

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生物（生命科學）科

最佳(鄉土)教材獎

040718

帽子戲法

-台灣四種鳳仙花花朵構造與授粉昆蟲之觀察

學校名稱：國立員林高級農工職業學校

作者：	指導老師：
職二 林宛樺	許佳玲
職二 林昱含	沈競辰
職二 陳韻文	
職二 黃怡嘉	

關鍵詞：特有種、熊蜂、授粉

帽子戲法-台灣四種鳳仙花花朵構造與授粉昆蟲之觀察

摘要：台灣共有四種鳳仙花科植物，棣慕華鳳仙花；黃花鳳仙花；紫花鳳仙花為特有種，另一為入侵種的非洲鳳仙花。台灣原生的鳳仙花花朵形成圓筒形並具有長花距，雄蕊聯合形成帽子將雌蕊蓋住以防止自花授粉，白天主要授粉者皆為黃色熊蜂（*Bombus flavescens* F. Smith），花朵套袋以及自花授粉發現黃花、紫花鳳仙花皆無法結果，對於授粉蜂具有高度依賴性，棣慕華鳳仙花則具有很高的自花授粉能力，對授粉蜂的依賴性較黃花、紫花鳳仙花為低。三種鳳仙花花朵長度、寬度與花距長度皆與黃色熊蜂體長、體寬及口器長度高度相關，推測台灣三種鳳仙花經長期演化，形成授粉高度專一化的現象。

非洲鳳仙花花朵平展並具花距，可提供大型昆蟲停留。雄蕊同樣聯合將雌蕊蓋住以防止自花授粉，經套袋隔絕授粉者發現對於授粉昆蟲具有高度依賴性，授粉昆蟲隨海拔高度、地區而有所不同，其授粉昆蟲非常多樣，具有較高的環境適應性。

壹、研究動機

掃地負責照顧學校的花圃，發現花圃種的非洲鳳仙花都會拖著一條長長的尾巴。在溪頭校外參觀中發現水溝、竹林下遍佈非洲鳳仙花，經老師解說知道非洲鳳仙花已成為台灣低、中海拔普遍常見的入侵種，同時在步道邊也發現另一種台灣原生的紫花鳳仙花，紫花鳳仙花也有一條長長的尾巴，很好奇這一條長尾巴的作用。但非洲鳳仙花的花朵平展，而紫花鳳仙花的花朵卻是囊狀，很好奇這兩種鳳仙花的花朵形狀為何如此不同？對授粉會有何影響？

由於入侵種會對本土生物的造成生存壓力，尤其是與其親緣相近而處於相似棲息地的種類威脅最大，非洲鳳仙花是否會對原生種鳳仙花造成威脅？而且三種台灣原生鳳仙花中黃花與棣慕華鳳仙花都屬於稀有且易受危害的種類（呂，邱 1997）（陳，2007）。入侵種常必須產生大量種子幫助傳播，研究入侵種如何適應新環境，找到適當的授粉者是很有趣的課題。在台灣並無鳳仙花授粉相關研究，與老師討論後，想比較非洲鳳仙花與台灣三種原生的鳳仙花花朵構造與授粉關係的差異性並進行實驗。

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：作物的育種與採種。

貳、研究目的：

藉由鳳仙花特化的花朵構造與授粉方式，探討入侵種與本土種鳳仙花與授粉者的共生關係，一方面有助於台灣基本生物資料的建立，同時想瞭解非洲鳳仙花在授粉者與授粉

機制上是否較台灣本土種優勢的地方，以便瞭解入侵種植物如何在拓殖過程中能不斷擴張勢力與台灣本土植物產生競爭，甚至優於本土植物的地方。

參、研究設備及器材

器材及工具名稱	用途
一、sonyDV 攝影機（型號 DCR-SR82）	定點及追蹤攝影授粉昆蟲動態影像
二、數位照相機（Canon 40 D）	拍攝花朵構造及授粉昆蟲靜態影像
三、解剖顯微鏡（含電腦與影像捕捉卡）	觀察並拍攝花朵構造
四、光學顯微鏡（含電腦與影像捕捉卡）	拍攝花粉及石蠟切片
五、測微卡尺	測量花朵及昆蟲體長
六、石蠟切片藥品及切片機等相關設備	進行埋蠟切片以觀察花朵各部分的顯微構造。
七、捕蟲網及乙醚毒瓶	捕捉授粉昆蟲以鑑定種類
八、絹網、剪刀、繩子、鑷子	人工授粉套袋使用
九、穴盤、栽培土、花盆	扦插繁殖非洲鳳仙花
十、Excel 電腦軟體	進行線性回歸數據分析

肆、研究過程或方法：實驗期間自 08.03 月至 09.05 月，分為

一、基礎資料收集：收集各種類鳳仙花生長性狀、栽培、分佈等基礎資料。

二、生態調查：

（一）、非洲鳳仙花樣本採集及繁殖（圖 1）（圖 2）。

（二）、定點長時間錄影；追蹤拍照觀察授粉者的種類。分別在下列四地區進行；彰化縣本校（N23°57′09″ E120°34′57″ 海拔 30 公尺；種類非洲鳳仙花）；苗栗縣三義卓也小屋民宿（樣區位置 N24°23′56″ E120°47′46″ 海拔 445 公尺；種類非洲鳳仙花）（圖 3）；南投縣竹山鎮溪頭森林遊樂區（樣區位置 N23°40′42″ E120°47′86″ 海拔 1,117 公尺；種類非洲鳳仙花、紫花鳳仙花）（圖 4）；南投縣仁愛鄉台灣大學梅峰山地農場（樣區位置 N24°05′14″ E121°10′22″ 海拔 2,156 公尺及 N24°05′14″ E121°10′27″ 海拔 2,142 公尺；種類紫花、黃花、棗慕華鳳仙花）（圖 5）。

（三）、採集花朵觀察結構：以測微卡尺測量鳳仙花囊狀花筒、花距之長度、寬度。並將數據與授粉昆蟲數據進行線性回歸分析其相關性（圖 6）。

（四）、用捕蟲網捕捉授粉昆蟲置於乙醚毒瓶，死亡後取下花粉籃所攜帶的花粉加以分析，標本則請昆蟲專家鑑定種類。蝴蝶則捕捉後量取口器長度後放生（圖 7）。

（五）、將授粉蜂隨機選取 17 隻量測體長、身體厚度、寬度與鳳仙花花朵量測數據加以

分析比較。

(六)、於梅峰農場及本校將紫花、黃花、棣慕華、非洲鳳仙花進行蕾期授粉及套袋隔絕授粉昆蟲，觀察雌雄蕊的成熟時期及能否自花授粉(圖8)。

二、花朵形態之切片觀察：

於8月4日至8月19日赴中興大學研究室製作永久切片。係以埋蠟切片法進行，方法如(蔡,1988)所敘述稍加修改。選取此四種植物的花朵，放於已貼標籤而裝有 FAA(福馬林：醋酸：70%酒精=1:1:18)固定液之固定瓶內，再以抽氣除掉材料組織內的氣泡；經過12到24小時的固定後，以70%酒精洗滌，再用第三丁醇(TBA series)脫水，之後滲蠟、包埋、修蠟，然後固定在小木塊(臺木)上，利用轉動式切片機(rotary microtome)將材料切成10-14 μm薄片。

在載玻片上滴一小滴 Haupt's gelatin 當黏附劑，塗抹均勻，再滴一滴含4%福馬林的蒸餾水，將切成薄片的蠟帶貼附上，置於40°C之恆溫箱內1天；等完全黏附後即可進行溶蠟、染色，再用香樹酯(balsam)封片以製成永久切片。而染色方式係採用番紅和速綠雙重染色法(圖9)，製成永久切片後再拍照存檔。切片於中興大學及本校利用光學顯微鏡觀察拍照分析(圖10)。

伍、實驗結果

一、四種鳳仙花性狀描述

根據台灣維管束植物簡誌第三卷，台灣三種特有種鳳仙花其分類檢索及性狀如下

1. 葉面無毛；花淡紫紅或黃色，成總狀或單生葉腋。
2. 葉緣鋸齒上側(齒凹處)有1緣毛；花成總狀……棣慕華鳳仙花
2. 葉緣鋸齒(近)先端有1緣毛；花大多單生葉腋……黃花鳳仙花
1. 葉面有毛；花淡紅紫色或有時白色，單生葉腋……紫花鳳仙花

棣慕華鳳仙花 (*Impatiens devolii* Huang) (圖11)；(圖12)

台灣特有種。分布在雪霸國家公園觀霧地區及大鹿林道東線，海拔1,800-2,200海拔森林邊緣或林道兩旁。由台大黃增泉教授於民國62年發現的新種，為紀念其外籍老師棣慕華而命名。全世界僅有觀霧生長，分布在檜山巨木群步道沿線、觀霧山莊附近和大鹿林道東線。屬於族群小而分佈狹隘的易受害種(呂、邱；1997)。

直立草本，高30-60cm，莖肉質多汁，略成紅色。單葉互生，呈披針形或橢圓形，長5-14cm，有柄，葉緣細鋸齒狀，主脈明顯。花腋生或頂生總狀花序，兩性花，花萼3枚，花冠呈紫紅色或粉紅色，橢圓形，由兩側片及一片唇片組成，雄蕊5枚，花絲頂端合生。蒴果長2-2.5cm，種子橢圓形，長約0.3cm。土壤以富含腐植質的疏鬆壤土為佳。喜歡潮濕，陽光需求中至半遮蔭。(沈、曾；2006)

黃花鳳仙花 (*Impatiens tayemonii* Hayata) (圖 13); (圖 14)

台灣特有種。分布海拔 1,600-3,000 公尺的草地或山坡。只生長於臺灣的北部山區拉拉山、思源啞口、大霸尖山登山口可見。分布點較為稀少零星，生長地的植株量也少很多 (呂、邱; 1997)。

直立草本。莖圓柱形，高 25-50cm，單葉互生，橢圓披針形，長 4-10cm，寬 1.3-3cm，膜質，鈍鋸齒緣；葉柄長 0.5-2.5cm。花單生，少有二朵集生，腋生，黃色而帶有粉紅或淡紅條紋，花梗纖細，長 1.5-4.5cm；萼片 3 枚，兩側萼片卵圓形，長約 7mm，上萼片形成扁荷包狀且有長距，長約 2.5cm，末端兩淺裂。花瓣 3 枚，旗瓣圓形，徑約 1cm，側瓣兩裂，長約 1.5-2cm，雄蕊 5 枚，花絲上部癒合成單體，子房柱狀。蒴果管柱狀，長 2cm。生育地多位於林緣或路旁潮濕而略有陽光之半遮陰之環境下 (沈、曾; 2006)。

紫花鳳仙花 (*Impatiens uniflora* Hayata) (圖 15-16)

台灣特有種。產於海拔 1,000-3,000 公尺山地林緣；又名吊船花。屬於台灣全面分布的普遍種。本種之變異甚大，尚具多分化潛力，檜木林帶破壞後次生草生地代表之一，喜歡在潤濕而陽光充足地區繁衍。

多年生草本，高度 30-50cm，枝幹多汁；柔軟易折。單葉互生，葉卵形至橢圓至披針。葉色翠綠色至深綠。部分植物體冬枯萎。花具長花距筒，末端兩淺裂。花瓣 3 枚，單朵腋生或頂生，色粉紅。果為蒴果。大小為 1-1.8cm 長。果成熟由綠轉褐。土質喜肥沃疏鬆之壤土，耐酸性。喜潤濕。日照需求中等至半遮蔭 (沈、曾; 2006)。

非洲鳳仙花 (*Impatiens walleriana* Hook. f) (圖 17-18)

原產非洲，多年生草本植物。草質多汁，高約 30-50 cm，分枝多，枝條張開略為下垂。品種有高性和矮性，花型有單瓣或重瓣，花色有桃紅、紫紅、橙紅、白或白色條紋。葉互生，卵形，葉緣有細鋸齒。花腋生，有距，花朵平佈於葉腋頂端。花期長，幾乎全年開花，但以秋至春較盛開。適合花壇、盆栽或吊盆。

性喜溫暖，忌高溫多濕，生育適溫 15-28°C。栽培土質以肥沃含有機質之砂質壤土最佳，排水需良好。栽培處半日照或日照 60-70% 最佳。繁殖用播種或扦插法，秋、冬、春季為播種適期。發芽適溫 18-22°C。種子好光性，不必覆土。春秋季剪健壯枝條，每段約 6-8cm，扦插於河砂或珍珠石，保持濕度，約經 20 天能發根成苗。

非洲鳳仙花經栽培馴化後形成入侵種，在野外的非洲鳳仙花花色多為紅色或桃紅色，少數為白色。

綜合四種鳳仙花花朵發現幾項特點：

- (一)、四種鳳仙花花朵皆為左右對稱，皆具有由花萼特化形成的花距，台灣原生的三種鳳仙花花距位於花朵的後方，非洲鳳仙花花距則為於花瓣的下方，內儲花蜜

以吸引授粉昆蟲前來吸蜜（圖 12；圖 14；圖 16；圖 18）。

（二）、台灣原生的三種鳳仙花花瓣與花萼會聯合形成囊狀構造限制了進入花朵昆蟲體型的大小。在開口下方形成唇狀降落平台，訪花昆蟲必須先與地面垂直的姿勢捉住唇狀花瓣上才能鑽入花朵吸取花蜜（圖 19-21）。非洲鳳仙花則是花瓣平展，形成一整個平面，昆蟲可以水平降落於花朵上，可提供各種體型的昆蟲降落（圖 22-23）。

（三）、四種鳳仙花的雄蕊皆形成帽子將雌蕊蓋住，頂端的花藥互相聯合，花絲部分分離（圖 24-28）。台灣三種鳳仙花花蕊隱藏囊狀結構的內側上方，花藥釋放花粉的方向向下。非洲鳳仙花則是花蕊暴露在花瓣上方，花藥開口偏向花距的方向，昆蟲降落於花瓣形成的平台上；伸出口器進入花距吸食花蜜時，額頭部分接觸到花蕊而完成傳粉。（圖 29-30）。

二、非洲鳳仙花的扦插繁殖：於學校內搭建簡易網室（圖 31），於 08.06.13 日至溪頭森林遊樂區海拔約 1,000 公尺處摘取入侵的非洲鳳仙花枝條回學校扦插繁殖。少數因為澆水過多腐爛外，成活率達 90% 以上（圖 32）。扦插成活後移植於塑膠盆中置於網室及室外，觀察其開花、授粉、描述花器結構。

三、錄影觀察及追蹤拍照各種鳳仙花的授粉者

四種鳳仙花的雄蕊皆形成帽子將雌蕊蓋住，明顯為防止自花授粉所形成的特化構造。因此相當依賴授粉昆蟲完成傳宗接代的任務。非洲鳳仙花的授粉昆蟲非常多樣，在本校觀察到訪花昆蟲有蜜蜂、紋白蝶、弄蝶。於苗栗縣三義卓也小屋民宿於 08.07.14 日及 08.08.06 日所觀察到的訪花昆蟲有大鳳蝶、烏鴉鳳蝶、樺斑蝶、無尾白紋鳳蝶。於溪頭 08.06.07 日及 08.06.14 日所觀察到的有授粉者有烏鴉鳳蝶及黃色熊蜂。非洲鳳仙花花距長度與授粉昆蟲口器長度觀察結果發現其間並沒有一致的關係。非洲鳳仙花花距長度約自 35mm-43mm 之間，不同種類訪花昆蟲口器長度自蜜蜂的 6.5mm，樺斑蝶 8mm-11mm；黃色熊蜂的 8-12mm；無尾白紋鳳蝶 20mm；烏鴉鳳蝶 24.20mm；大鳳蝶 31.3mm 差異非常大，

台灣原生的三種鳳仙花，經 08.05.26；08.06.07 日；08.06.07 日；08.06.13 日共計三天於溪頭觀察紫花鳳仙花；08.07.01-2 日；08.07.31-08.08.01 日；08.08.28-29 日共計六日於梅峰觀察紫花、黃花、棣慕華三種，經定點長時間紀錄及拍照結果，黃花、紫花只記錄到黃色熊蜂一種訪花昆蟲。棣慕華鳳仙花訪花頻度最高為黃色熊蜂，蜜蜂有少數幾次訪花記錄。

分析各次定點 DV 拍攝光碟，授粉昆蟲訪花的頻率受到氣溫高低、晴雨、濕度、花朵開放狀態、開花數目多少、相同授粉昆蟲競爭植物的數量、蜂巢與花朵距離等因素影響而有著極大的差異。其中以晴雨與氣溫高低影響最大，天氣晴朗、氣溫高時授粉蜂的出現頻率最高。雨天氣溫低過 8°C 時，授粉蜂就完全不會出現。

本次實驗計算 97.08.01 於梅峰一天期間，自早晨 07.30-下午 17.30（天氣晴朗、微風、最高氣溫 19℃）於 54 朵紫花鳳仙花前來訪花的授粉蜂共有 166 隻（圖 33）；訪花次數共有 994 次（表一）。以早上 9：30-10：15（18 隻；115 次）及下午 3：30-4：30 間（26 隻；151 次）最高，根據定點及追蹤攝影的觀察顯示，對於紫花鳳仙花花朵是雄花期或雌花期並不具有特殊偏好，推測熊蜂訪鳳仙花主要是要採集花蜜，採集花蜜後儲存於腹部的蜜囊中（圖 34）。熊蜂持續訪花時，通常以最近的花朵為下一訪花的對象。熊蜂對鳳仙花並不具有很高的忠誠度，在紫花與黃花鳳仙；棟幕華與黃花鳳仙花混生的區域，熊蜂常在兩種不同的鳳仙花間訪花，甚至會飛入附近的毛地黃的花中。

四、量測四種鳳仙花花朵及黃色熊蜂身體各部位的長度進行數據統計分析：

於溪頭及梅峰用捕蟲網捕捉授粉蜂置入乙醚毒瓶，死亡後依照不同種類鳳仙花隨機測量數隻用測微卡尺量測身體長度、厚度、口器長度與台灣三種原生鳳仙花花朵長度、囊狀部位寬度、花距長度（表二至表六）。用 Excel 進行線性回歸分析其相關程度，結果發現授粉蜂的身體寬度與三種鳳仙花囊狀部位寬度；授粉蜂的身體長度與花朵長度；授粉蜂口器長度與花距長度都具有密切相關性（表七—表十五）。

五、四種鳳仙花蕾期授粉及套袋：

將三種原生種鳳仙花各進行 30 朵蕾期授粉套袋及花苞直接套袋的實驗，發現紫花、黃花鳳仙花結果率皆為零，無法結果，棟幕華鳳仙花選取 10 個花苞套袋，有 3 個結果，在 10 個蕾期授粉的花朵中有 6 個結果。非洲鳳仙花於 09.02.24 日於本校選取各 30 朵蕾期授粉套袋及花苞直接套袋的結果，蕾期授粉 30 個皆未結果，結果率為零；花苞直接套袋 30 朵中只有 2 朵結果。而相對放置戶外標記的 30 朵花則有 27 個結果（其中 6 個在過程中脫落，09.03.16 日計算未成熟果實 21 個）。

陸：討論與結論

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），或是與擅於活動的動物（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（沈，2003）。鳳仙花類（*Impatiens* spp.）是一群奇特的草本植物，種子靠果實裂開的彈力彈出、傳播，當成熟的果莢被碰觸時，會突然地裂開將種子射出，這種狀況令見者十分驚訝，故在英文中被稱為 Touch-me-not，即「不要碰我」。台灣原生種類的鳳仙花的花朵也很特殊，其中有一個花萼形成囊狀，並在尾端拉長成細管狀，這細管子稱為「距」（圖 35—38），因為囊常常橫向膨大，使得花的開口歪向一邊，花瓣與花萼（主要是花瓣）長在開口周圍形成花邊，配上囊的形狀與「距」，側看時形狀很像一隻昆蟲，花的開口處像昆蟲的頭部，囊就是腹部，整朵花的構造正適合某種型態的昆蟲鑽進去吸花蜜，順便達到傳粉的功能；花蜜位於「距」的位置（圖 39），「距」與囊的形態限制了昆蟲的種類，口器要能與之配合的昆蟲才能吸到花蜜，不同種類的鳳仙花形態亦不相同，因此也就需要不同種類的昆蟲加以搭配傳粉。（楊，2004）

實驗結果討論如下：

- 一、由扦插實驗可知非洲鳳仙花除了用種子繁殖外，亦可用枝條扦插繁殖。
- 二、錄影觀察及追蹤拍照各種鳳仙花的授粉者對於植物而言，授粉只要成功的一次即可順利結果，但由於鳳仙花雄蕊包覆雌蕊特殊的構造，授粉蜂必須多次進出花朵才有辦法將雄蕊脫離將雌蕊暴露出來，所以每一朵花必須持續開放一段時間同時不斷產生花蜜以吸引授粉蜂，綜合動態影像與拍照記錄加以分析，顯示台灣三種鳳仙花的授粉方式相當類似，黃色熊蜂會先以與地面垂直的姿勢捉住花瓣唇形的部分，然後從開口鑽入花朵，經過囊狀構造到後方的花距吸取花蜜，在花蕊下方的花瓣會向上形成屋脊狀拱起。由於囊狀構造相當狹窄，逼使熊蜂必須擠過這個狹小的空間，其頭、胸、腹部的背面就會接觸到花蕊，當熊蜂吸完花蜜後，必須尋原路退出，這時第二次接觸到花蕊。鳳仙花花朵剛開放時屬於雄花期，雄蕊會將花粉磨擦於訪花昆蟲的背面而帶離花朵，等花朵開放一段時期，雄蕊所形成的帽子與昆蟲不斷的磨擦中撕扯脫落，露出雌蕊而為雌花期，此時雌蕊才能接觸到由授粉蜂背上帶來的花粉授粉。由於授粉蜂對於特定種類鳳仙花的忠誠度並不很高，這種情況會造成不同種花粉互相混和，形成花粉的浪費或產生自然雜交種，但觀察梅峰地區的三種鳳仙花並沒有發現中間型出現，推測台灣這三種原生種鳳仙花之間應該具有辨別不同種花粉的能力，讓別種類的花粉無法在柱頭發芽。這種有趣的現象可以作為日後持續研究的題目。
- 三、原生種鳳仙花花朵長度、寬度、花距長度與黃色熊蜂體長、體寬、口器長度之比較
熊蜂由於耐寒性較蜜蜂、蝴蝶等昆蟲為高，是中高海拔非常重要的授粉昆蟲。台灣原生種鳳仙花花朵特化形成囊狀，可以排除身體太大的昆蟲進入。由三種原生鳳仙花花朵長、寬、花距長度與黃色熊蜂身長、身體寬度、口器長度進行線性回歸分析，發現具有非常高的相關性。推測三種鳳仙花經過長時間演化，花朵特化成需要一定大小及技巧的昆蟲才能為其授粉，對授粉蜂的依賴性很高。反觀黃色熊蜂於梅峰地區可為多種植物授粉並獲得食物，對於鳳仙花的依賴性相對較低。

四、非洲鳳仙花授粉機制，花距長度與授粉昆蟲口器長度之討論

花朵具有較長的花冠或花距是為了排除口器不夠長的昆蟲前來採蜜，只有口器夠長的昆蟲才能採得花蜜（林，1984）（沈，2003）。達爾文在物種原始一書中也曾提到有一種稱為伯利恆之星（*Anggraecum sesquipedate*）的蘭花具有 30-40cm 長的花距，預測一定也有一種口器長度相當的昆蟲來幫助授粉。40 年後，終於發現這種口器超長的授粉蛾（*Xanthopan morgani praedicta*）。

非洲鳳仙花花朵平展並具花距，授粉者隨海拔高度而有所不同，開放時雄蕊也會形成帽子將雌蕊蓋住，經過訪花昆蟲不斷的以額頭磨擦帶走花粉，最後雄蕊脫落露出雌蕊。接觸昆蟲額頭上所帶花粉完成授粉。然而本次觀察發現如蜜蜂口器較短的昆蟲仍會到非洲鳳仙花上採蜜，與達爾文的理論不符。經解剖非洲鳳仙花的花距發現由於花距內徑很狹小，所以花距底部的花蜜可以經過毛細管作用上升至花距上部，不論昆蟲口器長度都可吸到花蜜。只是口器較長的昆蟲可以深入花距底部獲取較多花蜜，而蜜蜂等口器較短的昆蟲就只能吸到花距上方的花蜜。有趣的是非洲鳳仙花的花距長度超過所有的訪花昆蟲口器長度，所以每一隻訪花昆蟲必須努力將頭部伸向花距內部以吸取最多的花蜜，這時額頭一定會碰觸到花蕊，達到幫助非洲鳳仙傳粉的目的。

五、四種鳳仙花蕾期授粉及套袋自花授粉的實驗

可判斷紫花、黃花鳳仙花應屬於雄蕊先成熟，雌蕊後成熟。必須花粉釋放到一定階段後雄蕊脫落，此時露出的雌蕊才具有結果能力。若無法接觸他花的花粉則無法結果，顯示這兩種鳳仙花屬於異花授粉，對授粉蜂有絕對依賴性。棟慕華鳳仙花的花蕾期部分雌蕊就具有結果的能力，而且自花授粉成功比率相當高，由於棟慕華鳳仙花為分佈極為侷限的稀有種，依照（沈；2003）（Attenborough, D. ; 1995）的解釋一些生長於高山、沙漠、極地或氣候極端的地區的一年生或生長期短植物，必須在短時間內產生大量種子，自花授粉乃是唯一可信賴的授粉方式，棟慕華鳳仙花推測也基於相類似的理由，發展出當無法異花授粉時也能夠自花授粉的機制，對授粉蜂的依賴性較黃花、紫花鳳仙花為低。非洲鳳仙花蕾期授粉及自花授粉實驗結果，可判斷非洲鳳仙花同樣為雄蕊先成熟，雌蕊後成熟，具有很低的自花授粉能力，同樣非常依賴授粉昆蟲為其進行異花授粉。

六、台灣原生種鳳仙花與非洲鳳仙對環境適應的比較

"外來入侵種"之定義為及「外來種類經入侵自然或半自然之棲地或生態系統，而建立族群並造成當地生態之改變而威脅當地的生物多樣性」。外來入侵種的威脅有競爭與排擠：如果外來種生物之生態習性與原生種相似，就會與原生種競爭資源與棲地，導致生態系平衡的破壞，甚至會造成原生物種滅絕，如外來種象草與原生種五節芒對棲地的競爭。

雜交：人為引進與原生種親緣相近的外來種植物，會提高兩種生物的自然雜交率，

造成原生種生物基因組成改變，如目前國內寵物飼養大陸畫眉，逸出或放生後與台灣畫眉產生自然雜交種。台灣西部的白頭翁可能經由放生途徑與僅分佈於台灣東部特有種烏頭翁雜交。

生態系統的改變：外來種生物透過生產力、營養循環、干擾幅度頻度，甚或土壤、植被結構改變，造成足以廣及整個生態系統的影響。例如速成造林樹種銀合歡，因為其旺盛的繁殖力，造成大量盤據中低海拔開闊林野地，使中低海拔森林生態系統多樣性降低而產生生態失衡的潛藏危機。(陳，2001)

非洲鳳仙花原來引進台灣作為觀賞植物，後來經適應與本土生物建立授粉關係而能在野外順利產生種子而繁衍，其授粉的適應性顯然較原生種為多樣。台灣為脆弱島嶼生態系，任何不當的外來種引入，皆可能對本土既存的生態體系造成危害。

在溪頭地區非洲鳳仙花為竹林下的優勢種，紫花鳳仙花則多分佈於道路兩側陽光較為充足之處，由於紫花鳳仙花會在莖部節上長出不定根(圖40)，推測定時步道兩側割草能去除紫花鳳仙花競爭植物，有助於紫花鳳仙花拓展領域。

- 七：在本次實驗中，隨嘗試分析比較四種鳳仙花與黃色熊蜂花粉籃內所攜帶的花粉(圖41-45)，藉以判斷黃色熊蜂是否會採集鳳仙花的花粉攜帶回巢，由於熊蜂會同時拜訪不同種類植物的花朵，雖然熊蜂所攜帶的花粉形狀很類似鳳仙花的花粉，但由於光學顯微鏡的解析度較差，無法詳細辨識花粉粒表面的特徵，無法確認熊蜂所攜帶的花粉種類，無法斷定熊蜂除了吸取鳳仙花的花蜜外，也會採集花粉做為食物。日後可以利用解析度高的掃描式電子顯微鏡(SEM)來加以證實。

柒、未來繼續研究方向

- 一、由於梅峰地區原本只有紫花鳳仙花，並無棟幕華鳳仙花及黃花鳳仙花。一般所稱原生種常以國界而並非以自然分佈界線為區隔，所以對於當地生態來說，這兩種也是屬於人為引進後入侵的種類，世界唯一同時有三種鳳仙花的原生地在新竹縣觀霧地區，希望能進行調查並與梅峰地區加以比較。
- 二、由於無夜視設備及安全考量，觀察僅限白天進行，鳳仙花是否具有夜行性的授粉者仍有待進一步調查。
- 三、利用掃描式電子顯微鏡(SEM)觀察熊蜂所攜帶的花粉與各種鳳仙花的花粉加以比較。
- 四、本次實驗雖經過一年期間的觀察，但樣區只侷限於中部少數地區，標本及樣區過少，無法概括全台灣原生種及非洲鳳仙花分佈區域，日後應擴大觀察樣區及採樣的多樣性。
- 五、台灣原生種鳳仙花海拔分佈較高，非洲鳳仙花海拔分佈較低，但與紫花鳳仙花分佈有重疊，推測原生種鳳仙花對於低溫的忍耐度較非洲鳳仙花為高，是否冬季低溫能阻擋非洲鳳仙花持續向高海拔拓展，值得進一步探討。

捌、參考資料

- 一、柳重勝、劉儒淵、王亞男 1979 溪頭森林遊樂區常見植物 國立台灣大學農學院實驗林管理處 南投
- 二、林政行 1984 植物與昆蟲的共同演化 台灣省立博物館 台北
- 三、呂勝由、邱文良 1997 台灣稀有及瀕危植物之分級彩色圖鑑(2) 行政院農業委員會 台北
- 四、陳榮宗 2001 外來魚種對河川生態的影響 特有生物研究保育中心 南投
- 五、沈競辰 2003 花與授粉的觀察事典 晨星出版社 台中市
- 六、楊國禎 2004 鳳仙花 台灣生態季刊第五期 台中
- 七、沈競辰、曾彥學 2006 台灣原生觀賞綠美化植物(中海拔) 行政院農業委員會林務局 台北
- 八、陳郁秀 2007 鑽石台灣 多樣性自然生態篇-瑰麗多彩的土地 玉山社 台北
- 九、劉思謙、溫海宏、陳明義、楊正澤 2008 野牡丹科植物授粉生態學 台灣昆蟲學報 台中
- 十、宋一鑫 2008 台灣原生種熊蜂於設施農業授粉上之開發與利用 農業世界 台中
- 十一 Attenborough, D. 1995 The private life of plant. David Attenborough Ltd. New Jersey U. S. A
- 十二、Friedrich G. Barth 1991 insect and flowers Princeton University Jersey U. S. A

本次實驗感謝

中興大學園藝系宋好教授提供實驗設備；研究生施樺倫指導石蠟切片；中興大學昆蟲系楊正澤教授協助鑑定昆蟲種類並提供昆蟲授粉生態學相關資料；台大農學院梅峰農場科教組提供實驗場地、住宿及器材協助；台大農學院溪頭森林遊樂區准予園區內進行採樣研究，謹致上最大的謝意！

表一：97 年 8 月 1 日於梅峰農場紫花鳳仙花訪花昆蟲定點錄影紀錄

性別	花朵數目	時段				
		7:30~10:15	10:15~12:55	12:55~15:40	15:40~17:20	
雄 花 期	1	15	6	0	3	24
	2	0	5	11	4	20
	3	17	9	3	8	37
	4	0	0	0	4	4
	5	4	4	6	6	20
	6	14	12	7	4	37
	7	9	13	6	0	28
	8	4	4	1	7	16
	9	6	4	2	8	20
	10	5	1	0	4	10
	11	6	10	2	5	23
	12	2	3	3	3	11
	13	7	7	2	7	23
	14	3	5	4	3	15
	15	9	4	0	10	23
	16	1	2	0	7	10
	17	1	6	1	6	14
	18	16	9	7	4	36
	19	6	3	2	10	21
	20	4	1	0	0	5
	21	10	6	2	7	25
	22	8	3	1	4	16
	23	0	3	4	4	11
	24	3	5	2	0	10
	25	14	11	5	8	38
雌 花 期	1	3	7	3	5	18
	2	0	9	4	5	18
	3	3	1	0	1	5
	4	6	0	0	3	9
	5	4	0	1	0	5
	6	0	0	0	7	7
	7	0	2	0	0	2
	8	6	0	0	2	8

	9	8	16	9	4	37
	10	12	3	2	6	23
	11	3	3	0	0	6
	12	9	6	4	0	19
	13	10	2	2	5	19
	14	6	0	0	2	8
	15	15	18	7	7	47
	16	0	8	6	7	21
未 查 明 性 別	1	18	8	0	1	27
	2	3	6	0	5	14
	3	2	0	0	3	5
	4	0	1	1	0	2
	5	12	7	0	0	19
	6	9	5	4	4	22
	7	20	16	11	0	47
	8	7	2	1	4	14
	9	6	0	1	0	7
	10	3	3	0	5	11
	11	3	0	0	2	5
	12	8	8	3	11	30
	13	0	0	0	1	1

表二：棣慕華鳳仙花花朵數據 單位：mm

花朵數目	外徑長	外徑寬	花筒長	花距	內徑長	內徑寬
1	6.52	4.57	25.5	22.04	4.61	2.8
2	7.44	4.85	27.62	22.39	4.97	2.89
3	7.61	5.11	27.64	22.53	5.09	3.15
4	7.75	5.32	28.45	22.93	5.26	3.67
5	7.79	5.34	28.68	23.34	5.38	3.71
6	7.79	5.55	28.88	23.65	5.42	3.74
7	7.8	5.57	28.9	23.77	5.81	3.8
8	7.83	5.61	28.91	23.81	5.81	3.8
9	8.02	5.66	29.25	24.2	6	3.98
10	8.04	5.77	29.3	24.28	6.03	4.16
11	8.11	5.86	29.5	24.37	6.12	4.2
12	8.23	5.9	29.51	24.41	6.21	4.29
13	8.25	5.91	29.57	24.44	6.34	4.31

14	8.25	5.95	29.65	24.55	6.41	4.54
15	8.27	6.04	29.79	24.59	6.72	4.63
16	8.42	6.05	29.91	24.87	6.91	4.67
17	8.56	6.05	30.15	25.04	6.92	4.71
18	8.7	6.37	30.49	25.19	6.94	4.73
19	8.88	6.58	30.66	25.26	7.05	4.99
20	8.94	6.6	30.84	25.26	7.05	5.01
21	8.94	6.6	30.96	25.35	7.07	5.03
22	8.95	6.63	31.05	25.41	7.07	5.04
23	9.05	6.74	31.15	25.51	7.1	5.05
24	9.07	6.86	31.96	25.54	7.23	5.15
25	9.34	6.87	32.08	25.58	7.3	5.33
26	9.4	6.9	32.16	25.63	7.35	5.42
27	9.47	7.05	32.45	25.66	7.5	5.49
28	9.5	7.15	32.69	26.07	7.72	5.61
29	9.66	7.5	34.06	26.25	7.74	6.49
30	10.08	7.71	35.25	26.33	8.3	6.63
平均數	9.66	7.5	34.06	26.25	7.74	6.49
誤差值	0.80051	0.793256	2.070289	1.165298	0.937286	0.972272

表三：黃花鳳仙花花朵數據

花數	內徑寬	內徑長	花距	花筒長	外徑寬	外徑長
1	1.87	6.72	29.2	16.84	5.55	10.65
2	5.74	7.2	29.27	17.58	7.05	10.68
3	5.93	7.36	29.37	18.18	7.55	11.2
4	6.03	7.53	29.91	18.2	7.59	11.51
5	6.06	7.58	30.38	18.52	7.67	11.96
6	6.09	7.68	30.5	18.64	8.09	12.22
7	6.25	8.12	30.62	18.67	8.64	12.33
8	6.33	8.2	30.87	18.72	8.77	12.35
9	6.34	8.53	31.13	19.08	8.87	12.6
10	6.57	8.59	31.49	19.2	8.89	12.89
11	6.63	8.65	31.91	19.31	8.93	13.21
12	6.64	8.68	32.24	19.39	8.98	13.97
13	6.7	8.71	32.55	19.48	8.99	14
14	6.83	8.74	32.63	19.63	9.02	14.41
15	6.94	8.87	32.93	19.8	9.14	14.63

16	7.03	9	33.29	19.93	9.37	14.69
17	7.07	9.09	33.42	19.98	9.39	14.69
18	7.24	9.21	33.46	20.25	9.7	14.8
19	7.25	9.24	34.68	20.33	9.95	14.84
20	7.31	9.27	35.57	20.36	10.11	14.94
21	7.39	9.37	35.63	20.4	10.2	15.1
22	7.42	9.64	36.33	20.45	10.53	15.27
23	7.65	9.71	36.38	20.91	10.69	15.33
24	8.01	9.91	36.44	21	11.15	15.51
25	8.09	9.99	36.48	21.31	11.3	15.57
26	8.12	10.2	36.99	21.31	11.65	15.84
27	8.13	10.39	37.23	21.88	11.93	16.02
28	8.18	10.57	37.35	22.09	11.95	16.24
29	8.28	10.68	37.6	22.15	13.01	16.39
30	8.39	10.9	38.97	23.11	13.11	16.74
平均數	6.883667	8.944333	33.494	19.89	9.592333	14.01933
誤差值	1.231656	1.090121	2.922974	1.443019	1.750359	1.778403

表四：紫花鳳仙花花朵數據 單位：mm

花數	內徑寬	內徑長	花筒長	花距	外徑寬	外徑長
1	5.48	5.96	18.56	23.38	6.77	9.76
2	5.58	6.19	18.58	24.95	6.82	10.45
3	5.6	6.47	19.3	26.96	7.82	11.08
4	5.69	6.54	20.14	27.1	8.4	11.36
5	5.71	6.61	20.2	29.64	8.41	11.48
6	5.77	6.85	20.84	29.73	8.41	11.79
7	5.86	6.89	21.04	30.22	8.51	11.79
8	5.97	6.92	21.41	30.27	8.51	11.9
9	6.03	6.93	21.59	30.5	8.52	12.07
10	6.11	7.05	21.61	30.59	8.53	12.15
11	6.24	7.06	21.64	30.61	8.66	12.22
12	6.3	7.15	21.84	30.66	8.71	12.24
13	6.33	7.25	21.88	30.92	8.74	12.3
14	6.34	7.27	22.32	31.3	8.85	12.6
15	6.39	7.49	22.32	31.34	8.96	12.73
16	6.42	7.61	22.62	31.38	9.18	12.76
17	6.53	7.63	23.15	31.49	9.23	12.9

18	6.57	7.87	23.32	32.12	9.29	12.9
19	6.68	8.02	23.52	32.55	9.33	13.38
20	6.78	8.16	23.61	32.58	9.41	13.63
21	6.92	8.19	23.69	32.92	9.42	13.65
22	7	8.32	23.74	33.2	9.88	13.8
23	7.01	8.34	23.94	33.21	10.14	13.87
24	7.03	8.36	24.43	33.54	10.19	14.01
25	7.15	8.37	24.57	33.62	10.26	14.17
26	7.2	8.98	25	33.83	10.3	14.39
27	7.29	9.25	26.63	34.1	10.3	14.44
28	7.33	9.35	26.87	34.12	10.72	14.67
29	7.36	9.41	27.35	34.27	10.73	14.85
30	7.36	10.4	28.61	36.31	10.94	16.64
平均數	6.467667	7.696333	22.81067	31.247	9.131333	12.866
誤差值	0.602046	1.062721	2.478121	2.812389	1.045099	1.451234

表五：非洲鳳仙花花距長度數據 單位：mm

花數	長度	花數	長度	花數	長度	花數	長度	花數	長度
1	30.02	2	34.53	3	35.27	4	35.29	5	35.35
6	35.5	7	36.51	8	36.72	9	37.24	10	37.25
11	37.33	12	37.37	13	37.38	14	37.99	15	38.17
16	38.28	17	38.56	18	38.92	19	39.02	20	39.42
21	39.48	22	40.45	23	40.94	24	41.93	25	42.21
26	42.67	27	42.94	28	42.99	29	43.72	30	44.2

平均值：38.58833

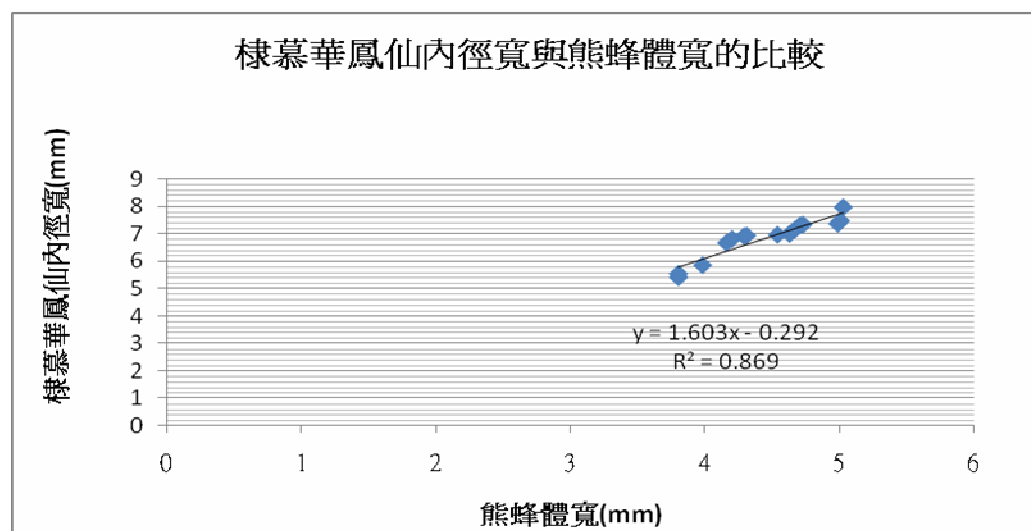
表六：黃色熊蜂身體各部位數據

（分4次於不同種鳳仙花上採集-採集地：溪頭、梅峰）單位：mm

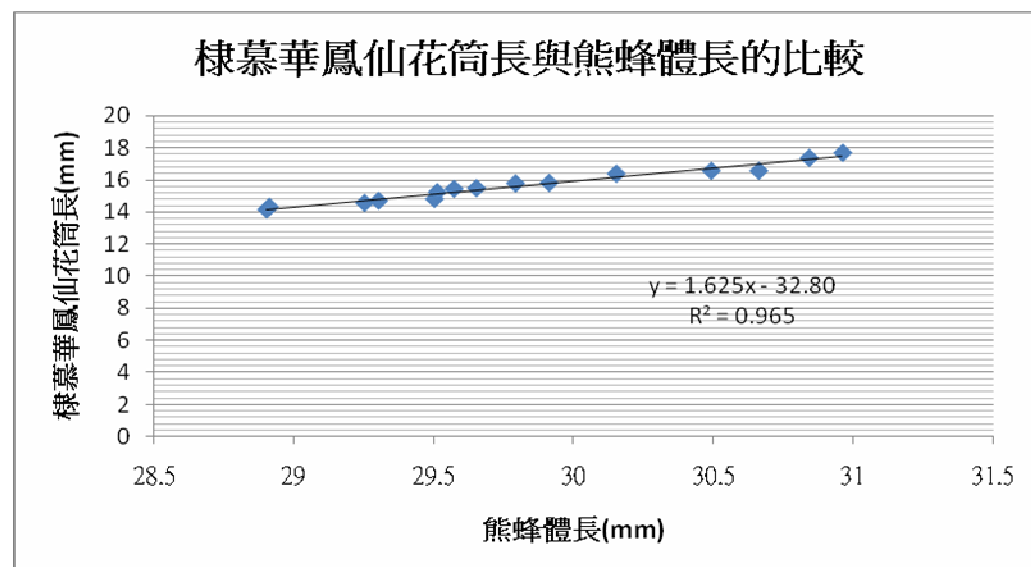
隻數	體長	體寬	體厚	口器長度
1	12.99	5.41	4.86	5.6
2	14.13	5.43	5.04	7.11
3	14.31	5.56	5.06	7.18
4	14.55	5.87	5.21	8.09
5	14.69	6.68	5.34	8.62
6	14.8	6.82	5.35	8.95
7	15.24	6.92	5.35	9.35
8	15.44	6.94	5.38	9.48

9	15.49	6.97	5.47	9.8
10	15.79	7	5.52	9.81
11	15.82	7.16	5.53	9.89
12	16.4	7.32	5.79	10.85
13	16.58	7.34	5.98	10.9
14	16.58	7.37	6.29	10.99
15	17.4	7.48	6.43	11.53
16	17.72	7.97	6.62	12.4
17	18.1	8.04	7.09	12.53
平均數	15.64882	6.84	5.665294	9.592941
誤差值	1.368489	0.81729	0.61784	1.892389

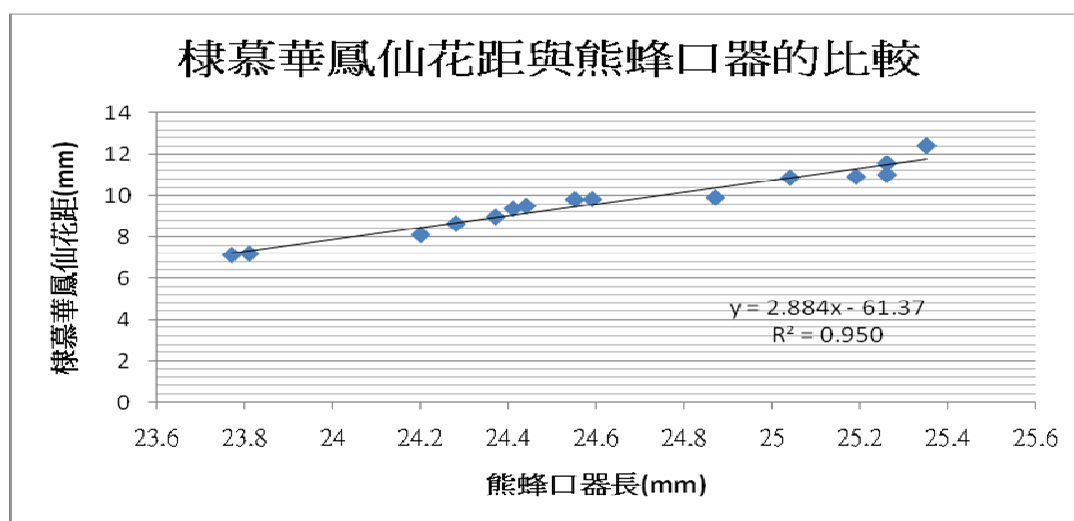
表七：棣慕華鳳仙花朵內徑與熊蜂身體寬度相關性分析表



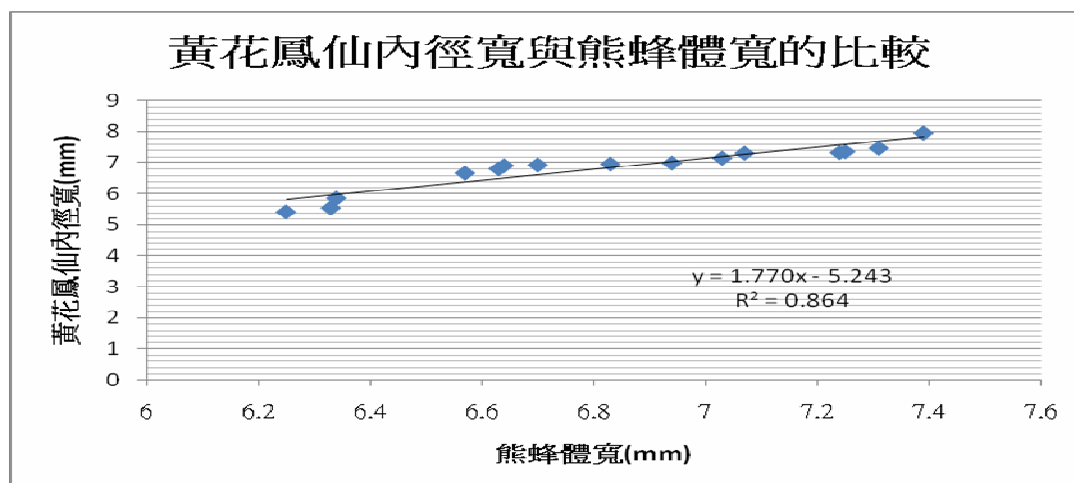
表八：棣慕華鳳仙花朵長度與熊蜂身體長度相關性分析表



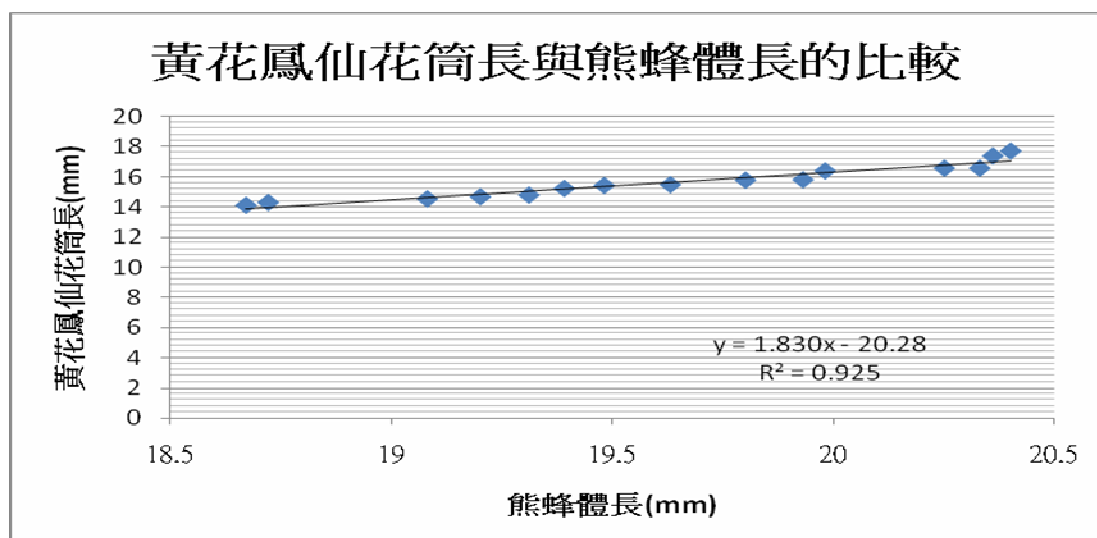
表九：棣慕華花鳳仙花花距與熊蜂口器相關性分析表



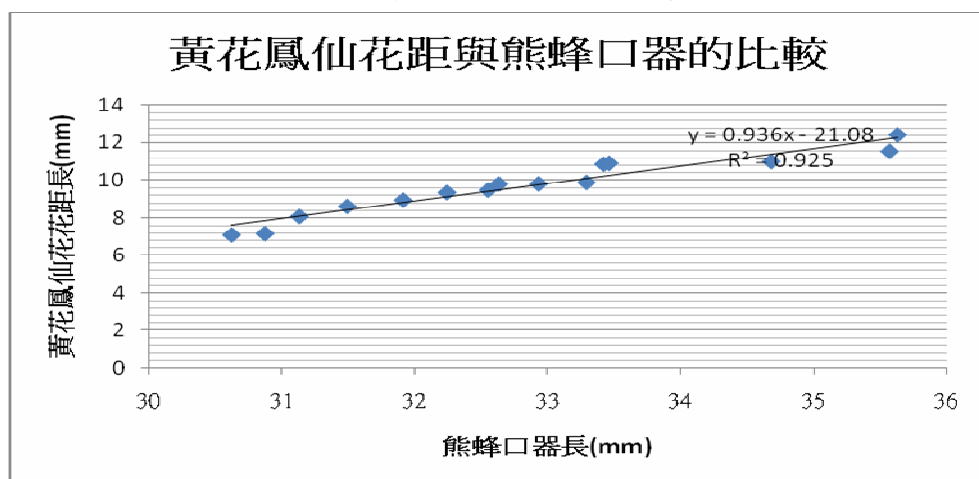
表十：黃花鳳仙花花筒內徑寬度與熊蜂體寬相關性分析表



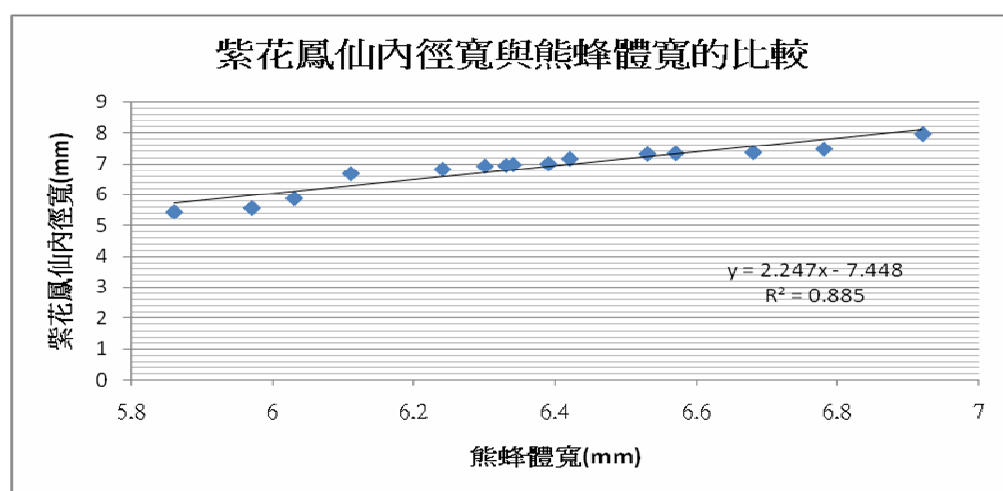
表十一：黃花鳳仙花花筒長度與熊蜂體長相關性分析表



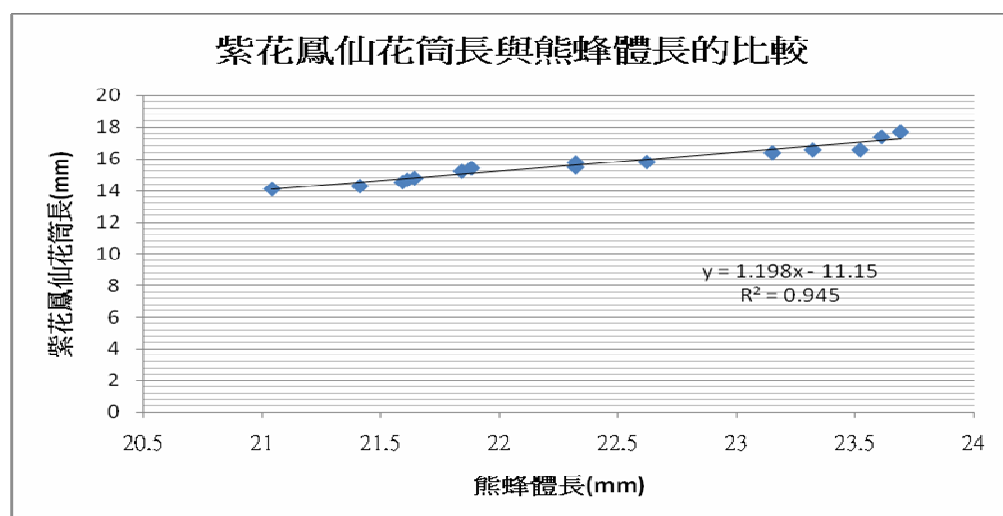
表十二：黃花鳳仙花花距與熊蜂口器相關性分析表



表十三：紫花鳳仙花花筒內徑寬度與熊蜂體寬相關性分析表



表十四：紫花鳳仙花花筒長度與熊蜂體長相關性分析表



表十五：紫花鳳仙花花距長度與熊蜂口器長度相關性分析表

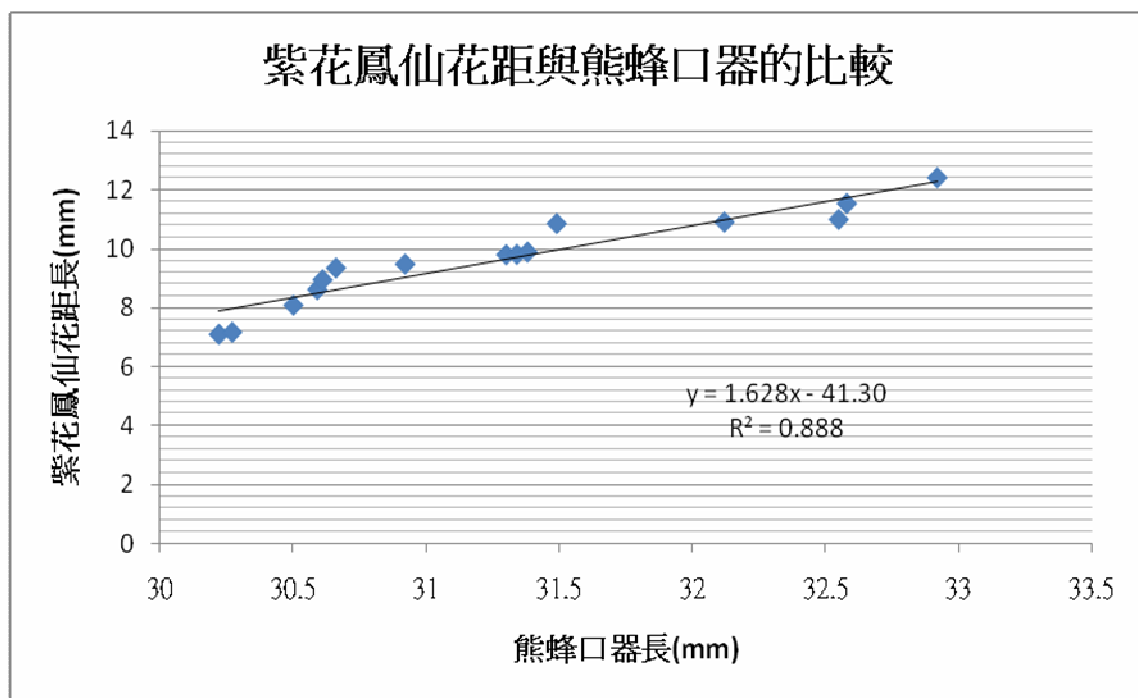




圖 1：至溪頭森林遊樂區摘取入侵的非洲鳳仙花及紫花鳳仙花枝條



圖 2：溪頭採集之非洲鳳仙花枝條於學校扦插成活移植於花盆

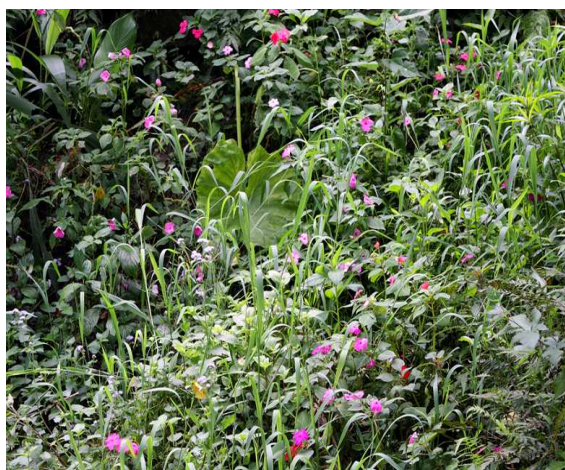


圖 3：苗栗縣三義卓也小屋民宿侵入之非洲鳳仙花

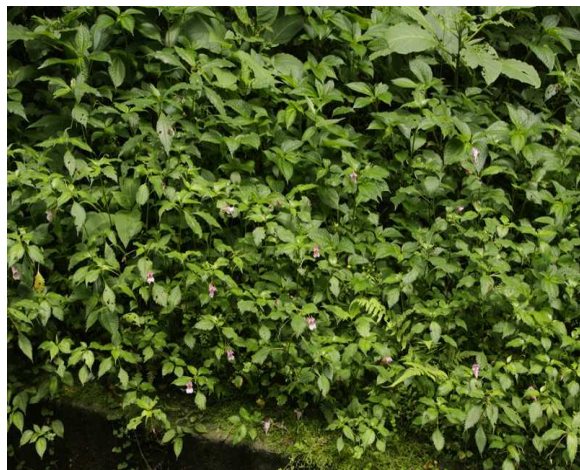


圖 4：溪頭森林遊樂區路邊的紫花鳳仙花族群



圖 5：台灣大學梅峰山地農場紫花鳳仙花族群

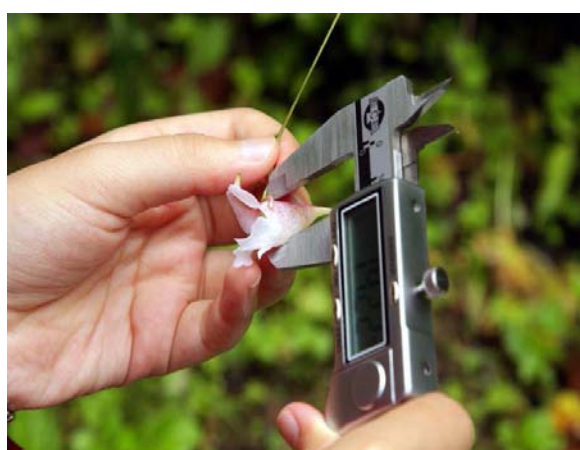


圖 6：以測微卡尺測量鳳仙花花朵（溪頭森林遊樂區）



圖 7：捕捉非洲鳳仙花上的吸蜜的大鳳蝶（三義卓也小屋）



圖 8：紫花鳳仙套袋（梅峰）



圖 9：石蠟切片染色（中興大學）



圖 10：利用光學顯微鏡觀察切片並拍照（中興大學）



圖 11：棣慕華鳳仙花花序（梅峰）



圖 12：棣慕華鳳仙花花朵的花距直立（梅峰）



圖 13：黃花鳳仙花（梅峰）



圖 14：黃花鳳仙花花距彎曲（梅峰）



圖 15：紫花鳳仙花（溪頭）



圖 16：紫花鳳仙花花距彎曲（梅峰）



圖 17：非洲鳳仙花



圖 18：非洲鳳仙花花瓣平展，花距細長下垂



圖 19：黃色熊蜂訪棣慕華鳳仙花(梅峰)

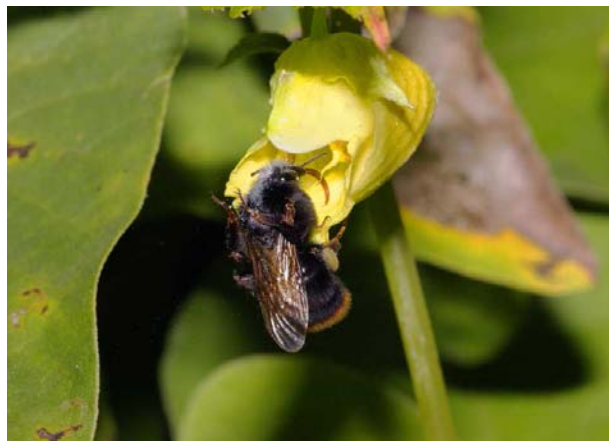


圖 20：黃色熊蜂鑽入黃花鳳仙花(梅峰)



圖 21：黃色熊蜂訪棣紫花鳳仙花(梅峰)



圖 22：大鳳蝶吸食非洲鳳仙花花蜜(三義卓也小屋)

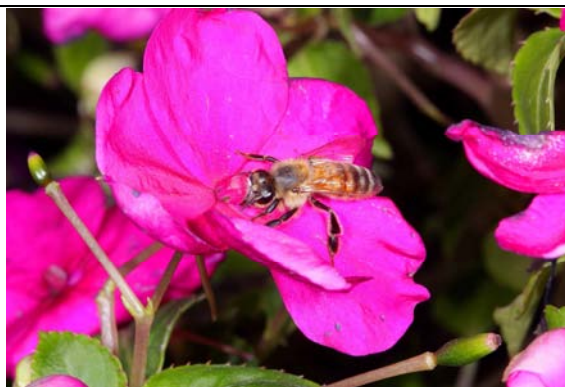


圖 23：蜜蜂到非洲鳳仙花上吸食花蜜(本校)



圖 24：棣慕華鳳仙花雄蕊將雌蕊包住(梅峰)



圖 25：黃花鳳仙花雄蕊包覆雌蕊(梅峰)

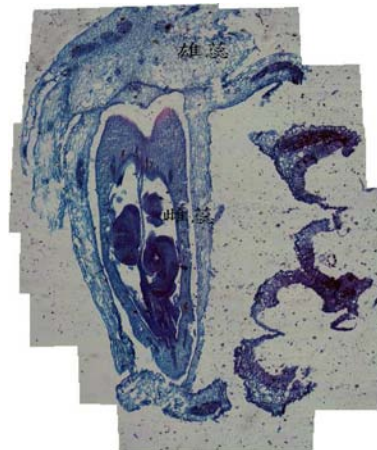


圖 26：黃花鳳仙花花蕊石蠟切片



圖 27：紫花鳳仙花雄蕊包覆雌蕊(梅峰)



圖 28：紫花鳳仙花花蕊石蠟切片

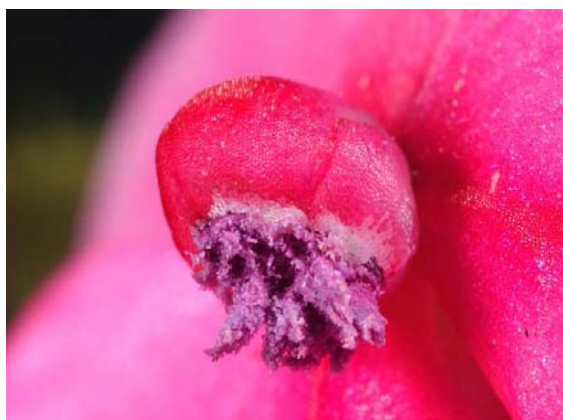


圖 29：非洲鳳仙花雄蕊偏向花距開口
(本校)



圖 30：鳳蝶吸食非洲鳳仙花花蜜後，花粉
附著於額頭及口器基部(三義)



圖 31：搭蓋簡易網室



圖 32：非洲鳳仙枝條扦插成活



圖 33：定點觀察 54 朵紫花鳳仙花花朵

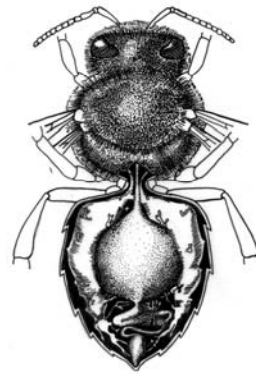


圖 34：熊蜂的蜜囊

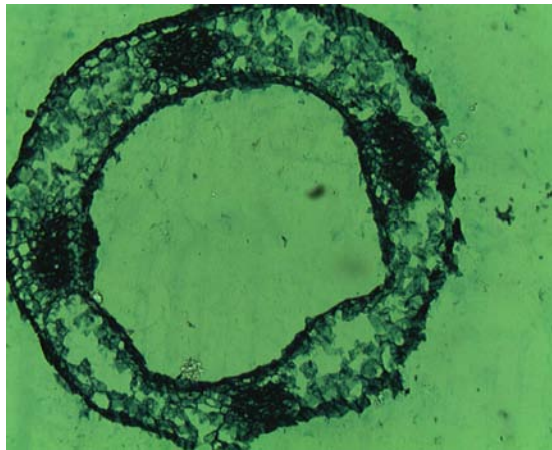


圖 35：棣慕華鳳仙花花距橫切面



圖 36：棣慕華鳳仙花花距縱切面



圖 37：黃花鳳仙花花距縱切面

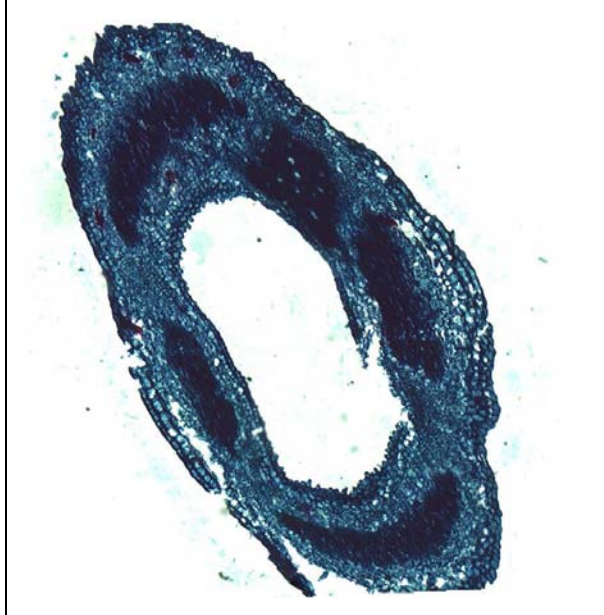


圖 38：紫花鳳仙花花距橫切面

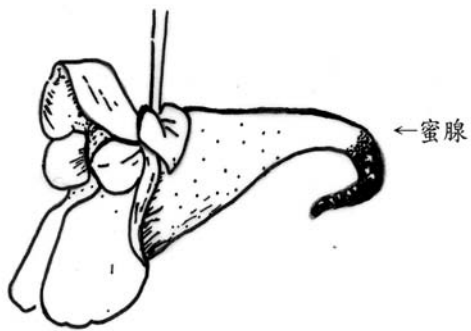


圖 39：鳳仙花屬花距內蜜腺分佈位置



圖 40：紫花鳳仙花在莖部節上長出不定根

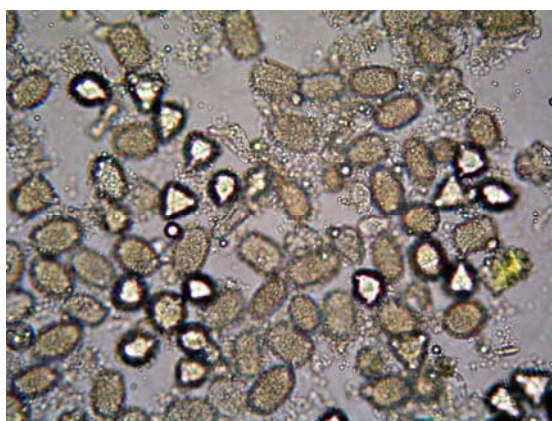


圖 41：黃色熊蜂花粉籃內所攜帶的花粉

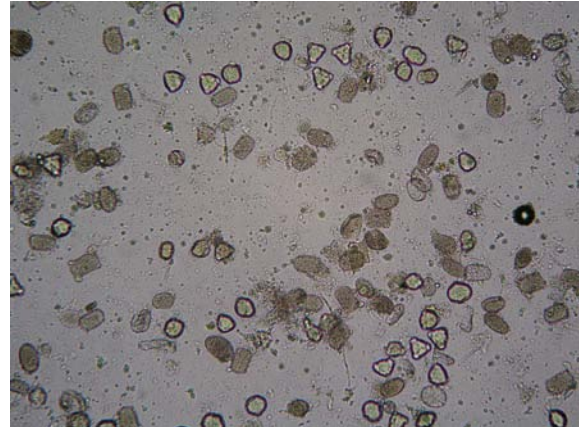


圖 42：棣慕華鳳仙花的花粉

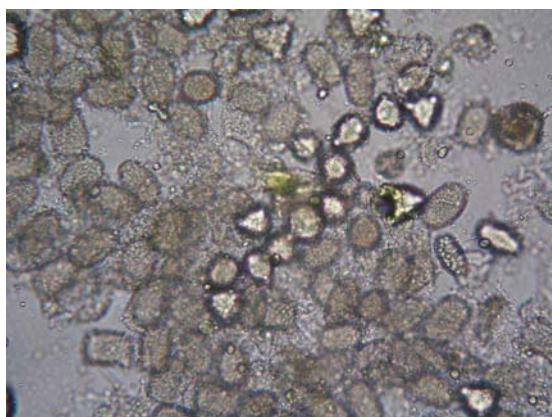


圖 43：黃花鳳仙花的花粉

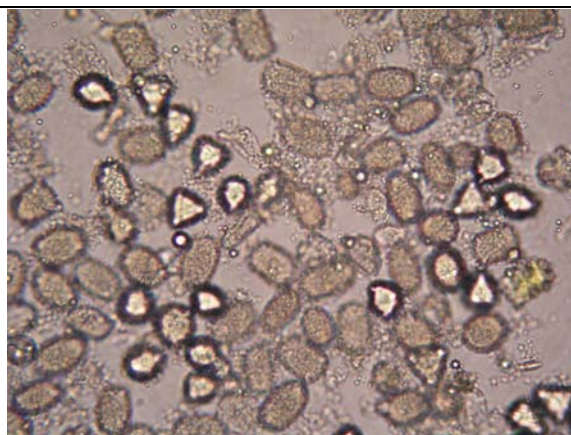


圖 44：紫花鳳仙花的花粉

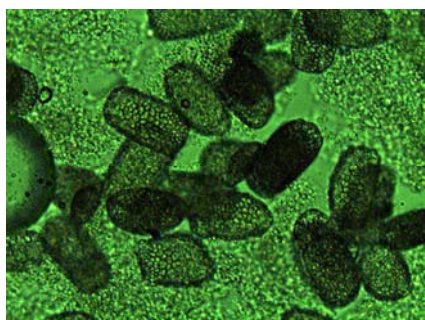


圖 45：非洲鳳仙花的花粉

【評語】 040718

- 1、 本計畫研究棣慕華鳳仙花，黃花鳳仙花、紫花鳳仙花、非洲鳳仙花，以黃色熊蜂授粉能力，並以花朵套袋研究發現黃花、紫花鳳仙花皆不能結果。而棣慕華鳳仙花具有自花授粉能力。
- 2、 本計畫對非洲鳳仙花，花朵平展且花距可供大型昆蟲停留，可防止自花授粉。
- 3、 本計畫以鄉土材料，作研究具學術價值。