


圖 4-1 張伯伯飼養的臺灣野蜂

註¹：張伯伯是組員爸爸的同事，因此我們特別請張伯伯和張大哥教導我們認識蜜蜂。尤其當我們遇到問題時，張伯伯都盡力的解答我們的疑惑。在養蜂場時，張伯伯也常挖取蜂巢片中的的蜂蜜，當場讓我們享用，讓我們比較臺灣野蜂蜜和義大利蜂蜜的差異。甚至還抓淘汰的臺灣野蜂雄蜂和義大利蜜蜂的蜂王讓我們飼養。非常謝謝張伯伯讓我們有機會親自體驗、學習許多的蜜蜂知識。



圖 4-2 有關蜜蜂知識的學習與測試



圖 4-3 張伯伯帶我們觀察臺灣野蜂的自然巢穴



圖 4-4 到野外採集野蜂回學校飼養、觀察的流程

實驗結果：

查詢資料得知研究對象種類，是屬於**膜翅目蜜蜂科**的 *Apis cerana*，廣泛分布在臺灣本島低、中海拔地區（楊維晟，2010），適應臺灣氣候。張伯伯說：「臺灣野蜂個性溫和、嗅覺靈敏、體型較小，能採集小型花朵的花蜜，因此冬天不需要額外飼養糖水。」在「昆蟲入門」書中提到：「野生蜜蜂習慣選擇樹洞、土洞、中空の電線桿、屋簷內縫隙等處，以工蜂分泌的蜂蠟構築巢穴」（張永仁，1998）。觀察張伯伯飼養的野蜂群，以及我們在野外捕捉野蜂群的親身經驗，我們發現臺灣野蜂是**群居昆蟲**，因此需要較大的中空環境製作巢片築窩（圖 4-3），與在竹竿內築巢的黑翅木蜂不同（李坤碧等，2006）。

經由訪談養蜂人家與我們飼養結果（表 4-1），因臺灣野蜂的野性強、易逃蜂，所以非常難以人工飼養，但是由於牠的**蜂蜜氣味獨特**、產量少，因此野蜂蜜的價格高昂。實地觀察結果，**臺灣野蜂非常溫和**，以手指頭去觸碰在巢口的守衛蜂，守衛蜂會躲避我們的手指頭。甚至張伯伯帶我們去捕野蜂時，漫天飛舞的蜜蜂也不會螫人（圖 4-4E、圖 4-5）。

表 4-1 捕蜂飼養狀況記錄表

編號	採集日期	採集地點	飼養天數	狀況
A	2011-12-25 (日)	花蓮·鳳林	2 天	星期一放王，星期二即已整群遷徙。
B	2011-12-25 (日)	花蓮·鳳林	16 天	飼養 16 天後整群逃蜂。
C	2012-02-12 (日)	花蓮·壽豐	19 天	飼養 17 天後，發現蜂王與部分蜂群逃離後，部分工蜂留下並製作王台，但並未產生蜂王。3 月 1 日巢內剩餘少數幾隻蜜蜂，3 月 2 日止結束（巢內無蜂）（圖 4-6）。



圖 4-5 漫天飛舞的野蜂，很溫和並不主動螫人



圖 4-6 編號 C 的飼養尾聲（備註：我們飼育的糖水比例，糖：水=1：3）

我們利用觀察法、實驗法，分別用肉眼、放大鏡、顯微鏡去觀察臺灣野蜂翅膀結構。

1、翅膀外觀觀察：

(1) 肉眼觀察、實驗：

- A、在蜂巢旁撿取已死亡的臺灣野蜂。
- B、用肉眼分別觀察頭、胸、腹的構造。
- C、特別注意胸部與翅膀的關係。
- D、將所看見的翅膀特徵描述在紀錄紙上，並練習手工描繪。
- E、細節不易分辨的部分，繼續使用放大鏡和顯微鏡觀察。
- F、以噴霧器對著蜜蜂標本的翅膀噴灑水珠，觀察是否能夠迅速排水。

(2) 放大鏡觀察：

- A、在蜂巢旁撿取已死亡的臺灣野蜂。
- B、透過放大鏡用肉眼觀察（圖 4-7）。
- C、查看兩者翅膀，並做記錄。

2、翅膀細部結構研究（顯微鏡觀察）：

- (1) 在蜂巢旁撿取已死亡的臺灣野蜂。
- (2) 用鑷子取下翅膀，以顯微鏡觀察（圖 4-8）。
- (3) 把各部位特徵用電腦拍下，並比對書籍資料。

(二) 臺灣野蜂翅膀構造為何？



圖 4-7 觀察臺灣野蜂，以了解牠的外觀構造



圖 4-8 以顯微鏡觀察臺灣野蜂，以了解牠的細微構造

實驗結果：

1、觀察結果，臺灣野蜂具有兩對翅膀（圖 4-9），翅膀長度約 8.32mm 。



圖 4-9 臺灣野蜂外貌繪製

2、透過顯微鏡觀察，我們發現**翅膀上有微小的刺狀物**、前後翅中間有勾狀物，後翅去勾住前翅（圖 4-10），這樣的目的是做什麼呢？我們發現巢穴外老弱的野蜂**翅膀伸直**，甚至有些破裂；在巢穴中的野蜂翅膀則會**摺疊於腹部上方**（圖 4-11）。而臺灣野蜂和義大利蜂在採花採蜜，停佇在花朵上時，翅膀有一特別的狀態 - **前後翅膀勾合、下摺**（圖 4-12）。

3、臺灣野蜂翅膀不具備奈米蓮花效應。

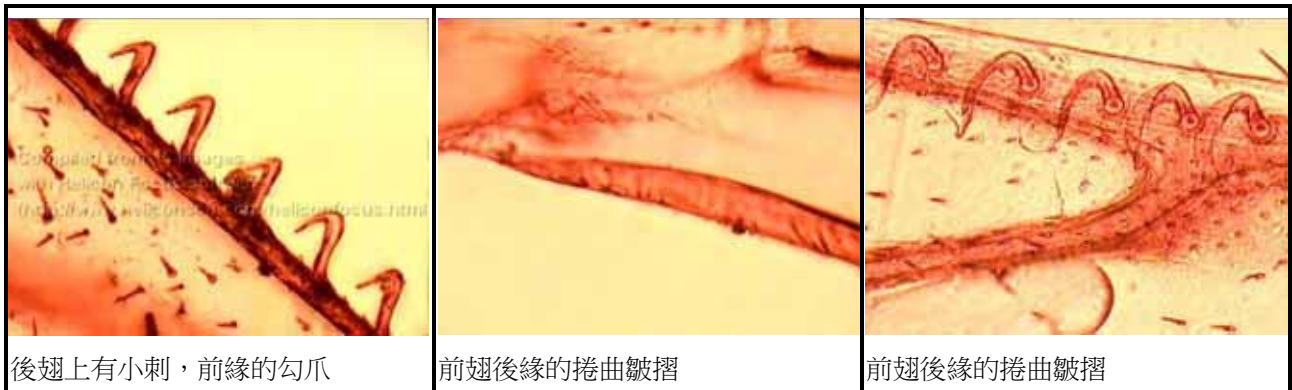


圖 4-10 臺灣野蜂翅膀上的細微構造（照片來自我們以顯微鏡拍攝）

備註：我們使用 Helicon Focus 試用版軟體處理顯微鏡拍攝的照片，優點是可以讓照片都很清楚（而不會只有在對焦點清楚），缺點是由於試用版的關係，照片中間會顯示一些文字。



圖 4-11 臺灣野蜂在巢內**翅膀相疊**置於腹上；無力即將老死時**翅膀勾合、平展**



圖 4-12 我們發現，臺灣野蜂採粉蜜時，翅膀狀態：勾合、下摺

(三) 臺灣野蜂六足特徵為何？

- 1、撿取巢穴附近死亡的臺灣野蜂。
- 2、分別以肉眼、放大鏡及顯微鏡觀察野蜂的前、中、後足。
- 3、拍照並存檔，並比對書籍資料。

實驗結果：

表 4-2 臺灣野蜂步足構造描述表

腳的類別	腳的特徵	圖片
工蜂前腳	前腳有觸角梳，協助清理觸角（張世揚，1986）。	
工蜂中腳	具有脛距（tibial spurs），用來鬆除花粉籃內的花粉丸也用來清理翅及氣孔（張世揚，1986）。	
工蜂後腳	後足有特化的花粉梳，將身上的花粉集中到後肢的花粉籃中（pollen basket）（沈競辰，2003）。	

(四) 臺灣野蜂和義大利蜂的工蜂差別為何？

由於研究對象與義大利蜂類似，而且都同屬於膜翅目蜜蜂科的昆蟲。再加上蜂農大部分是飼養義大利蜂，因此我們想知道臺灣野蜂和義大利蜂的差異。針對這兩種蜜蜂，我們展開比較（圖 4-13）。

- 1、使用**訪談法**，訪問美崙野蜂改良場和吉安養蜂場的養蜂人家，以了解蜜蜂習性。
- 2、以**觀察法**親自到養蜂場、野外了解蜜蜂習性和生態環境。
- 3、請美崙野蜂改良場的張伯伯教導我們飼養野蜂。透過飼養就可以每天就近觀察。
- 4、利用顯微鏡拍攝局部特徵比對。
- 5、利用**實驗法**，了解蜜蜂煽風方向。



圖 4-13 多方面認識臺灣野蜂和義大利蜂

實驗結果：

經過觀察、訪談和實驗，研究結果如表 4-3。

表 4-3 臺灣野蜂與義大利蜂差異概述表

種類	臺灣野蜂工蜂	義大利蜂工蜂
工蜂外觀	體長較小 (體長約 10.99mm、翅長約 8.32mm)、 體色偏黑 (圖 4-14)。	體較長 (體長約 12.71mm、翅長約 9.35mm)、 體色偏黃 (圖 4-14)。
蜂窩孔徑	利用量尺測量，蜂巢對邊長約 3.73mm。	利用量尺測量，蜂巢對邊長約 4.40mm。
工蜂行為	1、溫和而且幾乎不會攻擊人 (甚至捕蜂時受干擾傾巢而出，也只是漫天飛舞)。 2、巢口煽風之內勤蜂，頭部朝外， 向巢內吹送 氣流 (圖 4-15)。	1、較易主動攻擊人 (尤其是在陰雨天，非大量採蜜採粉的氣候，在養蜂場觀察時最常被攻擊)。 2、巢口煽風之內勤蜂，頭部朝內， 向巢外吹送 氣流 (圖 4-15)。

採粉	天氣佳時能大量採蜜採粉（註 ² ）。	天氣佳時能大量採蜜採粉（圖 4 - 16）。
採蜜	產製的野蜂蜜更具釀製的酸香味。（以春蜜為例，PH 檢測約為 3.43 度，糖度為 12.10）。	產製的蜂蜜具釀製的酸香味。（以春蜜為例，PH 檢測約為 3.54 度，糖度為 11.13）。
蜂王乳	無法收採王乳（註 ³ ）。	可大量生產販售。
蜂蜜特性	野蜂蜜較高昂，味道也較特殊。非常難飼養，容易逃蜂，無法採收蜂王乳。野蜂蜜較貴且難購買（註 ⁴ ）。	蜜、粉、蜂王乳均能大量生產。較野蜂容易飼養，但需要養蜂技術。真正的純蜂蜜不易購買。

註²：野蜂改良場養蜂場張伯伯表示，臺灣野蜂雖然無法產蜂王乳，但是由於牠體型小、嗅覺比義大利蜂靈敏，因此能蒐集到更多小型花朵的花蜜。再加上野蜂比義大利蜂早工作、晚下班（根據學姊研究，臺灣野蜂較日出早約 34 分鐘開始工作，返巢較日落晚約 13 分鐘《沈平，2005》），因此在採集花蜜的能力上，是優於義大利蜂（但是一般飼養的野蜂無法採集牠們的花粉，因為集粉器的洞口是針對體型較大的義大利蜂設計）。張伯伯說冬天時，因為野蜂能持續搜尋到蜜源植物，因此在冬天時，野蜂不需要餵食糖水。

註³：訪談吉安養蜂人劉伯伯：「臺灣野蜂不太會產蜂王乳。若是養蜂場想要販售蜂王乳，那飼養上就必需以義大利蜂為主。」

註⁴：張伯伯說：「臺灣野蜂非常容易因為干擾而逃蜂，一般人若以人工蜂箱飼養，較難長期留蜂。也因此，許多人飼養野蜂是長期在外捕捉野生蜂群，以替補逃蜂。」「臺灣野蜂不需要特別照顧、餵育。飼養者要留住野蜂，需要養蜂技巧。」



圖 4 - 14 臺灣野蜂與義大利蜂外型圖





圖 4 - 15 臺灣野蜂與義大利蜂搨風差異



圖 4 - 16 義大利蜂採粉狀況

研究二、野蜂振翅真能產生靜電嗎？

(一) 如何測量細微靜電？

1、初設計：我們各自製作靜電儀，並帶來學校與組員分享（圖 4 - 17）。



圖 4 - 17 我們各自初設計製作的靜電瓶

測試結果：

露天使用，需避免風吹而造成晃動，因此採用有瓶子遮蔽保護的設計。實際在戶外測量野蜂，可能因為製作靜電瓶使用的鋁箔不夠輕薄，因此我們請組長的媽媽幫我們在網路上訂購金箔，讓我們有機會改進靜電測量工具。

2、改良版：

- (1) 將金箔夾於紙張中（避免金箔黏附破損），把金箔裁剪成兩條細長條狀（注意紙和金箔要靠緊，如果有空隙，金箔容易相黏而皺摺沾附在一起）。
- (2) 把金箔串在刮好的漆包線上，再用鑷子夾下金箔兩側的紙，留下一張紙在兩片金箔之間（圖 4-18）。（防止金箔黏在一起）（製作時，動作要輕緩，避免有風擾動。）
- (3) 把漆包線串過橡皮塞後再塞黏土，然後把橡皮塞塞在玻璃瓶上。
- (4) 當有靜電的物體靠近漆包線，漆包線上的金箔會互相撐開來（圖 4-19）。

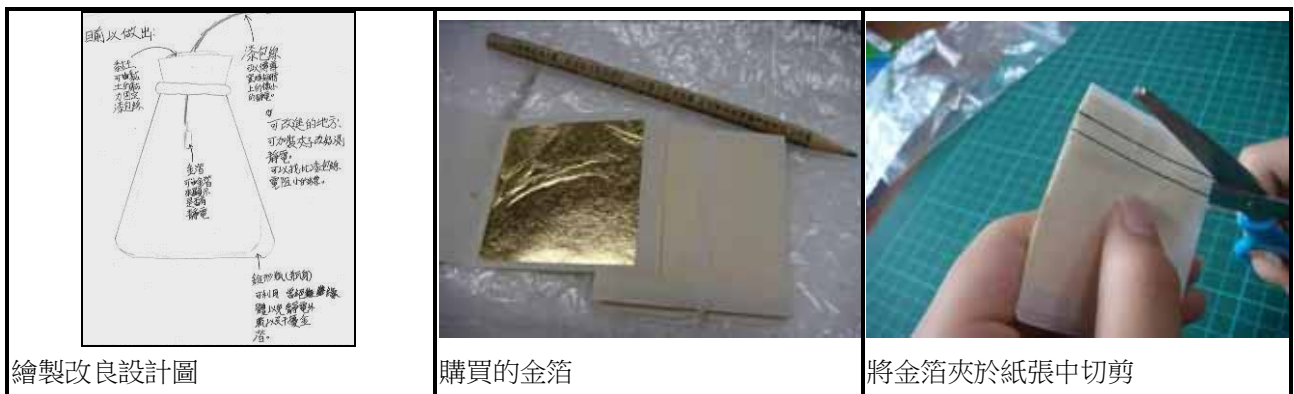


圖 4-18 金箔靜電瓶設計與剪下金箔



圖 4-19 製作金箔靜電瓶與測試

測試結果：

我們自製的金箔靜電儀，能夠測量微小靜電，但是缺點是容易晃動而導致金箔沾黏在一起。

（二）野蜂振翅真的有靜電嗎？（在蜂窩巢口降落區測量）

使用自製靜電儀測量，仍無法測量出在花朵上的蜜蜂，牠的靜電量到底是多少呢？就算是用金箔，還是毫無反應。我們向學妹的爸爸借到靜電儀，並拿它來測量花朵上野蜂的靜電，也是無法判讀出靜電數據。我們認為有兩個可能：1、蜜蜂的靜電量很小；2、蜜蜂降落在花朵上，靜電已經導地而流失，所以無法測出。

根據我們的猜測，改良測量方法：既然蜜蜂降落在花朵後，因接地而靜電流失，那麼如果我們在蜂巢口測量，當蜜蜂回巢時，即可被測出是否有靜電。

研究方法～針對「臺灣野蜂」：

- 1、置放鋁箔於野蜂的巢口，將靜電儀器測量端夾在鋁箔紙的側緣。(如果是養殖的臺灣野蜂巢，則將集粉器放置於臺灣野蜂巢口，將靜電儀器測量端夾住集粉器的蜜蜂降落區金屬材質的側緣)。
- 2、啟動靜電儀器將測量電壓指數歸零。計時3分鐘後將結果存檔記錄(圖4-20)。

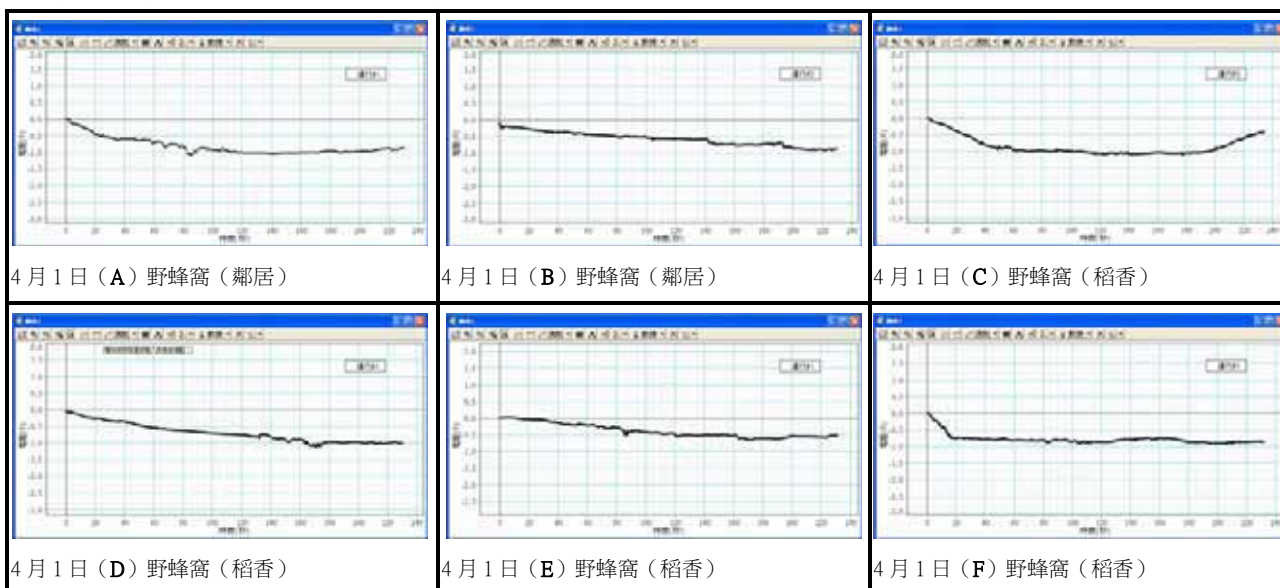


圖 4-20 野蜂巢口靜電測試

我們想知道臺灣野蜂振翅是否真的能產生靜電？因此透過前測，我們發現在蜂巢前降落區測量是可行方式。

實驗結果：

臺灣野蜂巢口靜電電壓測試結果(圖4-21)。



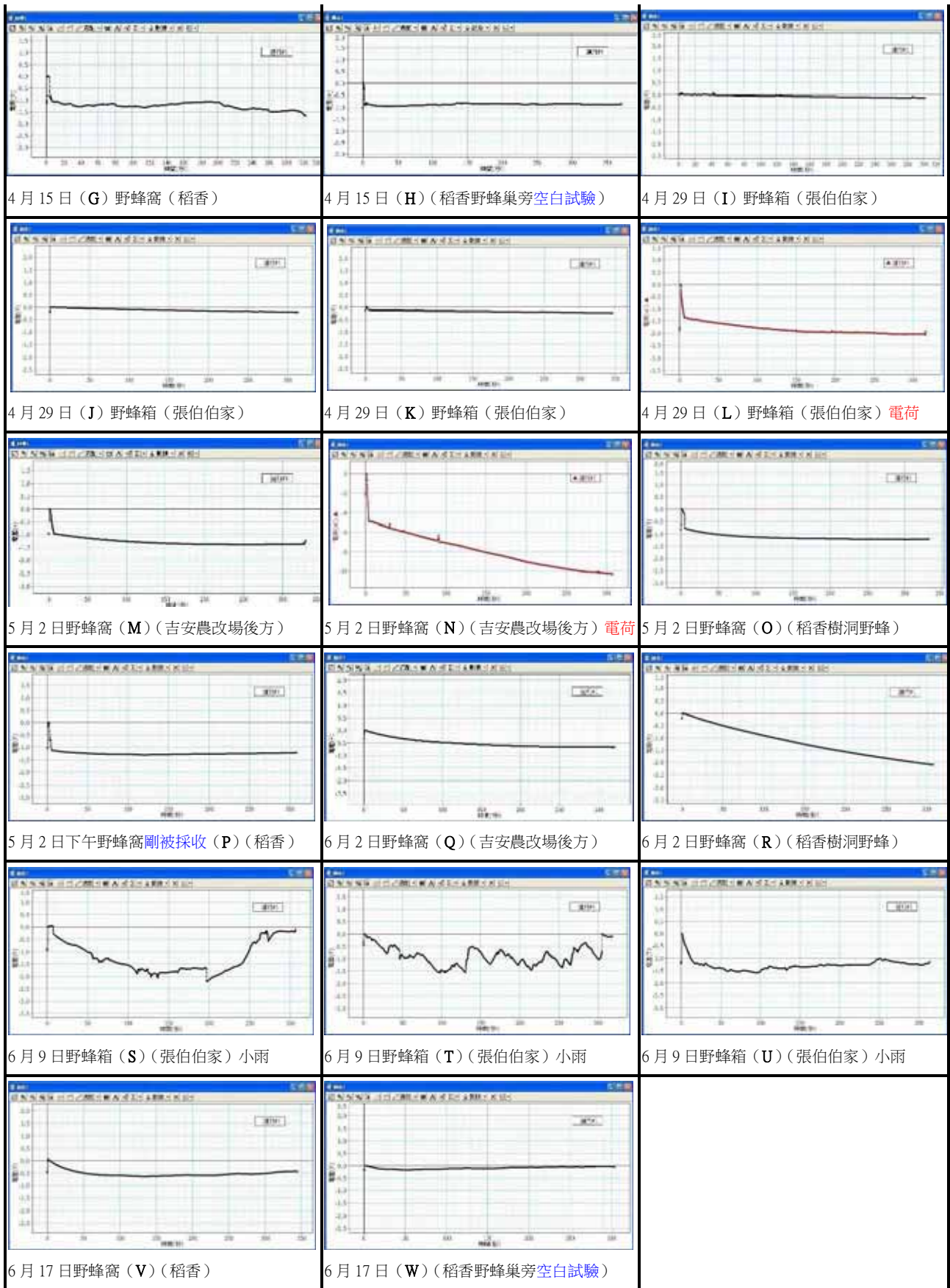


圖 4-21 臺灣野蜂巢口降落區靜電電壓測量結果圖

研究三、為何野蜂振翅有靜電？

(一) 高速磨擦會有靜電嗎？

根據「昆蟲 Q&A」書上說蜜蜂一秒鐘可以振翅 200 次。對照紋白蝶的每秒 10 次、蜂鳥的每秒 50 次（朱耀沂、盧耽，2010），我們認為蜜蜂算是振翅速度非常快的昆蟲。那麼，蜜蜂在高速振翅的狀態之下，是否會因為和空氣高速摩擦而產生靜電呢？

我們在投影片上畫出放大版的蜜蜂翅膀型狀，再依描繪的外型剪下。利用所做出的「投影片翅膀」，我們展開一連串的模擬實驗。

研究方法：

- 1、在工業用電風扇的扇葉末端黏上冰棒棍。並把投影片翅膀用膠帶黏在冰棒棍上。
- 2、電風扇橫放在保麗龍上，避免靜電接地而散逸。以**濕抹布**輕拭（消除靜電）。
- 3、**啟動風扇前**，將**金箔靠近投影片翅膀**，**確定金箔不會被投影片翅膀吸附**。
- 4、啟動電風扇最大的三級風，連續運轉 3 分鐘。
- 5、風扇停止旋轉後，以衛生紙輕輕抬起金箔靠近投影片翅膀，觀察金箔是否被吸上。將實驗結果記錄。
- 6、用鑷子把金箔夾下，並用**濕抹布**擦拭投影片翅膀、冰棒棍和扇葉（消除靜電）。
- 7、用金箔靠近確認有無靜電（如金箔被吸上去，表示還有靜電，必須再擦一次）。
- 8、高速旋轉多次後投影片翅膀會變形。為了預防有誤差，每測完 3 次後更換新翅膀（圖 4-22）。

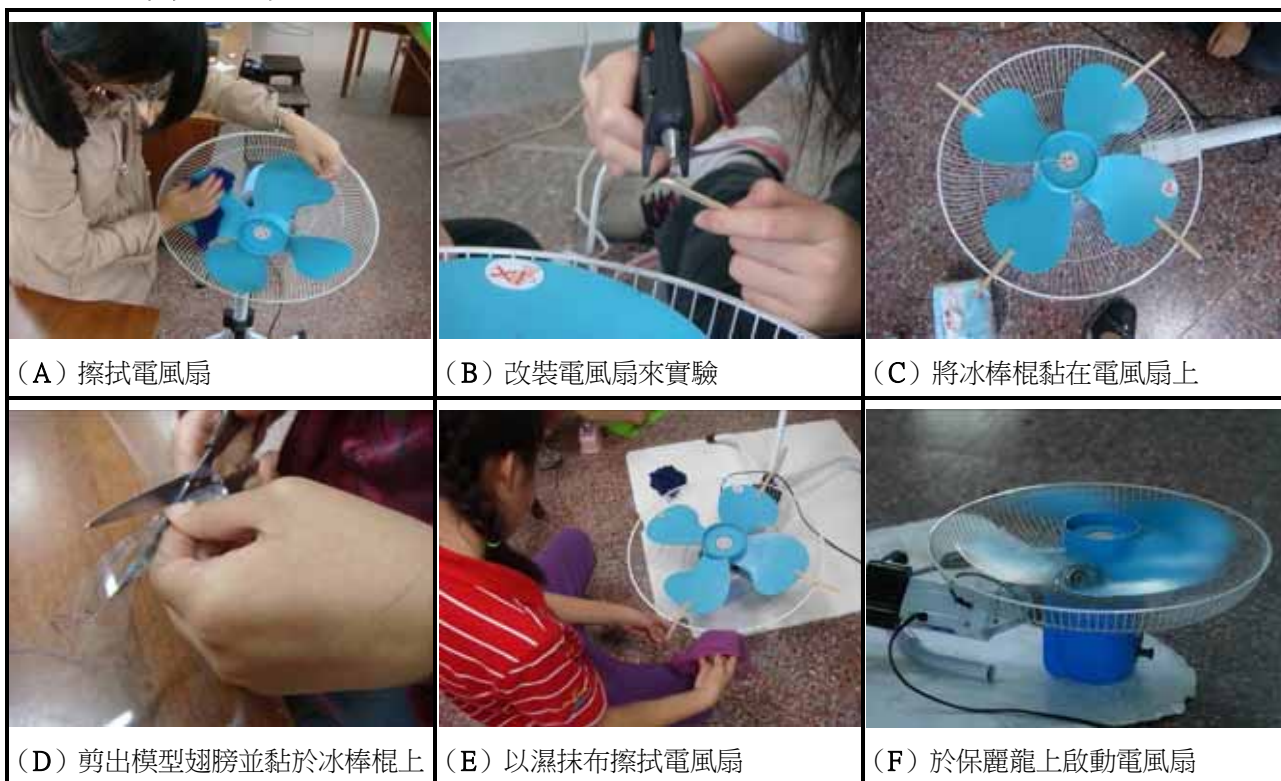




圖 4 - 22 塑膠翅膀與空氣摩擦產生靜電實驗（順序依照英文字母）

實驗結果：

測量投影片翅膀高速旋轉後是否帶有靜電，其中 88.57%金箔會被吸附。(圖 4 - 23、表 4 - 4)

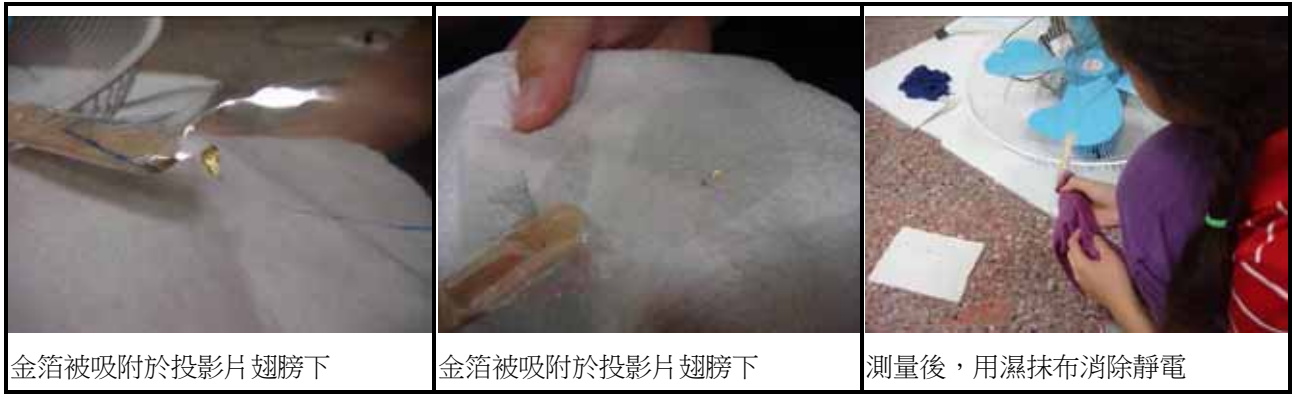


圖 4 - 23 測量投影片翅膀高速旋轉後是否帶有靜電

表 4 - 4 投影片翅膀實驗結果記錄表

靜電有無 次數	金箔被吸附	金箔沒被吸附
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	★	
所佔比例	88.57%	11.43%

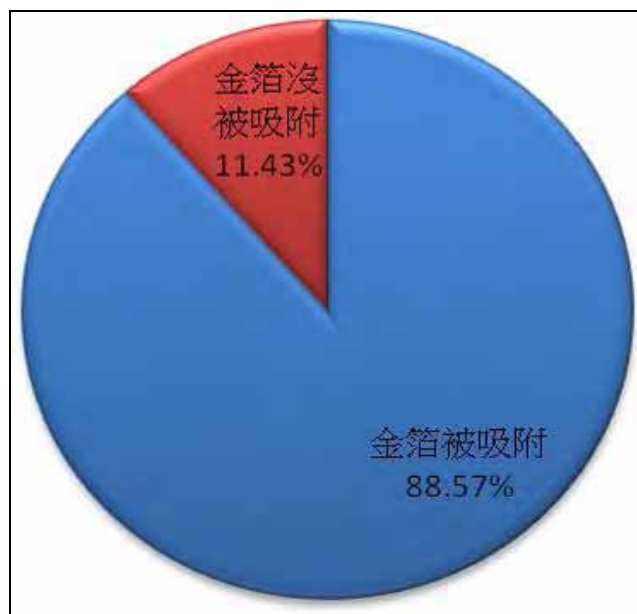


圖 4-24 投影片翅膀靜電實驗結果統計圖

(二) 翅面針狀構造有助於產生靜電嗎？

研究方法：

1、在工業用電風扇的扇葉末端黏上冰棒棍。並把投影片翅膀用膠帶黏在冰棒棍上。

- 2、以投影片分別製作平滑的蜜蜂翅膀。
- 3、把投影片剪成蜜蜂翅膀的形狀後，於翅面上畫出錐狀突起（圖 4 - 25）。
- 4、利用刀片切割，並挑起錐狀突起物，製作出有刺狀突起的投影片蜜蜂翅膀。
- 5、電風扇橫放在保麗龍上，避免靜電接地而散逸。以濕抹布輕拭（消除靜電）。
- 6、拿木板當作保護板，啟動電風扇二級風，連續運轉 3 分鐘。
- 7、風扇停止旋轉後，以靜電儀測試刺翅和平翅的靜電壓。
- 8、高速旋轉多次後投影片翅膀會變形。為了預防誤差，每測完 3 次後更換新翅膀（若中途有翅膀斷裂、飛脫，也更換新翅）。



圖 4 - 25 切割翅面針狀做空氣摩擦實驗

實驗結果：

實驗 50 次中，有 30 次成功翅膀沒有斷裂，並測得靜電負電壓，統計結果如圖 4 - 26。

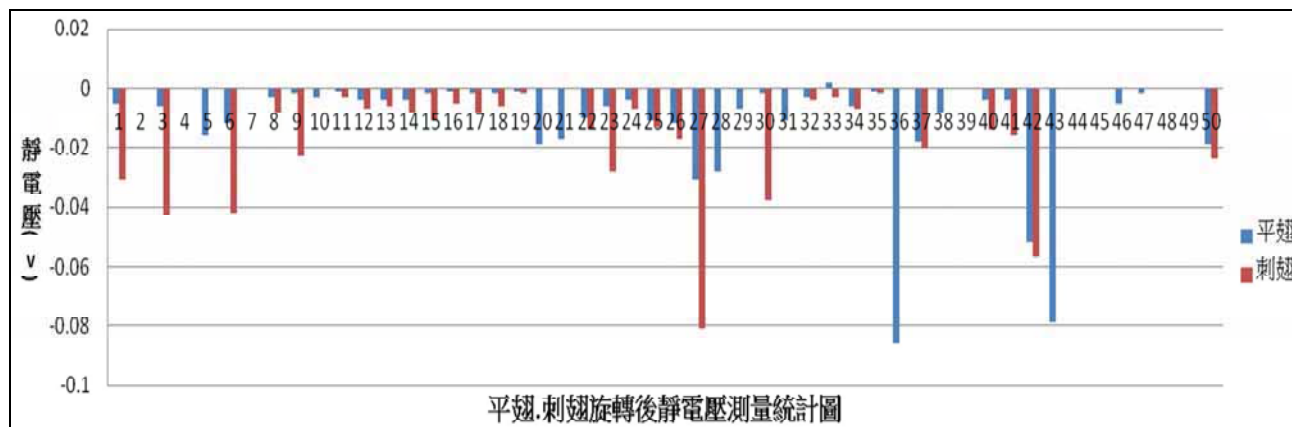


圖 4 - 26 平翅、刺翅旋轉後靜電壓測量統計圖

研究四、產生靜電，真能有助於花粉的採集嗎？

(一) 靜電吸附花粉（不擾動花蕊）實驗：

研究方法：

- 1、準備直尺和地圖布。
- 2、使用筆記本補強圈貼紙，並用光碟筆在直尺上畫上圈圈，當作「瞄準點」。
- 3、尺和地圖布摩擦 50 下。將尺靠近花朵（不接觸到花），距離約 5mm。
- 4、靜待約 3 秒鐘，將尺離開花朵後，用膠帶黏貼著瞄準點。
- 5、貼上補強圈貼紙方便以顯微鏡觀察樣本，再將膠帶慢慢撕下並貼在載玻片上。
- 6、將玻片樣本統一蒐集在盒中。拿乾淨的衛生紙擦乾淨直尺，以方便下次實驗。
- 7、回實驗室後，使用顯微鏡觀察玻片標本，檢查有無花粉粒（圖 4 - 27）。



圖 4-27 靜電吸附花粉（不擾動花蕊）實驗

實驗結果（不擾動花蕊）：

表 4-5 直尺摩擦後吸附花粉結果表（不擾動花蕊）

片數 \ 狀態	有花粉粒	無花粉粒
玻片	5 片	15 片
玻片	9 片	1 片
百分比	47%	53%

（二）靜電吸附花粉（擾動花蕊）實驗：

研究方法：

1、方法如上。

2、但是將尺靠近花朵後（不接觸到花，距離約 5mm），使用牙籤在直尺下方，來回撥動花蕊上三次（注意不要碰到尺）（圖 4-28）。



圖 4-28 靜電吸附花粉（擾動花蕊）實驗

實驗結果（擾動花蕊）：

表 4-6 直尺摩擦後吸引花粉結果表（擾動花蕊）

片數 \ 狀態	有花粉粒	無花粉粒
玻片	13 片	0 片
玻片	8 片	0 片
玻片	4 片	0 片
玻片	5 片	0 片
百分比	100%	0%

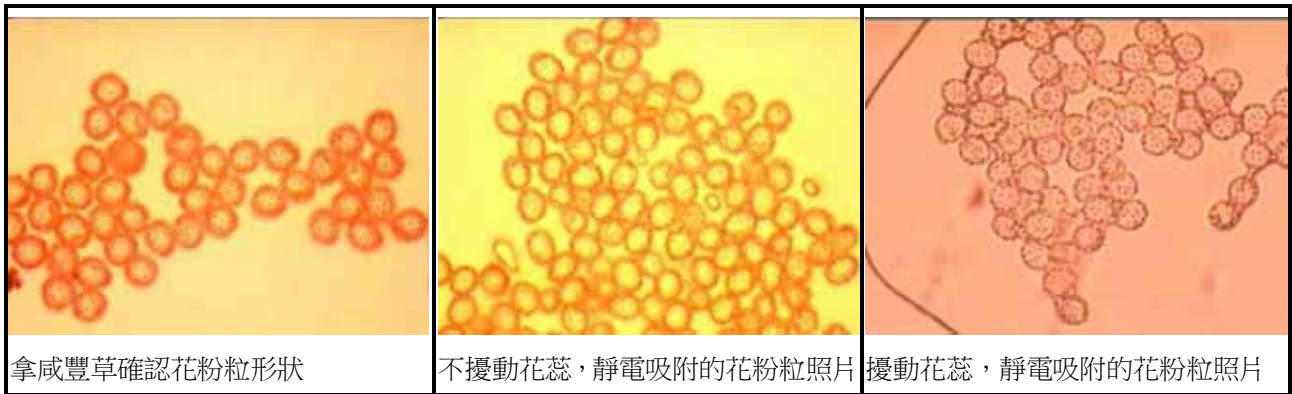


圖 4 - 29 靜電所吸附的花粉粒

研究五、野蜂身體有何構造能善用靜電，協助讓花粉附著？

在養蜂場、校園中、野外觀察、拍照，我們發現，蜜蜂的翅膀在巢穴及花粉上呈現不一樣的狀態。巢穴外老弱的野蜂翅膀伸直，甚至有些破裂；在巢穴的野蜂翅膀則會摺疊於腹部上方（圖 4 - 11）。而在花朵上採蜜採粉的野蜂，則會有一特殊現象「前後翅黏合、後翅下摺於腹部旁」（圖 4 - 12）。這一個現象讓我們覺得非常好奇，難道翅膀狀態能幫助野蜂採集花粉嗎？

（一）毛狀構造是否能協助沾附花粉？

研究方法：

- 1、先將玻棒和不織布放入自製灑粉器下，並對正位置。
- 2、用一平杓的夜光粉倒入茶葉濾網，再移入灑粉器上方。
- 3、手指輕彈茶葉濾網一下敲落少許夜光粉，使夜光粉模擬花粉沾附玻棒和不織布。
- 4、抽出玻棒和不織布後上各輕彈一下，並把玻棒和不織布朝上，移至鹵素燈旁。
- 5、利用鹵素燈照 5 秒後（使夜光粉能夠發光）移至翻拍架，並對齊翻拍架的底線。
- 6、關燈後拍照。單眼相機對焦功能調成 MF 手動模式；ISO 值調整為 800；曝光模式調成 M 模式。）
- 7、每次實驗後拍照記錄存證（圖 4 - 30）。
- 8、運用小型吹風機把夜光粉吹掉，吹完後於暗室再次檢查是否有殘留。
- 9、確認無殘留後，以此方法實驗各 30 次並記錄。



（A）三條線是為了讓玻棒定位

（B）玻棒後側也畫線固定位置

（C）用尺把夜光粉刮平（一平匙）



圖 4 - 30 毛狀與平滑構造沾附花粉實驗

實驗結果：

表 4 - 7 夜光粉黏附實驗成果表（不織布和玻璃棒）

編號	狀態	有毛黏附較多	無毛黏附較多	編號	狀態	有毛黏附較多	無毛黏附較多
1		✓		16		✓	
2		✓		17		✓	
3		✓		18		✓	
4		✓		19		✓	
5		✓		20		✓	
6			✓	21			✓
7			✓	22			✓
8		✓		23		✓	
9		✓		24		✓	
10		✓		25		✓	
11		✓		26		✓	
12		✓		27		✓	
13		✓		28		✓	
14			✓	29		✓	
15		✓		30		✓	
狀態		有毛黏附較多				無毛黏附較多	
總計		25				5	
百分比		83.33%				16.67%	

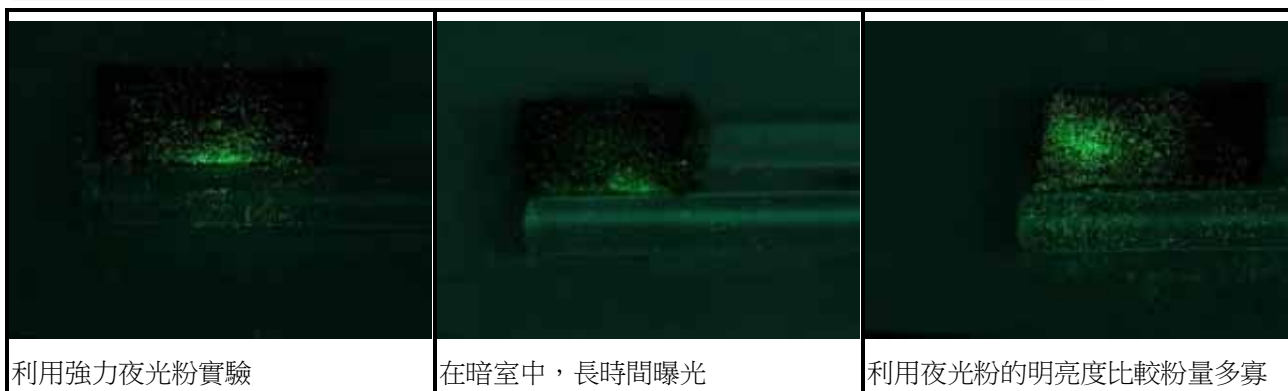


圖 4 - 31 胸毛模擬吸附花粉能力照片

(二) 翅膀的形態是否能協助吸附花粉？

研究方法：

- 1、測量野蜂身體比例，分為頭到腹部末端、頭到翅膀基部、翅膀長、腹部寬（倒數第三節寬）。
- 2、算出平均數後，再依比例：以不織布模擬身體、以投影片模擬翅膀，黏合。
- 3、我們實驗四種翅膀狀態（圖 4-32）：
 - (1) 翅膀不勾合、相疊置於腹上；
 - (2) 翅膀勾合、張開；
 - (3) 翅膀勾合、平展；
 - (4) 翅膀勾合、下摺。
- 4、先將選定的翅膀類型一一貼上冰棒棍並放置在盛有夜光粉的盒子上（四個類型做各 20 組）。
- 5、再將粗吸管與地圖布摩擦 50 下。
- 6、將粗吸管放置於選定的翅膀類型模型上，橫放並接觸 5 秒。
- 7、將選定的翅膀類型移開用鹵素燈照光 5 秒（距離 5 公分）。
- 8、將選定的翅膀類型移至暗室中的翻拍架下的平台上，相機與底座相距 43 公分。
- 9、把單眼相機 ISO 值調整到 ISO800。單眼相機對焦功能調成 MF 手動模式、曝光模是調成 M 模式。關上所有門窗，並在暗室中拍下一張照片。
- 10、每次實驗後拍照記錄存證（圖 4-18）。
- 11、做完 10 次後，使用小型吹風機把夜光粉吹掉，吹完後於暗室檢查是否有殘留。
- 12、確認無殘留後，以此方法實驗再實驗 10 次並記錄。
- 13、我們依照四種翅膀狀態，共做 80 組模型，160 次實驗，以實驗結果做統計圖。

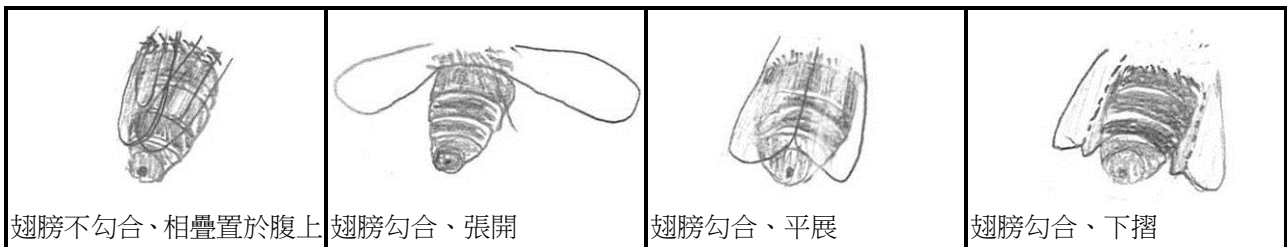
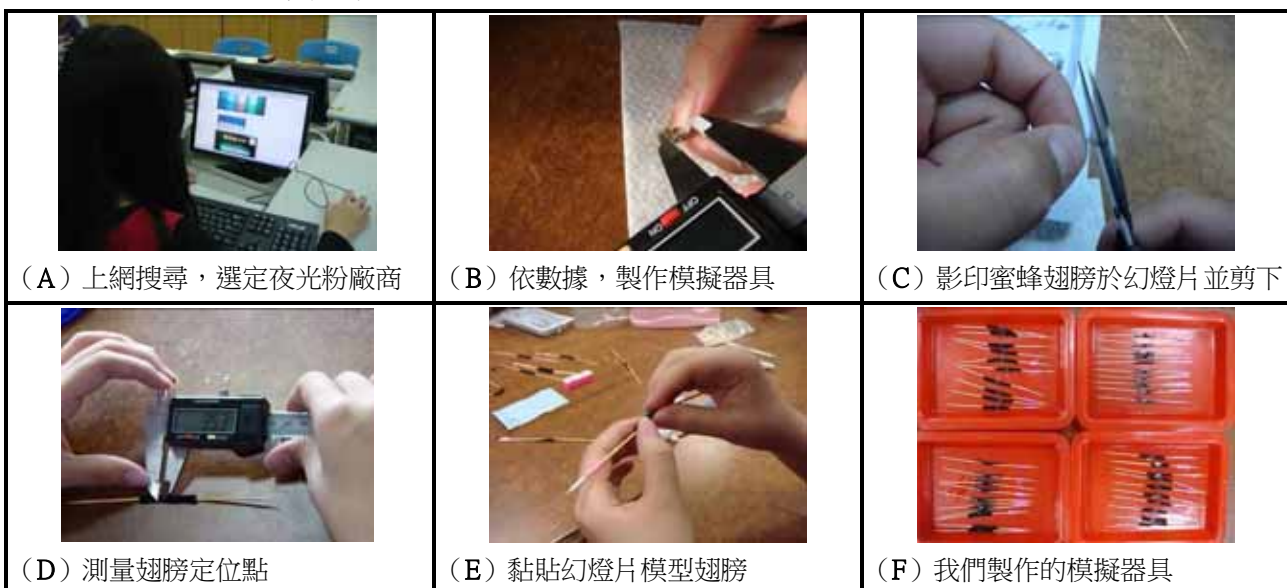


圖 4-32 蜜蜂的翅膀實驗狀態



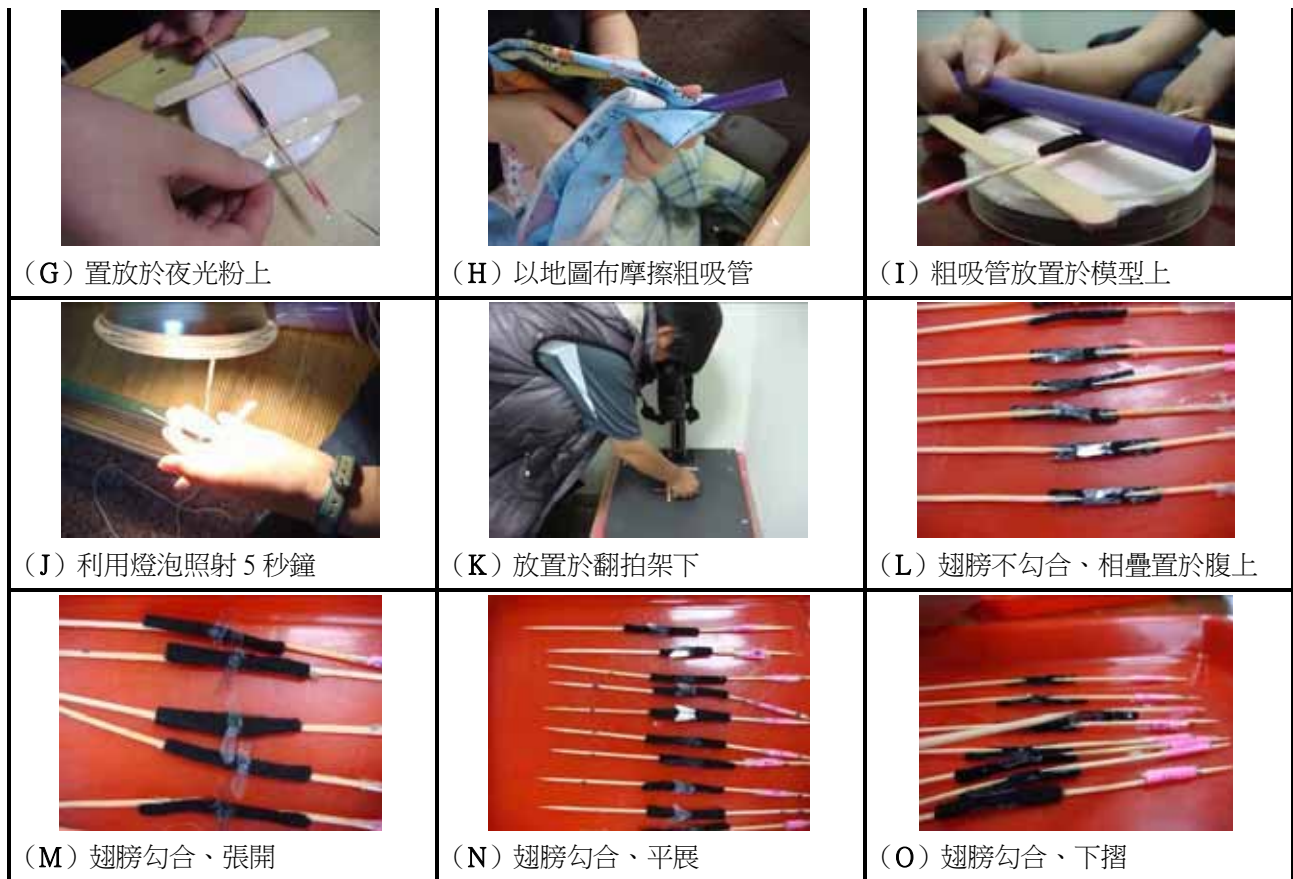


圖 4 - 33 翅膀狀態協助身體吸附花粉實驗

實驗結果：

臺灣野蜂翅膀上有微小的刺狀物，而前後翅中間有勾狀物。停佇在花朵上時，翅膀呈現特別的狀態 - 前後翅膀勾合、下摺（圖 5 - 6），查閱書籍，沒有相關的介紹。那麼我們所發現的翅膀狀態是為了什麼原因呢？演化上一定有它的目的吧？

根據我們模擬蜜蜂翅膀，實驗翅膀的狀態是否能協助吸附花粉，得到結果如圖 4 - 34。

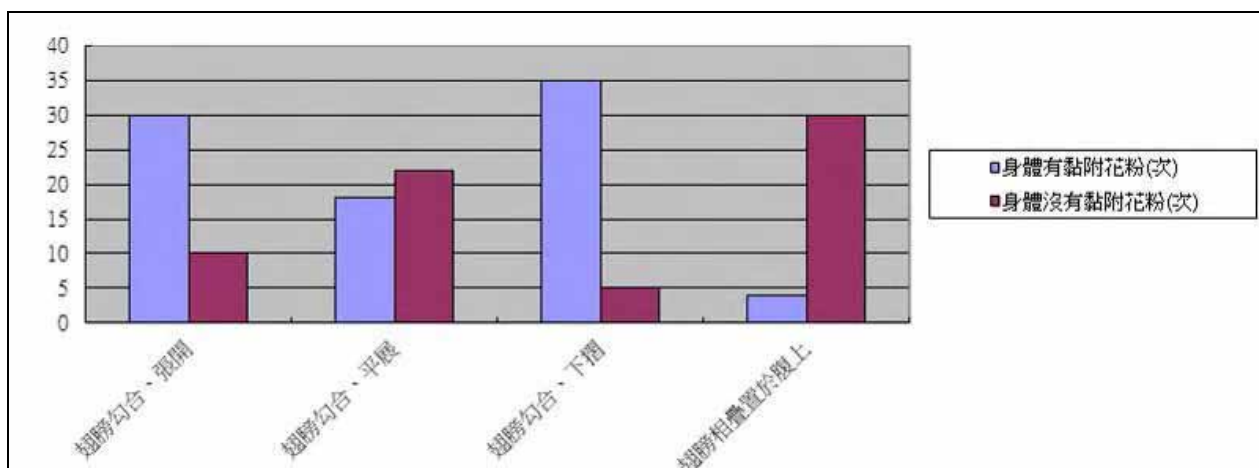


圖 4 - 34 翅膀狀態是否輔助沾附實驗結果圖

研究六、為何「翅膀勾合下摺」能協助吸附更多花粉？

（新增的實驗問題，積極構想中）

伍、討論：

一、認識臺灣野蜂的觀察：

- (一) 我們以捕蜂網將野蜂帶回學校，平放在桌上以手掌接近，明顯感覺**蜂群溫度較高**。可見蜜蜂可以產熱，提升巢內溫度，以適合蜂群撫育幼蟲。
- (二) 在蜂箱或野外蜂窩前觀察，臺灣野蜂並不會主動攻擊。而在採集蜂窩時，滿天的蜂群飛舞，即使停棲在我們身上和頭頂上，也只是靜靜佇立。因此我們判斷臺灣野蜂是溫和的。建議大家以後看到臺灣野蜂可以多親近觀察。
- (三) 臺灣野蜂翅膀不具備奈米蓮花效應，卻仍在下雨天時出外採集花粉花蜜。我們猜測，或許蜜蜂有獨特的方法來排除身上和花粉的水分吧！（利用搧風的方式排除、或是提升巢內溫度，加速水氣揮發。）
- (四) 透過顯微鏡觀察，臺灣野蜂**翅膀上有微小的刺狀物，前後翅有勾狀物，可相扣合**（圖 4-10）。我們發現工蜂在採花採蜜，停佇在花朵上時，翅膀有一特別的狀態 - **前後翅膀勾合、下摺**。但是巢內蜜蜂則會將翅膀相疊置於腹上；無力將老死時則翅膀會勾合、平展（圖 4-11、圖 4-12）。而搜尋文獻資料，並無相關的描述與記載。根據這一特性，我們思考「**臺灣野蜂身體有哪些結構能善用靜電，協助吸引花粉？**」
- (五) 蜜蜂在演化上，各步足演化出各自的構造和功能。第一對步足靠近觸角，因此演化出「觸角梳」來幫助清理觸鬚，使得採蜜過程中能有靈敏的嗅覺。我們經由觀察發現，**工蜂在起飛前會有清理觸角的動作**再出發採花粉花蜜。（附註：張伯伯曾在美崙養蜂場拿出義大利蜂的巢片，並讓我們用手指頭挖取蜂蜜和蜂王乳來品嚐，這時候常會發現聞香而來的臺灣野蜂飛來盜取義大利蜂的蜂蜜。因此，對於蜜蜂這種嗅覺靈敏的昆蟲，觸角的清潔或許是生存的重要關鍵之一。對於蜜蜂而言：演化出「觸角梳」，是重要而且必需。）
- (六) 第二對步足演化出「脛距」，這種像牙籤的長針狀構造，適合挑掉後腳上的花粉粒。
- (七) 第三對步足上，有特化的長毛，適合儲存採集到的花粉。查閱書籍發現，臺灣野蜂後足無脛距（貢穀紳，1992），此特性可與蜜蜂總科中的熊蜂科（Bombidae）做區別。
- (八) 在養蜂場，我們曾觀察到野蜂於巢口，一隻接一隻的**排隊**搧風，而義大利蜂完全沒有排隊的行為。臺灣野蜂這樣的動作與隊伍數量是否和溫度、光線、濕度有關呢？
- (九) 在學校觀察台灣野蜂採蜜粉，以及在養蜂場附近觀察義大利蜂，我們均發現若是這隻蜜蜂是採集 A 種花朵，那麼在採集過程中就不會採集 B 花朵。我們產生的疑惑是：
 - 1、當天一開始採集時，蜜蜂為何選擇 A 花朵，而沒有選擇 B 花朵？
 - 2、若是回巢卸下花粉後，會更換花種採集嗎？
 - 3、針對單一花種採集蜜粉，對於蜜蜂有什麼優點呢？

二、振翅產生靜電的探討：

- (一) 野蜂振翅真能產生靜電嗎？
 - 1、放在巢口測量靜電電壓，根據實驗結果，可發現：**若有蜜蜂出入，則隨著時間，測量靜電電壓結果會逐漸增加**（負電壓），因此我們可以看出曲線有下降的趨勢。以圖 4-21 實驗 D 為例來說明：我們可以看到隨著時間增加，測量電壓曲線逐漸往下（負電）延伸，再漸漸趨緩。
 - 2、在實驗 H 的部分，我們在巢穴旁沒有蜜蜂的地方測一次靜電，發現曲線在歸零結束

後下降，然後偏向水平，曲線沒有下降趨勢。

3、在實驗 L 和 N 的部分，**測量電荷的下降趨勢更為明顯**。

4、實驗 O，蜂巢剛被採收（因為巢口有熏煙器用過的燒焦木頭、也有剩餘的小塊巢片），野蜂在巢外亂飛舞、或是在地面停棲。有蜜蜂在巢口出入，但是**數量少，因此測量靜電的下降趨勢幅度不大**。

（二）為何野蜂振翅有靜電？

1、利用投影片翅膀，以電風扇模擬空氣摩擦實驗，88.57%的結果呈現投影片翅膀在高速轉動後，會產生靜電而吸引金箔（表 4-4、圖 4-24）。因此我們判斷，經過和空氣高速磨擦後，投影片翅膀上帶有靜電。

2、實驗過程中，刺翅容易斷裂、飛走的原因可能是因為：投影片翅膀上具有突起物，增加與空氣摩擦而造成空氣阻力變大，因而容易造成結構弱的地方斷掉。或是當膠帶沒有黏緊時，整個翅膀容易飛走。

3、實驗 50 次中，有 30 次成功能判讀出數據，左右數據兩相比對，其中 29 次顯示**刺翅靜電壓 > 平翅靜電壓**（圖 4-26）。但是第 33 次實驗，為何平翅為正電，刺翅為負電呢？是否因高速旋轉，會有電荷跳躍現象發生，而導致靜電流失？

三、靜電真能吸引花粉嗎？

（一）利用地圖布摩擦尺吸附花粉粒實驗（不擾動花蕊），其中 47%有吸附到花粉。

（二）根據實驗，我們猜測，當蜜蜂快要降落在花蕊時，花粉粒可能會因此開始被靜電吸附。

（三）利用地圖布摩擦尺吸附花粉粒實驗（有擾動花蕊），其中 100%有吸附到花粉。

（四）實驗證實，**靜電會吸附花粉**（表 4-5、表 4-6、圖 4-29），若在有靜電的狀況下擾動花蕊，更容易吸附花粉。

四、臺灣野蜂身體有哪些結構能善用靜電，協助吸引花粉？

（一）毛狀構造是否能協助沾附花粉？

1、根據實驗數據，我們判斷**蜜蜂身上的毛狀構造，能協助花粉被吸附**（實驗結果比例為 83.33%）（表 4-7）。

2、實驗結果發現，**沾附粉狀物能力：毛狀構造 > 平滑結構**（表 4-7、圖 4-31）。

（二）翅膀的形態是否能協助吸附花粉？

1、**翅膀勾合、下摺，黏附花粉效果最佳**。

2、**翅膀不勾合、相疊於腹上，黏附花粉效果最差**。

3、從實驗結果中，我們發現翅膀狀態協助沾附花粉能力依序為：

翅膀勾合、下摺 > 翅膀勾合、張開 > 翅膀勾合、平展 > 翅膀相疊置於腹上（圖 4-34）

五、意外發現：

在學校觀察過程中，芒果葉上居然也有野蜂飛舞、停駐。為什麼會這樣呢？我們發現葉子在太陽照射下閃耀著光亮。拔下有亮光的芒果葉片，經由舌頭測試，原來是因為甜份吸引了味覺靈敏的野蜂來到。這顛覆了我們以前所學到的知識「蜜蜂採花蜜」，原來**蜜蜂不只採花蜜，也採「葉蜜」**（圖 5-1）！

那麼，還有幾種植物的葉子會吸引野蜂去取蜜呢？為何葉子會有蜜汁呢？或許在葉蜜問題上可以多做觀察記錄。



舔食芒果葉的臺灣野蜂

讓我也來品嚐看看

野蜂居然會食用芒果葉表面的糖分

圖 5-1 芒果葉蜜也很好吃唷

陸、結論：

- 一、臺灣野蜂**翅膀上有微小的刺狀物，前後翅有勾狀物，可相扣合**。工蜂在採花採蜜，停佇在花朵上時，翅膀有一特別的狀態：**前後翅膀勾合、下摺**。巢內蜜蜂則會將翅膀相疊置於腹上；無力將老死時則翅膀勾合、平展。
- 二、以電風扇模擬空氣摩擦實驗，88.57%的結果呈現：投影片翅膀在高速轉動後，會產生靜電而吸引金箔。證明投影片翅膀與空氣摩擦後，會產生靜電。
- 三、透過顯微鏡觀察發現「蜜蜂翅膀上有微小的刺狀物」。我們設計了電風扇實驗。研究顯示：**刺翅靜電壓 > 平翅靜電壓**。所以我們判斷翅膀上的**針狀突起物能增加與空氣摩擦的面積**，因而提高靜電壓。
- 四、根據實驗結果，我們發現：在巢口測量**蜜蜂靜電電壓，電壓隨著時間逐漸增加**（負電壓），顯示蜜蜂飛行的確有靜電產生，並在降落後被測得。以地圖布摩擦尺吸引花粉粒實驗中發現：不擾動花蕊，其中47%有吸引到花粉；有擾動花蕊，其中100%有吸引到花粉。因此，除了用腳去刮下花粉外，**蜜蜂能夠利用靜電協助花粉沾附在身上而採集到更多的花粉**。
- 五、經過實驗證實蜜蜂能產生靜電，那麼臺灣野蜂身體有哪些結構能善用靜電，協助吸引花粉呢？針對「毛狀構造」與「翅膀狀態」做模擬實驗。實驗結果發現，**沾附粉狀物能力：毛狀構造 > 平滑結構**。因此我們判斷**蜜蜂身上的毛狀構造，能協助花粉被吸附**。
- 六、前後翅間的勾狀物具有重要意義。我們認為**前後翅膀勾合、下摺，是蜜蜂採集花粉的演化絕招**。原因是**翅膀狀態可以引導花粉至蜜蜂身體下半部，以方便蜜蜂做蒐集花粉的動作**。

柒、參考文獻：

- 朱耀沂、盧耽。昆蟲 Q&A，初版。臺北市：天下遠見。46 頁。2010。
- 沈競辰。一花一世界，初版。臺中市：晨星。69 頁。1999。
- 沈競辰。花與受粉的的觀察事典，初版。臺中市：晨星。142 頁。2003。

沈平。中國蜂與西洋蜂型態與行為之比較。2012年6月17日，取自

<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/45/high/0317/031703.pdf>

李坤碧、涂俊哲、林彥如、陳瑾儒、霍義仁。2006。早安！黑翅木蜂。2012年3月16日，取

自 <http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/46/elementary/0815/081561.pdf>

貢毅紳。昆蟲學（中冊），修訂版。臺中市：中興大學農學院。652頁。1992。

張永仁。昆蟲入門，初版。臺北市：遠流。161頁。1998。

張世揚。基礎養蜂學，初版。台北市：淑馨。22、25頁。1986。

楊維晟。野蜂放大鏡，初版。臺北市：天下遠見。201頁。2010。

【評語】 080312

1. 主題有創意，成員合作、分工良好。
2. 應加強證據（如實際觀察花粉被主動收集）。
3. 可思考已有高度特化用來收集花粉的花粉籃構造靜電吸附的意義。