

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

第三名

030310

花容失色－鳳凰花的旗瓣為何會先凋零？

學校名稱：彰化縣立原斗國民中小學

作者： 國一 潘純瑩 國一 曾琪茵 國一 吳珮蓉	指導老師： 王文明 黃正一
---	-----------------------------

關鍵詞： 鳳凰木、旗瓣、授粉

花容失色－鳳凰花的旗瓣為何會先凋零？

摘要

鳳凰木的花朵擁有五片花瓣，上方花瓣與其他紅色花瓣不同，是白色底紅色斑點，根據文獻，這片花瓣稱為旗瓣，功能是作為蜜標來吸引傳粉者。研究觀察發現鳳凰花的旗瓣會先捲曲凋零，和蜜標存在的功能互相矛盾，本組推論與環境、授粉有關連。經研究發現，旗瓣凋零與生長環境、花粉及花蜜是否被採集無關，與授粉方式有關。異株授粉導致旗瓣凋零的時間提前；同株異花授粉旗瓣凋零的時間與自然狀態相近；自花授粉、無授粉則導致旗瓣凋零的時間延後。異株授粉對鳳凰花而言是有效且成功的授粉，會導致旗瓣提早凋零，將蜜標隱藏，提高其他尚未有效授粉花朵成功授粉的機會，並且產生成熟的種莢。無效的授粉會導致旗瓣凋零時間延後，藉此等待有效的授粉機會。

壹、前言

一、研究動機

鳳凰木總是在盛夏開花，到了花季，一眼望去，開滿豔紅色鮮花的鳳凰木格外亮眼，鳳凰木花開也因此成為六月畢業的象徵。遠看鳳凰花開滿了一樹的火紅（圖 1-1），仔細觀察滿樹的鳳凰花（鳳凰木的花朵，簡稱鳳凰花），它擁有五片花瓣，位於上方的那一瓣花瓣具有大塊色斑，有的白色、有的黃色，大塊色斑上佈滿橙紅色或紫紅色斑點（圖 1-2）。進一步觀察，可以發現在部分花朵中，這片佈滿色斑的花瓣會捲起來（圖 1-3），有些花朵甚至少了這片花瓣，只剩下四片花瓣。是什麼原因造成花朵的差異？這是開啟了本研究的契機。



圖 1-1、盛開的鳳凰花



圖 1-2、鳳凰花的五片花瓣



圖 1-3、捲起花瓣的鳳凰花

二、文獻探討：

(一)、鳳凰木的分類地位

鳳凰木（學名：*Delonix regia* Rafin.）又名影樹、金鳳、火鳳凰、洋楹、紅花楹、火樹、紅火楹、火焰樹、森之炎等，原產於非洲馬達加斯加島，分類上屬於豆科（Fabaceae）、蘇木亞科（Caesalpinioideae）、鳳凰木屬（*Delonix*）的植物；鳳凰木於 1897 年引入台灣。鳳凰木從綻放到凋謝的過程約 5~8 天（劉業經等，1987）。

(二)、開花與授粉的關係

植物在漫長的演化長河中，演化出了「開花植物」的類群，開花植物以「花朵」吸引傳粉者來替植物傳授花粉（邱少婷、黃俊霖，2003），在眾多傳粉者中，昆蟲尤為重要，開花植物更與昆蟲共同演化出千絲萬縷的關係，有的提供花粉、花蜜作為授粉的獎賞；有的則是利用氣味欺騙昆蟲；有的甚至利用陷阱來達到目的（田中修，2010）。

昆蟲的視覺與人類不同，主要由感受光線明暗的單眼與對紫外光敏感的複眼組成，複眼由許多小眼組成，主要視覺成像解析度較低，為廣視角鑲嵌狀成像（Gullan & Cranston, 2002），因此植物花朵演化出許多標誌，用以吸引昆蟲作為「信差」，傳遞花粉（水波誠，2008）。

花蜜是許多花提供給昆蟲信差的獎賞，在花蜜的分泌部位四周呈現與別的部分不同的顏色，或在花瓣上出現斑點、花紋等特殊的配置，恰似標示分泌部位。這樣的色彩配置可以幫助昆蟲找到花蜜位置，稱為「蜜標」。當昆蟲受到蜜標吸引來進行採集、取食花蜜時，往往因此沾上一身花粉，完成植物開花背後的重要使命（圖 1-4、1-5）。這種機制，已被實驗所證實。有些植物的蜜標並不是可見光的顏色，而是由紫外光反射率的差異造成的；此外還有由局部的氣味造成蜜標的情況（沈競辰，2003）。

鳳凰花是豆科植物，鳳凰木花朵中上方那片具有白色或黃色大塊色斑，且佈滿橙紅色、紫紅色斑點的花瓣，稱為「旗瓣」，已有科學證明，豆科植物的旗瓣可以吸引傳粉者，是一種「蜜標」（沈競辰，2003）。

為了避免自花授粉，降低子代變異性，植物演化出許多授粉策略，部分開花植物**雄蕊、雌蕊成熟時間不同**，甚至有部分植物花朵在雄蕊花粉被採盡後，雌蕊才成熟；部分植物演化出兩性花或者是兩性植株；部分植物演化出化學機制，利用花粉自身化學物質**辨別自體花粉**，這些演化機制的共同目標是**異株異花授粉**。但是也有少部分植物採取自花授粉，國中生物課本提及孟德爾遺傳實驗使用的材料「豌豆」就是採取自花授粉。



圖 1-4、杜鵑花的蜜標



圖 1-5、鳳凰花的旗瓣與蜜標

三、待答問題

從本研究**觀察**得知，鳳凰花開時，有些花朵**旗瓣（蜜標）顏色會改變**，有些則將**旗瓣捲起來**，然後**凋零掉落**，根據文獻得知旗瓣的功能是蜜標，那麼將蜜標隱藏起來，是否與開花的目的相違背？作為蜜標的旗瓣在鳳凰木上扮演的角色是什麼？為什麼會有些鳳凰花將旗瓣捲曲隱藏，是為了**提高其他花朵的授粉率嗎**？與豌豆同屬於豆科的鳳凰木，其**授粉機制與花瓣捲曲的關聯**又是什麼？

四、研究目的

- (一)、觀察鳳凰花的開花與凋零時間。
- (二)、觀察校園三地不同環境的鳳凰木開花後旗瓣凋零情形。
- (三)、花蜜、花粉採集是否影響鳳凰花旗瓣捲曲凋零。
- (四)、探討不同授粉策略對鳳凰花旗瓣捲曲凋零的影響。

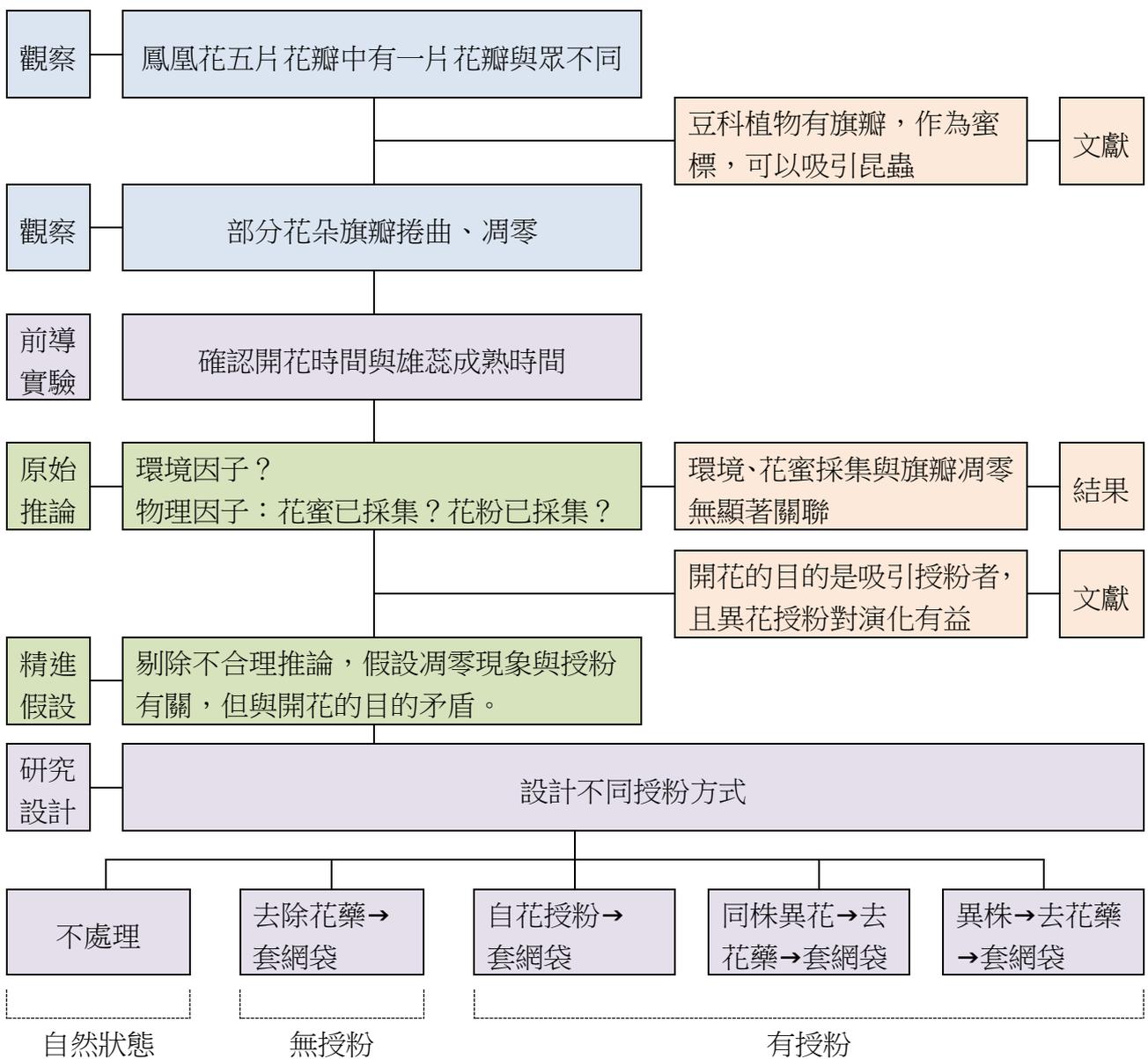
貳、研究設備與器材：

一、材料：鳳凰木

二、器材：珍珠紗網 X100、水彩筆、棉花棒、鑷子、相機、梯子、板凳、攝影機

參、研究過程或方法：

一、研究架構



二、研究過程

(一)、鳳凰花的開花周期與物候觀察 (前導實驗)

根據觀察，鳳凰花開花後，旗瓣會先捲曲凋零，然後種莢才開始發育 (圖 3-1)，根據文獻所示，鳳凰花開花後花朵可以持續 5-8 天，而且開花後雄蕊才成熟，但是沒有相關資料顯示雄蕊成熟的確切時間。考量後續研究必須在開花後但在雄蕊成熟前進行，本組進行了前導實驗：每日清晨至中午，每隔 1 hr. 觀察標定的 10 朵花苞，從綻放至花朵凋謝為止，所紀錄鳳凰花的物候資料顯示：

1. 在自然狀態下，鳳凰木花朵從綻放到凋謝的過程約 5~8 天，與文獻資料符合 (圖 3-2)。鳳凰花在清晨時綻放，鳳凰花的雄蕊從綻放後的 4~6 hr. 後成熟，花藥會裂開，開始釋出花粉 (圖 3-3)。
2. 鳳凰花的花粉粒大小，長軸：60~70 μm 之間，短軸：40~50 μm 之間 (圖 3-4)。
3. 鳳凰花的主要授粉者，有鱗翅目的蝶類、膜翅目的蜜蜂 (圖 3-5)、半翅目椿象 (圖 3-6) 與鞘翅目金龜子類。



圖 3-1、鳳凰花自開花到結成種莢的過程

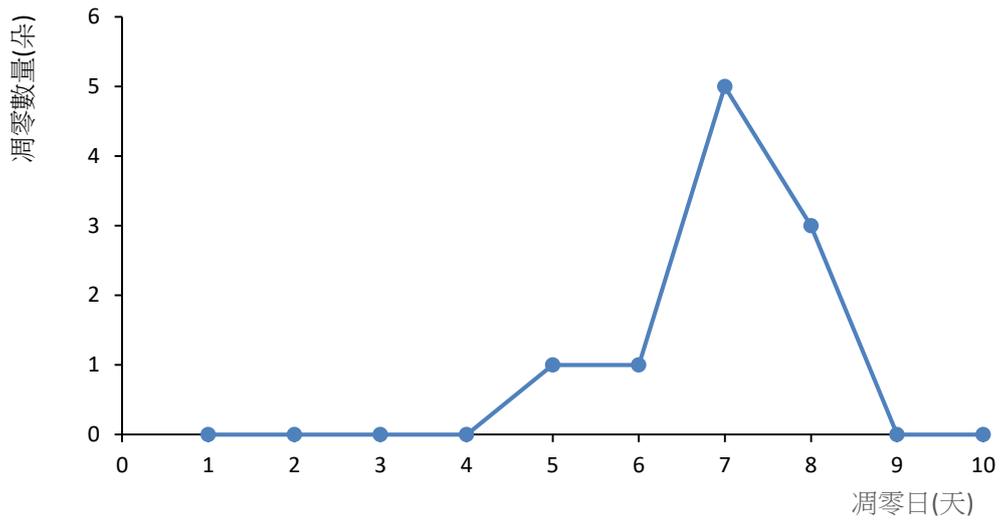


圖3-2、鳳凰花綻放後凋零狀況(N=10)

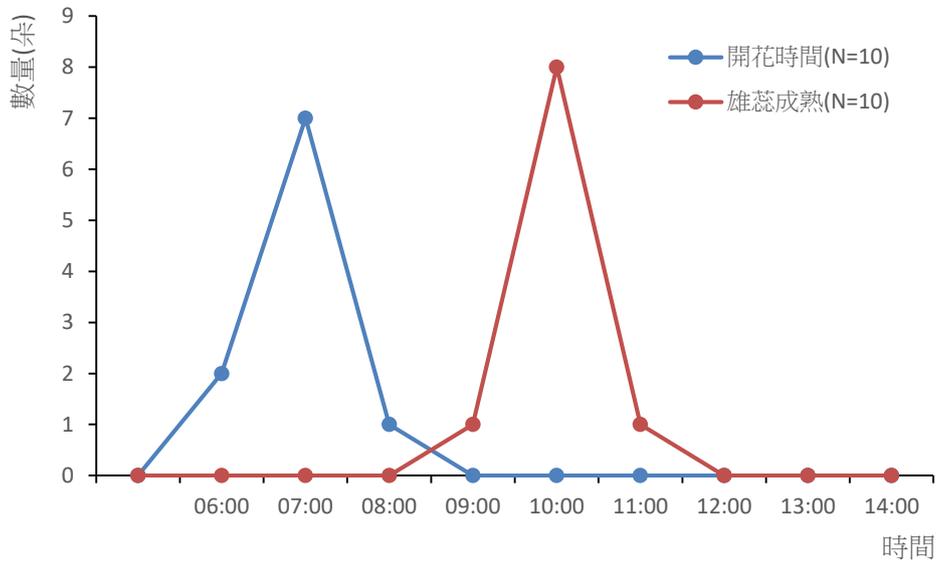


圖3-3、鳳凰花開花時間與雄蕊成熟時間

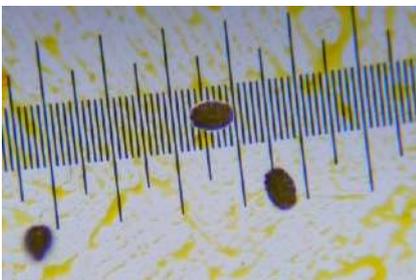


圖 3-4、鳳凰花花粉粒(微尺
單位：0.01mm)



圖 3-5、鳳凰花傳粉者 I



圖 3-6、鳳凰花傳粉者 II

(二)、環境因子、花蜜與花粉採集對旗瓣捲曲凋零的影響：

1. **環境因子：**假設鳳凰花旗瓣捲曲機制是由於環境造成的個體差異，選定不同生長環境（圖 3-7），分別為操場全日照環境（圖 3-8）、中庭半日照環境（圖 3-9）與前庭遮蔭環境（圖 3-10），以照度計每隔 2 小時記錄一次光照量，取三日紀錄平均；分別自三處選擇鳳凰木各一棵，各標定 10 朵花，維持自然狀態進行觀察紀錄，觀察旗瓣捲曲凋零時間。
2. **物理因子：**假設鳳凰花旗瓣捲曲凋零機制，是因為花粉或是花蜜被採集完所造成的物理機制。選擇同株鳳凰木，標定同時期綻放的 30 朵花，10 朵不做處理，10 朵以棉花棒沾走花蜜，10 朵綻放時即去除花藥，觀察旗瓣捲曲凋零時間（圖 3-11）。

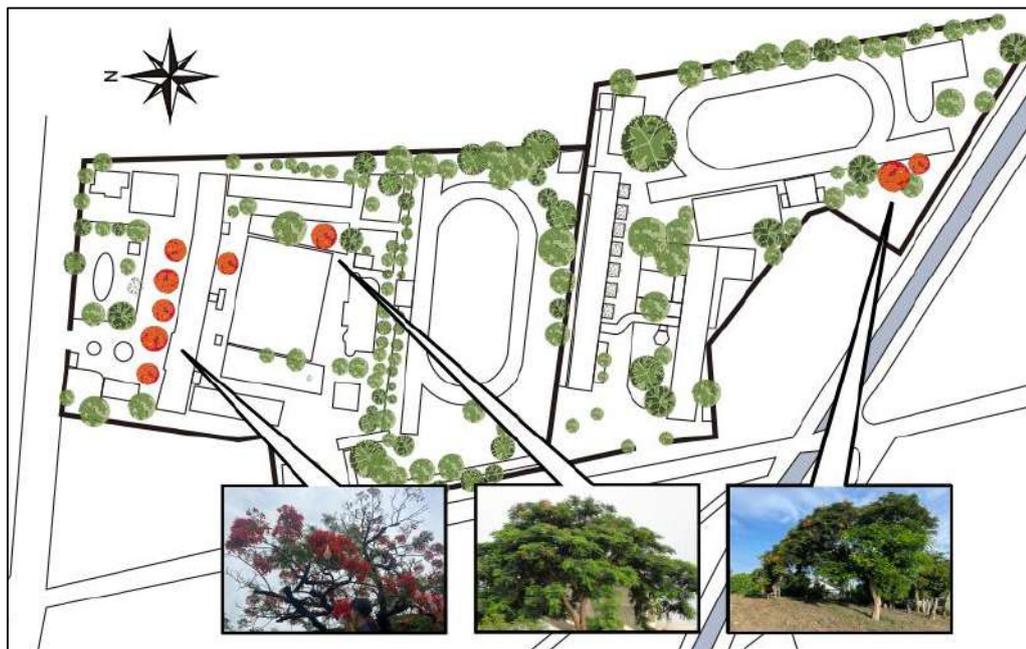


圖 3-7、選定校園三處不同環境的鳳凰木



圖 3-8、操場鳳凰木



圖 3-9、中庭鳳凰木



圖 3-10、前庭鳳凰木

(三)、不同授粉狀態對於鳳凰花旗瓣捲曲的影響：

若要探討授粉狀況對於旗瓣捲曲的影響，根據前置實驗結果，本研究時間選在 **7：00AM~9：00AM** 花朵初綻放且雄蕊（花藥）尚未成熟時期（圖 3-2），並以人工授粉方式控制變因。每個「調查周期」各選擇 50 朵即將綻放的花苞（圖 3-12），分成 5 組、每組 10 朵，共計三個調查時段（**2023 年 8 月、2024 年 4 月、2024 年 5 月**）。

人工授粉的方式：以水彩筆沾取雄蕊花粉，塗抹在雌蕊柱頭上，進行人工授粉處理時，依自花授粉、同株異花、異株異花做不同處理（圖 3-13、3-14），授粉後以鑷子摘除留存的花藥，避免再次自花授粉，並且使用珍珠紗網包住花朵（圖 3-15、3-16），阻隔其他授粉機會。每日觀察並且記錄鳳凰花旗瓣維持的情況（圖 3-17、3-18），從前置觀察中得知鳳凰花的旗瓣會先捲曲然後凋零，實驗紀錄以旗瓣凋零時間為準。

授粉對於鳳凰花旗瓣影響的實驗處理：

1. **對照組**：不做任何處理，維持自然狀態。
2. **無授粉**：待花朵初綻，摘除未成熟花藥並以珍珠紗網包覆。
3. **自花授粉**：花朵綻放後，以人工授粉方式為其自花授粉，摘除花藥並以珍珠紗網包覆。
4. **同株異花授粉**：待花朵初綻，以同棵已盛開花朵，取其花粉為本組處置進行人工授粉，並摘除未成熟花藥後以珍珠紗網包覆。
5. **異株授粉**：待花朵初綻，以別株盛開花朵，取其花粉為本組處置進行人工授粉，並摘除未成熟花藥後以珍珠紗網包覆。



圖 3-11、以棉花棒沾取花蜜



圖 3-12、標定實驗花朵



圖 3-13、人工授粉取花粉



圖 3-14、授粉處理



圖 3-15、套袋處理 I



圖 3-16、套袋處理 II



圖 3-17、每日觀察記錄旗瓣維持情形



圖 3-18、每日觀察記錄

肆、研究結果

一、環境因子對鳳凰花旗瓣凋零的影響

校園（前庭、中庭、操場）三地環境不同，前庭為遮蔭環境，中庭為半日照環境，操場是全日照環境（圖 3-7），根據觀察記錄（N=3）所示（圖 4-1），三地鳳凰木開花後，標定的花朵在自然狀態下，旗瓣凋零的鳳凰花時間並無顯著差異（圖 4-2），旗瓣凋零時間集中在開花後的第 7 天與第 8 天（N=30）。

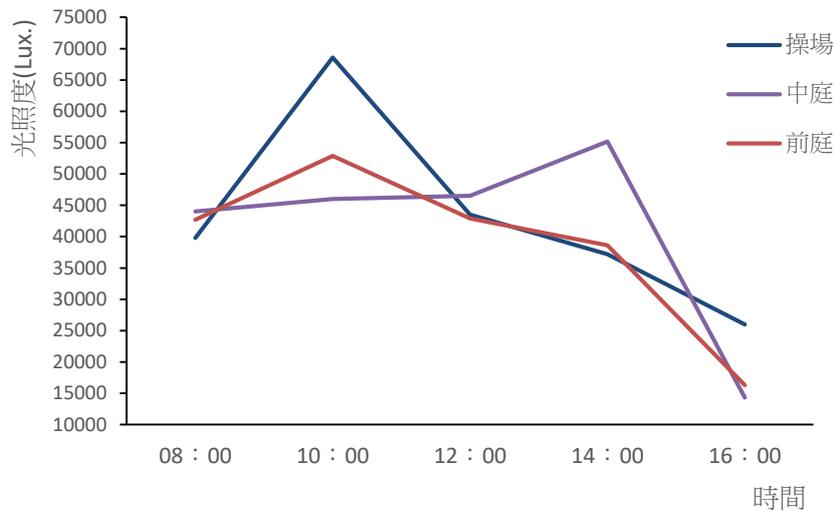


圖 4-1、校園中不同環境鳳凰木所在地的平均光照度(N=3)

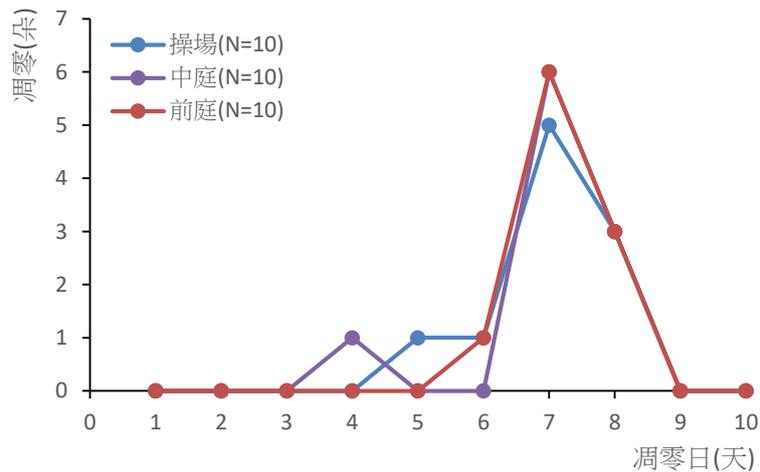


圖 4-2、不同地點鳳凰花開花後旗瓣凋零狀況

二、物理因子（花蜜採集、花粉採集）對鳳凰花旗瓣凋零的影響

不同物理因子（花蜜、花粉的採集）對於鳳凰花旗瓣凋零的時間影響結果顯示，開花後立即去除花蜜的花朵，旗瓣凋零的時間略有延後（圖 4-3），摘除花藥處理與自然狀態的結果相近。

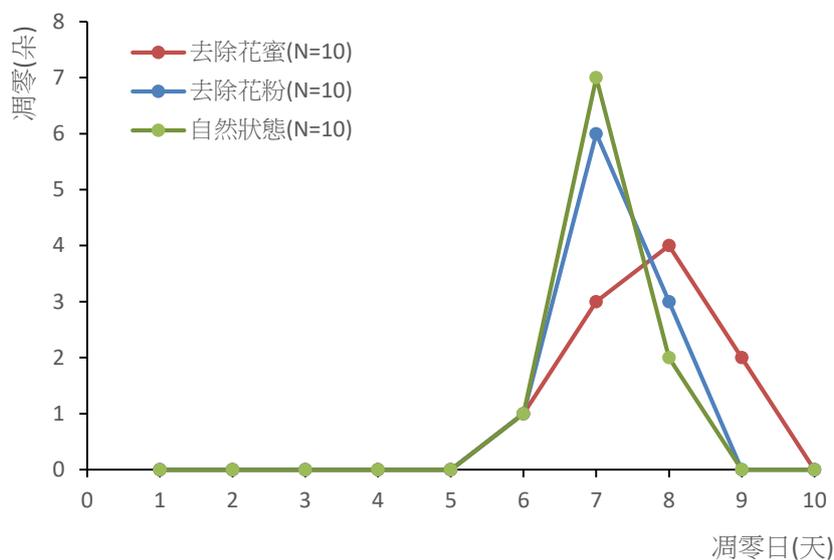


圖 4-3、花蜜、花粉對於旗瓣凋零的影響

三、不同時期鳳凰花朵的存續狀況

有些花朵會在實驗過程中整朵掉落（自然落花），原因可能為颶風、降雨或是人為撞擊等因素，因此實際的樣本數會比實驗設計（N=30）還要少。鳳凰木的花期，四月、五月是盛開期，經研究觀察發現這時期的自然落花率比八月來的高，八月已屬於花季末期，自然落花率較低（表 4-1）。

表 4-1、三個不同時間點調查時段的花朵存續狀況

	Aug. 2023	Apr. 2024	May. 2024	合計
自然狀態	10	8	9	27
無授粉	9	7	9	25
自花授粉	9	7	8	24
同株異花	10	9	9	28
異株	9	8	9	26
合計	47	39	44	130

四、不同授粉方式對鳳凰花旗瓣凋零的影響

不同時期開花的鳳凰木（研究分三個調查時段進行，2023 年 8 月、2024 年 4 月、2024 年 5 月），經過不同授粉處理，結果顯示旗瓣凋零時間會各自集中在不同區間（圖 4-4）。與自然狀態（圖 4-4-A）相比，經過異株授粉（圖 4-4-E）處理的鳳凰花，旗瓣凋零時間顯著提前。無授粉處理（圖 4-4-B）與自花授粉處理（圖 4-4-D）的兩組，旗瓣凋零時間顯著延遲。同株異花授粉處理（圖 4-4-C）旗瓣凋零時間與自然狀態相近。

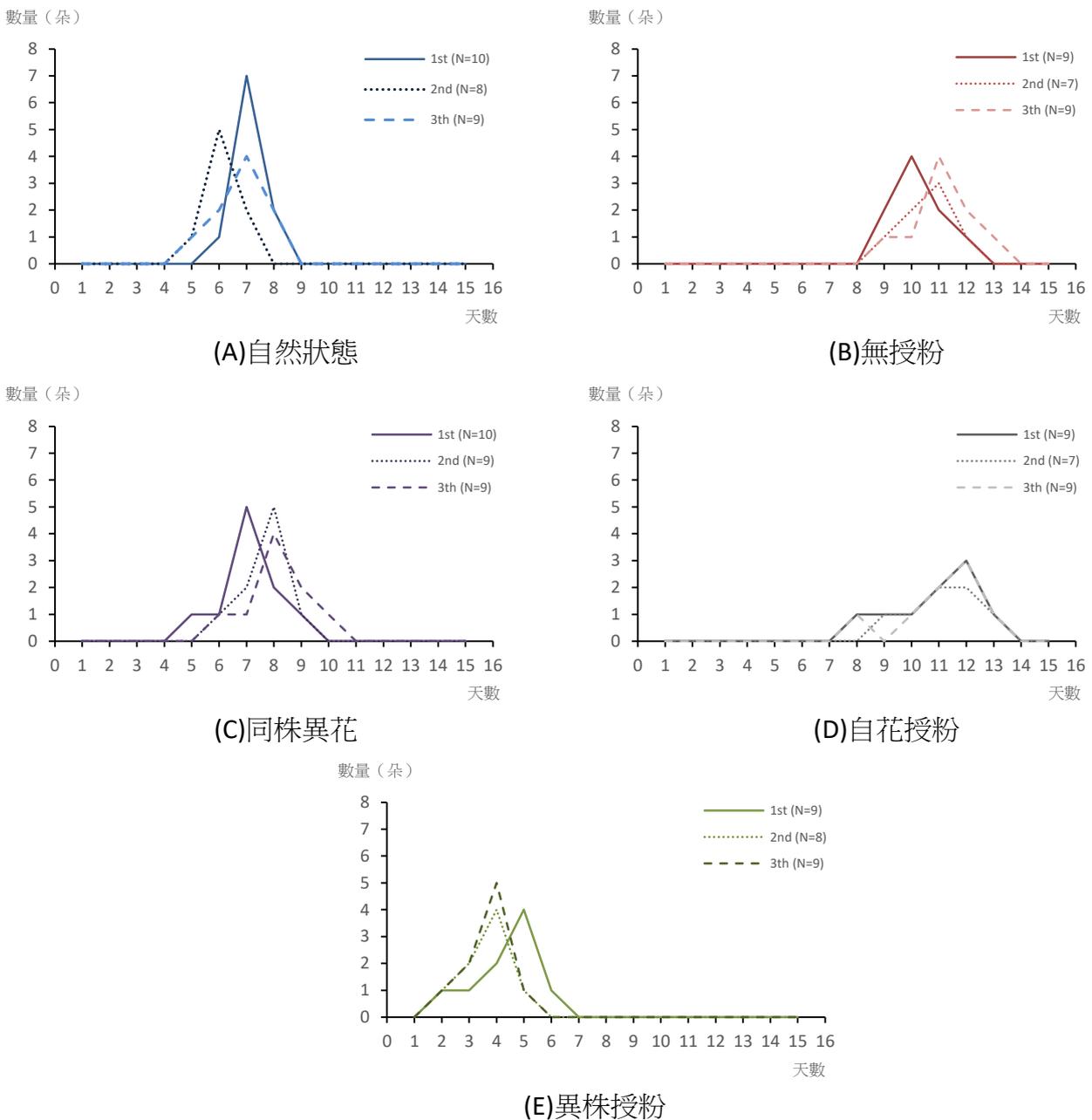


圖 4-4、不同時期進行不同授粉處理的旗瓣凋零狀況（研究分三個調查時段進行，1st：2023 年 8 月，2nd：2024 年 4 月，3th：2024 年 5 月；N 為樣本數）

累計三個調查時段實驗的樣本數顯示，不同授粉處理後旗瓣凋零的時間峰值集中成三個時段（圖 4-5），同株異花授粉處理的鳳凰花，旗瓣凋零時間集中在第 7-9 天，大致與自然狀態（第 6-8 天）相同。異株授粉的花朵旗瓣凋零時間顯著提前，集中在第 3-5 天。無授粉與同株自花授粉處理的鳳凰花，旗瓣凋零時間顯著延後，在第 10-13 天才達到凋零高峰。

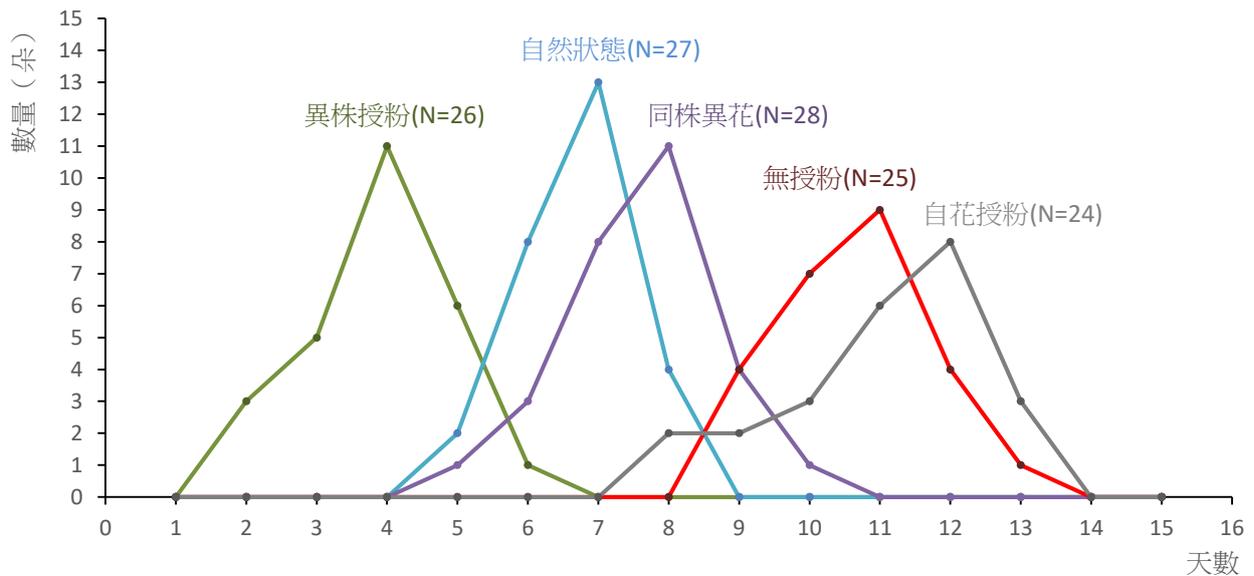


圖 4-5、不同時期的五種授粉處理的累計旗瓣凋零狀況（N 為樣本數）

五、授粉後莢果生成結果

不同授粉方式除了對於旗瓣凋零產生影響，經後續追蹤觀察，鳳凰花的結實率並不高（圖 4-7），多半還未成熟便已經自然掉落。發現在自然狀態與異株授粉兩種處理，最終可以產生成熟莢果（圖 4-6、圖 4-8、圖 4-9），自花授粉與無授粉兩種處理，雌蕊隨著花朵凋零而脫落，無法生成莢果，同株異花授粉雖然在花瓣凋零後，雌蕊會發育為莢果，但果莢無法順利成長，果莢成熟前全部掉落（圖 4-10）。

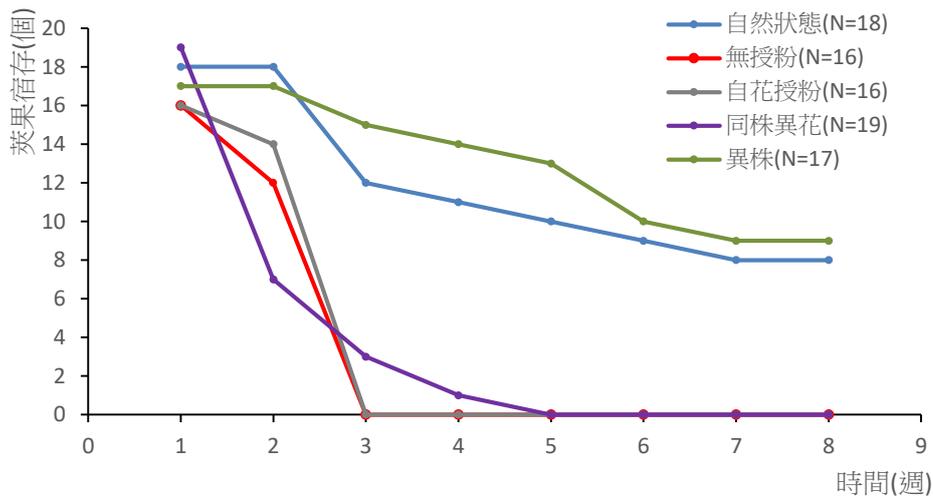


圖 4-6、不同授粉處理旗瓣凋零後種莢宿存成長情形（以 2023 年 8 月、2024 年 4 月資料進行分析）



圖 4-7、鳳凰花的結實率並不高



圖 4-8、雌蕊發育為種莢



圖 4-9、順利成熟的莢果



圖 4-10、無法順利成熟的莢果

伍、討論

一、影響鳳凰花旗瓣凋零的因子

(一)、光照的影響

從研究結果顯示校園三地不同環境生長的鳳凰木，前庭為遮蔭環境，中庭為半日照環境，操場是全日照環境，鳳凰木開花後花朵旗瓣凋零時間並無顯著差異，所以推論光照並非影響鳳凰花旗瓣凋零的影響因子。

(二)、花粉、花蜜採摘對旗瓣凋零的影響

利用人為方式去除開花後的雄蕊花藥部分，但鳳凰花仍可接受來自其他花朵的花粉，觀察結果顯示旗瓣凋零時間與自然狀態相近（圖 4-3），若是去除開花後的雄蕊並且套上珍珠紗網阻隔其他花粉的授粉可能，則旗瓣凋零時間明顯延後（圖 4-4），因此可以得知授粉會影響旗瓣凋零時間，但是旗瓣凋零不是因為花粉被採集完導致的結果。

將開花後的花蜜以人為方式去除，旗瓣凋零時間明顯延後，可知花蜜的有無會影響旗瓣凋零的時間，本組認為花蜜是提供傳粉者的獎賞（沈競辰，2003），若是沒有花蜜作為獎賞，昆蟲停留花朵的時間勢必減少，連帶幫花朵授粉的機會也降低，導致作為標示花蜜位置的「旗瓣」延後凋零，以增加授粉的機會。

(三)、授粉方式對旗瓣凋零的影響

以人為方式對鳳凰花進行三種方式授粉（自花、同株異花、異株），僅異株授粉導致旗瓣凋零的時間提前，但是同株異花處理旗瓣凋零的時間與自然狀態相近，自花授粉則導致旗瓣凋零的時間延後（圖 4-5）。

從生物學的角度來思考，為了使後代的變異性增加來因應環境的變化，有性生殖是生物繁衍後代的主流，植物因而演化出各種避免自花授粉的機制（沈競辰，2003），有些植物演化出兩性花，有些植物雄蕊雌蕊成熟時間不同，甚至有些植物利用特定化學分泌物來辨識花粉來源。

利用人為方式進行鳳凰花自花授粉的處理，導致旗瓣凋零時間延後，應該與花朵判別是否成功授粉有關，無效的授粉導致花朵的旗瓣持續存在，等待有效授粉的機會。

根據本研究結果顯示，異株授粉與同株異花授粉對鳳凰花而言屬於有效的授粉（旗瓣會凋零），而且異株授粉會導致旗瓣提前凋零，可以解釋為在鳳凰花的花序中，已獲得有效並且成功授粉的鳳凰花旗瓣會先凋零，將當作「招牌」的「蜜標」隱藏，藉此提高其他未獲得有效授粉花朵的授粉機會。

對台灣而言，鳳凰木是外來種植物，因此在台灣本地的傳粉者與原生地不同。從研究觀察中推測傳粉者有鱗翅目的蝶類、膜翅目的蜜蜂（圖 3-5）、半翅目椿象（圖 3-6）與鞘翅目金龜子類等昆蟲，然而從文獻中得知紅色花朵的傳粉者很多是依靠鳥類而不是昆蟲（沈競辰，2003），但是在馬達加斯加鳳凰木的原生地，扮演傳粉者的鳥類，台灣並沒有分布，這或許是造成在台灣生長的鳳凰木結實率不高的主因。

從莢果的生成結果（表 4-2）發現，雖然異株授粉與同株異花授粉都會導致旗瓣正常或是提前凋零，但是追蹤後續莢果生成，同株異花授粉的鳳凰花，莢果無法順利發育成長，多半中途夭折掉落，即使獲得有效授粉（都有莢果），但是同株異花授粉的莢果終究無法存續，鳳凰木只有異株授粉可以成功產生後代。

二、研究限制

研究期間歷經颱風、強風與降雨影響，導致研究必須分期進行，在不同期間進行的研究或許會影響鳳凰花旗瓣凋零的時間。透過人為方式進行授粉，相對於自然狀態的授粉，也是一種不可避免的干擾。

生物研究總是受限於實驗的樣本數，若是可以增加研究的樣本數，則可以提供更多的訊息，幫助分析複雜的生物現象。本研究歷時三個調查時段（預期樣本數 $N=30$ ），但仍因為自然落花現象，因此得到的樣本數 $N<30$ ，雖然低於研究設計，但是實驗結果顯示旗瓣凋零的時間確實有特定的區間，與授粉狀況間的關聯性是可信的。

陸、結論

- 一、光照並非影響鳳凰花旗瓣凋零的影響因子（圖 4-2）。
- 二、授粉會影響旗瓣凋零時間，花粉被採集完不會影響旗瓣凋零。沒有花蜜作為獎賞的花朵，作為標示花蜜位置的「旗瓣」會延後凋零，以增加授粉的機會（圖 4-3）。
- 三、異株授粉導致旗瓣凋零的時間提前，同株異花處理旗瓣凋零的時間與自然狀態相近，自花授粉則導致旗瓣凋零的時間延後，無效的授粉導致花朵的旗瓣持續存在，等待有效授粉的機會，已獲得有效並且成功授粉的鳳凰花旗瓣凋零，將當作「招牌」的「蜜標」隱藏，藉此提高其他未獲得有效授粉花朵的授粉機會（圖 4-5）。
- 四、鳳凰木同株異花授粉的莢果無法存續，只有異株授粉可以成功產生後代（圖 4-6）。

柒、參考文獻

- 一、劉業經、呂福原、歐辰雄(1987)。台灣樹木誌。台中：國立中興大學農學院出版委員會。
- 二、P. J. Gullan, P. S. Cranston（2002）。昆蟲學概論。台北：合記圖書出版社
- 三、沈競辰（2003）。花與授粉的觀察事典。台中：晨星出版社。
- 四、邱少婷、黃俊霖（2003）。花的前世今生。台中：國立自然科學博物館。
- 五、水波誠（2008）。探索昆蟲微小腦。台北：世茂出版有限公司。
- 六、田中修（2010）。花為什麼會香。台中：晨星出版社。

捌、附錄

一、照片攝影索引：

第一指導教師：圖 1-1、圖 1-2、圖 1-3、圖 1-4、圖 1-5、圖 3-1、圖 4-7、圖 4-8

第二指導教師：圖 3-5、圖 3-6、圖 3-11、圖 3-12、圖 3-13、圖 3-14、圖 3-17、圖 3-18

第一作者：圖 3-4、圖 3-8、圖 3-9、圖 3-10

第二作者：圖 3-15、圖 3-16

第三作者：圖 4-9、圖 4-10

二、圖表繪製索引

第一指導教師：圖 3-7

第二指導教師：圖 4-6

第一作者：圖 3-2、圖 3-3

第二作者：圖 4-1、圖 4-2、4-3

第三作者：表 4-1、圖 4-4、圖 4-5

【評語】 030310

本研究探討鳳凰花的旗瓣會先捲曲凋零現象與調控，進而延伸探討授粉機制與花瓣捲曲的關聯。這個觀察對於植物學上了解鳳凰花的生殖生物學及其適應策略有重要意義，也是一個有趣的研究主題。探究目標明確，發現異株授粉會導致旗瓣提前凋零，增加其他花朵授粉成功的機會。授粉方式對旗瓣凋零以及授粉後莢果生成結果的所得成果也是非常有趣。此研究設計和結果分析具邏輯性，從研究動機、方法到結果和討論，均有條理地展開；其報告流程、內容與組織也有不錯的邏輯表現。以下為幾點建議：

1. 經由控制實驗設計，觀察不同授粉方式之旗瓣凋零時間，且詳細記錄鳳凰花旗瓣凋零與不同授粉方式的關係。結果對於植物授粉生物學的理论基礎，以及對園藝及生態保育均有實際應用價值。
2. 表 4-1 說明不夠清楚。此表是記錄該時間段內存續的花朵數量，還是落花量？
3. 報告中對不同授粉方式的旗瓣凋零時間進行記錄，結果主要以實際數值方式呈現，但在組間比較分析與顯著性分析方面缺乏。雖

然數值支持其研究假說，但無統計顯著性支持。

4. 討論部分對實驗結果進行延伸說明，但缺乏相關文獻的探討與比較。建議應引用相關文獻對比實驗結果，增加討論的深度和廣度。
5. 實驗組與對照組設計合理，涵蓋多種授粉方式，包括無授粉、自花授粉、同株異花授粉和異株授粉。結果在組間呈現差異，但因無顯著性分析為不足點。對照組的設計有效排除環境和物理因子的干擾，增加實驗結果的可信度。

研究發展建議：

1. 授粉模式對植物花瓣之生理生化反應的影響極具科學價值，如能強化氣候變遷下之影響，更具時代重要性。
2. 可以探討為何是旗瓣首先凋零，而不是其他花瓣？
3. 建議未來研究擴大樣本量，以提高結果的普適性。
4. 建議增加不同環境條件下的觀察，探討更多變量對旗瓣凋零的影響。

作品簡報

花容失色

— 鳳凰花的旗瓣為何會先凋零？

摘要

鳳凰木的花朵擁有五片花瓣，上方花瓣與其他紅色花瓣不同，是白色底紅色斑點，根據文獻，這片花瓣稱為旗瓣，功能是作為蜜標來吸引傳粉者。研究觀察發現鳳凰花的旗瓣會先捲曲凋零，和蜜標存在的功能互相矛盾，本組推論與環境、授粉有關連。經研究發現，旗瓣凋零與生長環境、花粉及花蜜是否被採集無關，與授粉方式有關。異株授粉導致旗瓣凋零的時間提前；同株異花授粉旗瓣凋零的時間與自然狀態相近；自花授粉、無授粉則導致旗瓣凋零的時間延後。異株授粉對鳳凰花而言是有效且成功的授粉，會導致旗瓣提早凋零，將蜜標隱藏，提高其他尚未有效授粉花朵成功授粉的機會，並且產生成熟的種莢。無效的授粉會導致旗瓣凋零時間延後，藉此等待有效的授粉機會。

壹、前言

一、研究動機

鳳凰木總是在盛夏開花，到了花季，一眼望去，開滿豔紅色鮮花的鳳凰木格外亮眼，鳳凰木花開也因此成為六月畢業的象徵。遠看鳳凰花開滿了一樹的火紅（圖1-1），仔細觀察滿樹的鳳凰花，它擁有五片花瓣，位於上方的那一瓣花瓣具有大塊色斑，有的白色、有的黃色，大塊色斑上佈滿橙紅色或紫紅色斑點（圖1-2）。進一步觀察，可以發現在部分花朵中，這片佈滿色斑的花瓣會捲起來（圖1-3），有些花朵甚至少了這片花瓣，只剩下四片花瓣。是什麼原因造成花朵的差異？這是開啟了本研究的契機。



圖1-1、盛開的鳳凰花



圖1-2、鳳凰花的五片花瓣



圖1-3、捲起花瓣的鳳凰花

二、文獻探討：

（一）、鳳凰木的分類地位

鳳凰木（學名：Delonix regia Rafin.）又名影樹、金鳳、火鳳凰、洋楹、紅花楹、火樹、紅火楹、火焰樹、森之炎等，原產於非洲馬達加斯加島，分類上屬於豆科（Fabaceae）、蘇木亞科（Caesalpinioideae）、鳳凰木屬（Delonix）的植物；鳳凰木於1897年引入台灣。鳳凰木從綻放到凋謝的過程約5~8天（劉業經等，1987）。



圖1-4、杜鵑花的蜜標



圖1-5、鳳凰花的旗瓣與蜜標

（二）、開花與授粉的關係

1. 植物在漫長的演化長河中，演化出了「開花植物」的類群，開花植物以「花朵」吸引傳粉者來替植物傳授花粉（邱少婷、黃俊霖，2003）。
2. 開花植物更與昆蟲共同演化出複雜多樣的關係，有的提供花粉、花蜜作為授粉的獎賞；有的則是利用氣味欺騙昆蟲；有的甚至利用陷阱來達到目的（田中修，2010）。
3. 昆蟲的視覺與人類不同，主要由感受光線明暗的單眼與對紫外光敏感的複眼組成（Gullan & Cranston, 2002）
4. 植物花朵演化出許多標誌，用以吸引昆蟲作為「信差」，傳遞花粉（水波誠，2008）。
5. 花蜜是許多花提供給昆蟲信差的獎賞，在花蜜的分泌部位四周呈現與別的部分不同的顏色，或在花瓣上出現斑點、花紋等特殊的配置，恰似標示分泌部位（圖1-4、1-5）。這樣的色彩配置可以幫助昆蟲找到花蜜位置，稱為「蜜標」（沈競辰，2003）。
6. 鳳凰花是豆科植物，鳳凰木花朵中上方那片具有白色或黃色大塊色斑，且佈滿橙紅色、紫紅色斑點的花瓣，稱為「旗瓣」，豆科植物的旗瓣可以吸引傳粉者，是一種「蜜標」（沈競辰，2003）。

三、待答問題

從本研究觀察得知，鳳凰花開時，有些花朵旗瓣（蜜標）顏色會改變，有些則將旗瓣捲起來，然後凋零掉落，根據文獻得知旗瓣的功能是蜜標，那麼將蜜標隱藏起來，是否與開花的目的相違背？作為蜜標的旗瓣在鳳凰木上扮演的角色是什麼？為什麼會有些鳳凰花將旗瓣捲曲隱藏，是為了提高其他花朵的授粉率嗎？與豌豆同屬於豆科的鳳凰木，其授粉機制與花瓣捲曲的關聯又是什麼？

四、研究目的

- （一）、觀察鳳凰花的開花與凋零時間。
- （二）、觀察校園三地不同環境的鳳凰木開花後旗瓣凋零情形。
- （三）、花蜜、花粉採集是否影響鳳凰花旗瓣捲曲凋零。
- （四）、探討不同授粉策略對鳳凰花旗瓣捲曲凋零的影響。

貳、研究設備與器材：

- 一、材料：鳳凰木
- 二、器材：珍珠紗網×100、水彩筆、棉花棒、鑷子、相機、梯子、板凳、攝影機

參、研究過程或方法：



圖3-1、鳳凰花自開花到結成種莢的過程

一、鳳凰花的開花周期與物候觀察（前導實驗）

根據觀察，鳳凰花開花後，旗瓣會先捲曲凋零，然後種莢才開始發育（圖3-1），鳳凰花開花後花朵可以持續5-8天，而且開花後雄蕊才成熟，考量後續研究必須在開花後但在雄蕊成熟前進行，本組進行了前導實驗：每日清晨至中午，每隔1 hr.觀察標定的10朵花苞，從綻放至花朵凋謝為止，所紀錄鳳凰花的物候資料顯示：

- （一）、在自然狀態下，鳳凰木花朵從綻放到凋謝的過程約5~8天，與文獻資料符合（圖3-2）。鳳凰花在清晨時綻放，鳳凰花的雄蕊從綻放後的4~6 hr.後成熟，花藥會裂開，開始釋出花粉（圖3-3）。
- （二）、鳳凰花的花粉粒大小，長軸：60-70 μm 之間，短軸：40-50 μm 之間（圖3-4）。
- （三）、鳳凰花的主要授粉者，有鱗翅目的蝶類、膜翅目的蜜蜂（圖3-5）、半翅目椿象（圖3-6）與鞘翅目金龜子類。

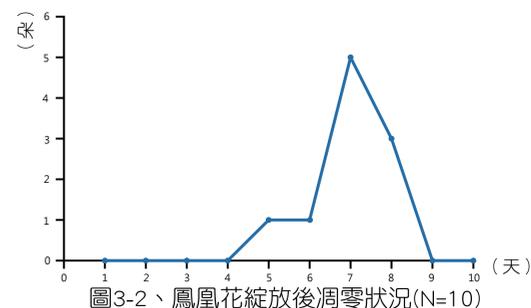


圖3-2、鳳凰花綻放後凋零狀況(N=10)

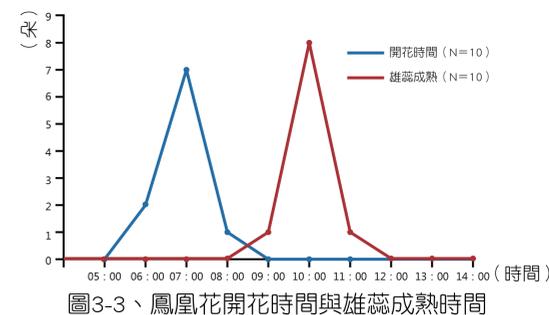


圖3-3、鳳凰花開花時間與雄蕊成熟時間

觀察

提出問題

文獻探討

提出假設

研究設計

前導實驗

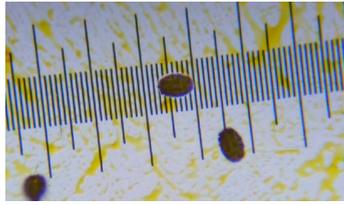


圖3-4、鳳凰花花粉粒
(微尺單位：0.01 mm)



圖3-5、鳳凰花傳粉者I



圖3-6、鳳凰花傳粉者II

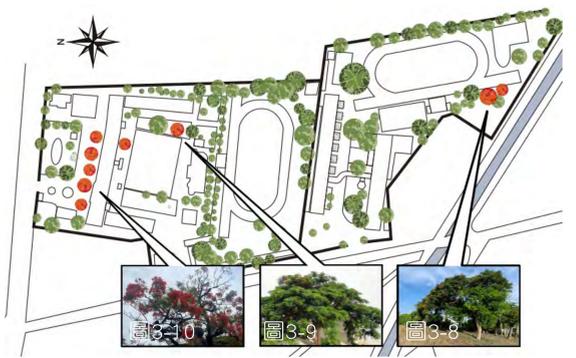


圖3-7、選定校園三處不同環境的鳳凰木

二、環境因子、花蜜與花粉採集對旗瓣捲曲凋零的影響：

- (一)、**環境因子**：假設鳳凰花旗瓣捲曲機制是由於環境造成的個體差異，選定不同生長環境（圖3-7），分別為操場全日照環境（圖3-8）、中庭半日照環境（圖3-9）與前庭遮蔭環境（圖3-10），以照度計每隔2小時記錄一次光照量，取三日紀錄平均；分別自三處選擇鳳凰木各一棵，各標定10朵花，維持自然狀態進行觀察紀錄，觀察旗瓣捲曲凋零時間。
- (二)、**物理因子**：假設鳳凰花旗瓣捲曲凋零機制，是因為花粉或是花蜜被採集完所造成的物理機制。選擇同株鳳凰木，標定同時期綻放的30朵花，10朵不做處理，10朵以棉花棒沾走花蜜，10朵綻放時即去除花藥，觀察旗瓣捲曲凋零時間（圖3-11）。

三、不同授粉狀態對於鳳凰花旗瓣捲曲的影響：

根據前置實驗結果，本研究時間選在7：00AM~9：00AM花朵初綻放且雄蕊（花藥）尚未成熟時期（圖3-2），並以人工授粉方式控制變因。每個「調查周期」各選擇50朵即將綻放的花苞（圖3-12），分成5組、每組10朵，共計三個調查時段（2023年8月、2024年4月、2024年5月）。

人工授粉的方式：以水彩筆沾取雄蕊花粉，塗抹在雌蕊柱頭上，進行人工授粉處理時，依自花授粉、同株異花、異株異花做不同處理（圖3-13、3-14），授粉後以鑷子摘除留存的花藥，避免再次自花授粉，並且使用珍珠紗網包住花朵（圖3-15、3-16），阻隔其他授粉機會。每日觀察並且記錄鳳凰花旗瓣維持的情況（圖3-17、3-18），實驗紀錄以旗瓣凋零時間為準。

授粉對於鳳凰花旗瓣影響的實驗處理：

- (一)、**對照組**：不做任何處理，維持自然狀態。
- (二)、**無授粉**：待花朵初綻，摘除未成熟花藥並以珍珠紗網包覆。
- (三)、**自花授粉**：花朵綻放後，以人工授粉方式為其自花授粉，摘除花藥並以珍珠紗網包覆。
- (四)、**同株異花授粉**：待花朵初綻，以同株已盛開花朵，取其花粉為本組處置進行人工授粉，並摘除未成熟花藥後以珍珠紗網包覆。
- (五)、**異株授粉**：待花朵初綻，以別株盛開花朵，取其花粉為本組處置進行人工授粉，並摘除未成熟花藥後以珍珠紗網包覆。

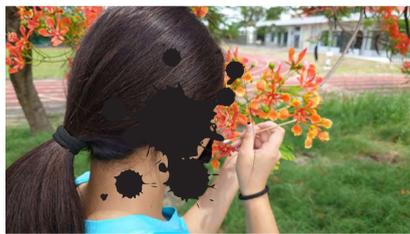


圖3-11、以棉花棒沾取花蜜



圖3-12、標定實驗花朵



圖3-13、人工授粉取花粉



圖3-14、授粉處理



圖3-15、套袋處理I



圖3-16、套袋處理II



圖3-17、每日觀察記錄旗瓣維持情形

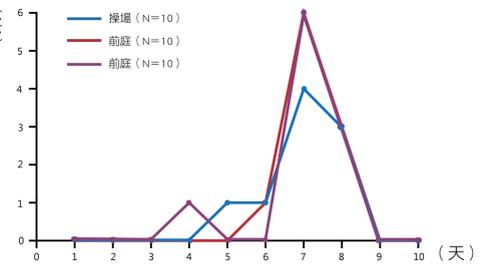
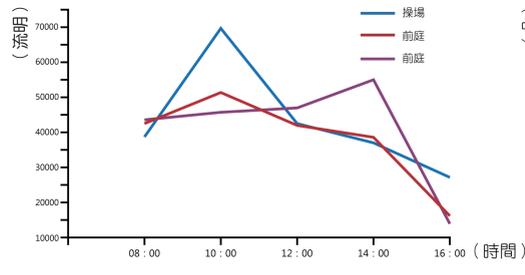


圖3-18、每日觀察記錄

肆、研究結果

一、環境因子對鳳凰花旗瓣凋零的影響

校園（前庭、中庭、操場）三地環境不同，前庭為遮蔭環境，中庭為半日照環境，操場是全日照環境（圖3-7），根據觀察記錄（N=3）所示（圖4-1），三地鳳凰木開花後，標定的花朵在自然狀態下，旗瓣凋零的鳳凰花時間並無顯著差異（圖4-2），旗瓣凋零時間集中在開花後的第7天與第8天（N=30）。



二、物理因子（花蜜採集、花粉採集）對鳳凰花旗瓣凋零的影響

不同物理因子（花蜜、花粉的採集）對於鳳凰花旗瓣凋零的時間影響結果顯示，開花後立即去除花蜜的花朵，旗瓣凋零的時間略有延後（圖4-3），摘除花藥處理與自然狀態的結果相近。

三、不同時期鳳凰花朵的存續狀況

有些花朵會在實驗過程中整朵掉落（自然落花），原因可能為颶風、降雨或是人為撞擊等因素，因此實際的樣本數會比實驗設計（N=30）還要少。鳳凰木的花期，四月、五月是盛開期，經研究觀察發現這時期的自然落花率比八月來的高，八月已屬於花季末期，自然落花率較低。

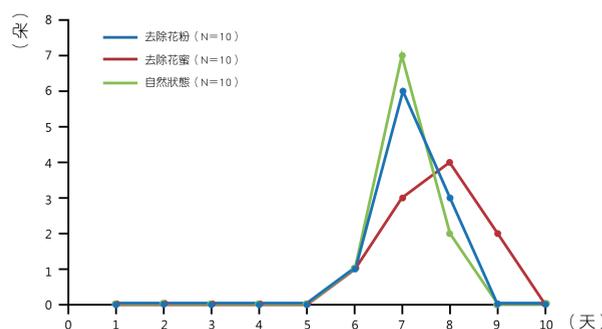


圖4-3、花蜜、花粉對於旗瓣凋零的影響

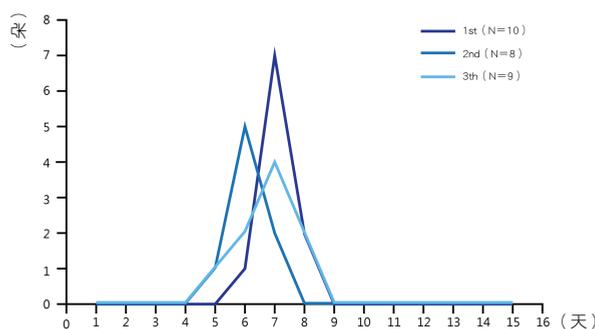


圖4-4-(A)自然狀態

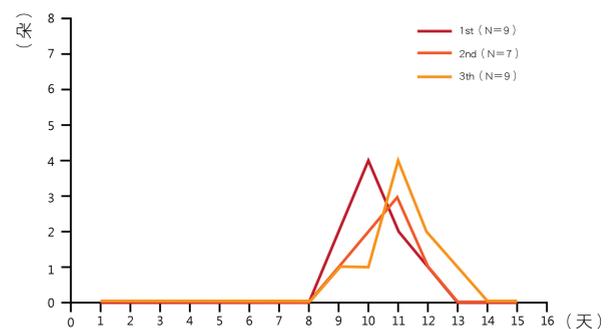


圖4-4-(B)無授粉

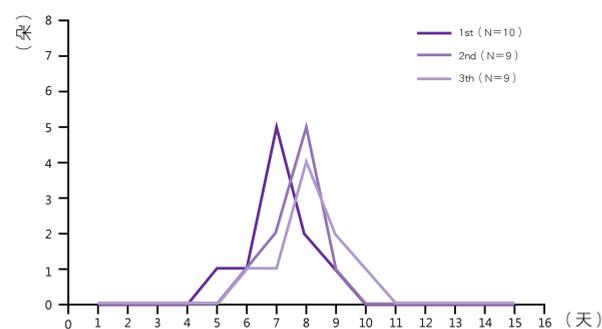


圖4-4-(C)同株異花

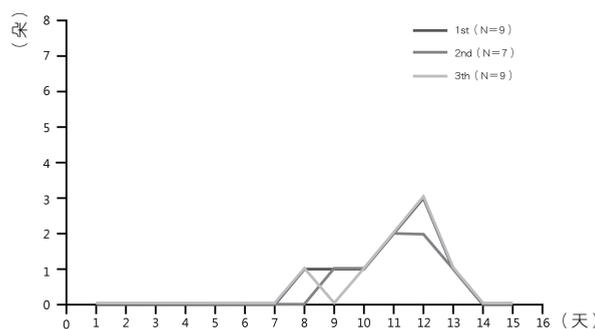


圖4-4-(D)自花授粉

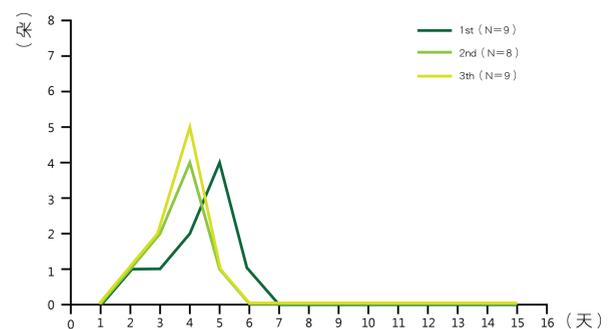


圖4-4-(E)異株授粉

圖4-4、不同時期進行不同授粉處理的旗瓣凋零狀況（研究分三個調查時段進行，1st：2023年8月，2nd：2024年4月，3th：2024年5月；N為樣本數）

四、不同授粉方式對鳳凰花旗瓣凋零的影響

不同時期開花的鳳凰木（2023年8月、2024年4月、2024年5月），經過不同授粉處理，結果顯示旗瓣凋零時間會各自集中在不同區間（圖4-4）。經過異株授粉（圖4-4-E）處理的鳳凰花，旗瓣凋零時間顯著提前。無授粉處理（圖4-4-B）與自花授粉處理（圖4-4-D）的兩組，旗瓣凋零時間顯著延遲。同株異花授粉處理（圖4-4-C）旗瓣凋零時間與自然狀態相近。

累計三個調查時段實驗的樣本數顯示，不同授粉處理後旗瓣凋零的時間峰值集中成三個時段（圖4-5），同株異花授粉處理的鳳凰花，旗瓣凋零時間集中在第7-9天，大致與自然狀態（第6-8天）相同。異株授粉的花朵旗瓣凋零時間顯著提前，集中在第3-5天。無授粉與同株自花授粉處理的鳳凰花，旗瓣凋零時間顯著延後，在第10-13天才達到凋零高峰。

五、授粉後莢果生成結果

不同授粉方式除了對於旗瓣凋零產生影響，經後續追蹤觀察，鳳凰花的結實率並不高（圖4-7），多半還未成熟便已經自然掉落。發現在自然狀態與異株授粉兩種處理，最終可以產生成熟莢果（圖4-6、圖4-8、圖4-9），自花授粉與無授粉兩種處理，雌蕊隨著花朵凋零而脫落，無法生成莢果，同株異花授粉雖然在花瓣凋零後，雌蕊會發育為莢果，但果莢無法順利成長，果莢成熟前全部掉落（圖4-10）。



圖4-7、鳳凰花的結實率並不高



圖4-8、雌蕊發育為種莢



圖4-9、順利成熟的莢果



圖4-10、無法順利成熟的莢果

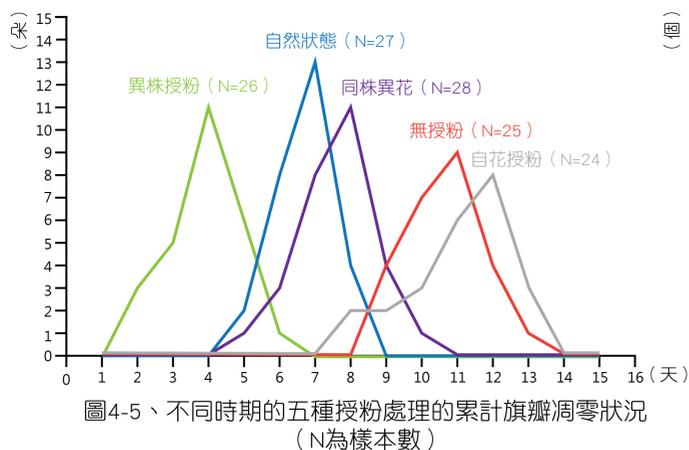


圖4-5、不同時期的五種授粉處理的累計旗瓣凋零狀況 (N為樣本數)

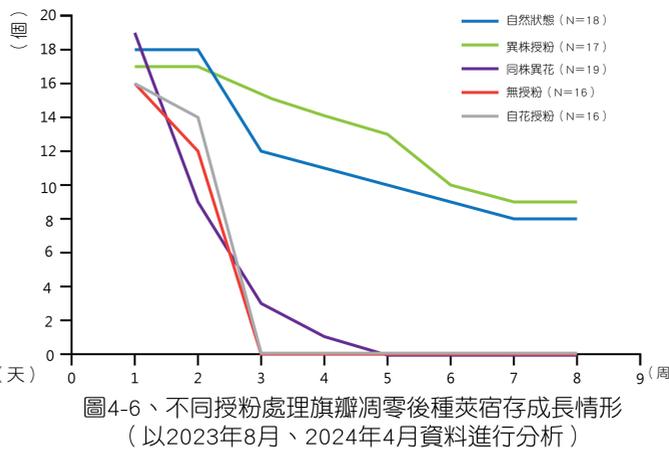


圖4-6、不同授粉處理旗瓣凋零後種莢宿存成長情形 (以2023年8月、2024年4月資料進行分析)

伍、討論

一、影響鳳凰花旗瓣凋零的因子

(一)、光照的影響

從研究結果顯示校園三地不同環境生長的鳳凰木，前庭為遮蔭環境，中庭為半日照環境，操場是全日照環境，鳳凰木開花後花朵旗瓣凋零時間並無顯著差異，所以推論光照並非影響鳳凰花旗瓣凋零的影響因子。

(二)、花粉、花蜜採摘對旗瓣凋零的影響

利用人為方式去除開花後的雄蕊花藥部分，但鳳凰花仍可接受來自其他花朵的花粉，觀察結果顯示旗瓣凋零時間與自然狀態相近（圖4-3），若是去除開花後的雄蕊並且套上珍珠紗網阻隔其他花粉的授粉可能，則旗瓣凋零時間明顯延後（圖4-4），可以得知授粉會影響旗瓣凋零時間，但是旗瓣凋零不是因為花粉被採集完導致的結果。

將開花後的花蜜以人為方式去除，旗瓣凋零時間延後，可知花蜜的有無會影響旗瓣凋零的時間，本組認為花蜜是提供傳粉者的獎賞（沈競辰，2003），若是沒有花蜜作為獎賞，昆蟲停留花朵的時間勢必減少，連帶幫花朵授粉的機會也降低，導致作為標示花蜜位置的「旗瓣」延後凋零，以增加授粉的機會。

(三)、授粉方式對旗瓣凋零的影響

以人為方式對鳳凰花進行三種方式授粉（自花、同株異花、異株），僅異株授粉導致旗瓣凋零的時間提前，但是同株異花處理旗瓣凋零的時間與自然狀態相近，自花授粉則導致旗瓣凋零的時間延後（圖4-5）。

從生物學的角度來思考，為了使後代的變異性增加來因應環境的變化，有性生殖是生物繁衍後代的主流，植物因而演化出各種避免自花授粉的機制（沈競辰，2003），有些植物演化出兩性花，有些植物雄蕊、雌蕊成熟時間不同，甚至有些植物利用特定化學分泌物來辨識花粉來源。

利用人為方式進行鳳凰花自花授粉的處理，導致旗瓣凋零時間延後，應該與花朵判別是否成功授粉有關，無效的授粉導致花朵的旗瓣持續存在，等待有效授粉的機會。

根據本研究結果，異株授粉與同株異花授粉對鳳凰花而言屬於有效的授粉，而且異株授粉會導致旗瓣提前凋零，可以解釋為在鳳凰花的花序中，已獲得有效並且成功授粉的鳳凰花旗瓣會先凋零，將當作「招牌」的「蜜標」隱藏，藉此提高其他未獲得有效授粉花朵的授粉機會。

對台灣而言，鳳凰木是外來種植物，因此在台灣本地的傳粉者與原生地不同。從研究觀察中推測傳粉者有鱗翅目的蝶類、膜翅目的蜜蜂（圖3-5）、半翅目椿象（圖3-6）與鞘翅目金龜子類等昆蟲，然而從文獻中得知紅色花朵的傳粉者很多是依靠鳥類而不是昆蟲（沈競辰，2003），但是在馬達加斯加鳳凰木的原生地，扮演傳粉者的鳥類，台灣並沒有分布，這或許是造成在台灣生長的鳳凰木結實率不高的主因。

從莢果的生成結果（表4-2）發現，雖然異株授粉與同株異花授粉都會導致旗瓣正常或是提前凋零，但是追蹤後續莢果生成，同株異花授粉的鳳凰花，莢果無法順利發育成長，多半中途夭折掉落，即使獲得有效授粉（都有莢果），但是同株異花授粉的莢果終究無法存續，鳳凰木只有異株授粉可以成功產生後代。

二、研究限制

研究期間歷經颱風、強風與降雨影響，導致研究必須重新施作或是分段，在不同期間進行的研究或許會影響鳳凰花旗瓣凋零的時間。透過人為方式進行授粉，相對於自然狀態的授粉，也是一種不可避免的干擾。本研究歷時三個調查時段（預期樣本數N=30），但仍因為自然落花現象，因此得到的樣本數N<30，雖然低於研究設計，但是實驗結果顯示旗瓣凋零的時間確實有特定的區間，與授粉狀況間的關聯性是可信的。

陸、結論

一、光照並非影響鳳凰花旗瓣凋零的影響因子（圖4-2）。

二、授粉會影響旗瓣凋零時間，花粉被採集完不會影響旗瓣凋零。沒有花蜜作為獎賞的花朵，作為標示花蜜位置的「旗瓣」會延後凋零，以增加授粉的機會（圖4-3）。

三、異株授粉導致旗瓣凋零的時間提前，同株異花處理旗瓣凋零的時間與自然狀態相近，自花授粉則導致旗瓣凋零的時間延後，無效的授粉導致花朵的旗瓣持續存在，等待有效授粉的機會，已獲得有效並且成功授粉的鳳凰花旗瓣凋零，將當作「招牌」的「蜜標」隱藏，藉此提高其他未獲得有效授粉花朵的授粉機會（圖4-5）。

四、鳳凰木同株異花授粉的莢果無法存續，只有異株授粉可以成功產生後代（圖4-6）。

柒、參考文獻

- 一、劉業經、呂福原、歐辰雄(1987)。台灣樹木誌。台中：國立中興大學農學院出版委員會。
- 二、P. J. Gullan, P. S. Cranston (2002)。昆蟲學概論。台北：合記圖書出版社
- 三、沈競辰(2003)。花與授粉的觀察事典。台中：晨星出版社。
- 四、邱少婷、黃俊霖(2003)。花的前世今生。台中：國立自然科學博物館。
- 五、水波誠(2008)。探索昆蟲微小腦。台北：世茂出版有限公司。
- 六、田中修(2010)。花為什麼會香。台中：晨星出版社。

捌、附錄

一、照片攝影索引：

- 第一指導教師：圖1-1、圖1-2、圖1-3、圖1-4、圖1-5、圖3-1、圖4-7、圖4-8
第二指導教師：圖3-5、圖3-6、圖3-11、圖3-12、圖3-13、圖3-14、圖3-17、圖3-18
第一作者：圖3-4、圖3-8、圖3-9、圖3-10
第二作者：圖3-15、圖3-16
第三作者：圖4-9、圖4-10

二、圖表繪製索引

- 第一指導教師：圖3-7
第二指導教師：圖4-6
第一作者：圖3-2、圖3-3
第二作者：圖4-1、圖4-2、4-3
第三作者：圖4-4、圖4-5