

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

第二名
最佳創意獎

081540

大自然的魔彈射手--非洲鳳仙花果實的研究

學校名稱：臺北市中山區永安國民小學

作者： 小四 蕭季萱	指導老師： 陳文億 鄭桂芬
-------------------	-----------------------------

關鍵詞： 非洲鳳仙花、果實爆裂、種子的傳播

作品名稱：大自然的魔彈射手—非洲鳳仙花果實的研究

摘要

我對非洲鳳仙花果實成熟後會爆開，把裡面的種子彈出來，覺得很好奇，因此研究它的果實。從暑假開始觀察植物的生長情形，到各處採集果實，也在家裡種了許多非洲鳳仙花，然後做了很多實驗和觀察，包括果實外形的觀察、果實如何破裂、果實如何彈射種子、果實的細部構造切片觀察、果實彈力的量測等。

經過這些實驗和觀察，我發現許多圖書和百科全書中都沒有提到的事，例如果實有一條破裂線的存在、果實小的時候先下垂要破裂前再上舉、果實長大後密度會變小、果實內外層細胞構造不同、果實破裂會由尖端捲起再把種子彈射出去、果實只花 0.002 秒就會捲起等，這個研究讓我知道了好多非洲鳳仙花的大秘密和它有多聰明。

壹、研究動機

三年級下學期的自然課，老師教我們觀察記錄小白菜的生長情形，引發我對植物成長過程的好奇。有一次和媽媽到陽台去澆花，被非洲鳳仙花果實突然爆開彈射出的種子嚇到，不禁對這植物感到十分好奇。經過媽媽的解釋，才知道它成熟後會自動彈開，或是被昆蟲、人碰到也會彈開，種子會被彈到很遠的地方。聽完後，我想知道果實如何彈射種子？彈射種子的力量有多大？種子到底可以彈多遠？所以我決定對非洲鳳仙花的果實做詳細的研究。

我在老師和媽媽的幫助下，查了好多相關資料，包括以前的科展報告、圖書館的書、植物小百科和網頁資料等，但是這些參考資料只說明鳳仙花果實的內外皮細胞構造不同，會讓果實成熟後破裂(趙翎雅等，2003)，以及種子向外彈開會有利於種子生長(李惠珠，1991)；但是對於我的問題，這些資料都沒有說得很清楚，所以我要進行觀察和實驗把答案找出來。

在找資料的過程中發現，書本、百科全書、以前的科展研究及網路上所提到的知識大都是關於鳳仙花，而不是非洲鳳仙花，但是根據我的研究，非洲鳳仙花果實與鳳仙花果實彈射種子的方式是不一樣的。

我到郊外觀察非洲鳳仙花和果實生長的情形、方向，並採集成熟的果實回來作實驗。也自己在家裏種了 50 棵非洲鳳仙花，來觀察它的成長情形。

研究與教材相關性如表 1。

表 1 應用課程教材內容

課程教材	章節	單元名稱	內容相關性
自然與生活科技(康軒版 3 上)	1	植物的身體	如何觀察植物的葉、莖、花、和果實
自然與生活科技(康軒版 3 下)	1	大家來種菜	種子的觀察、植物的種植、植物成長的觀察和記錄

貳、研究目的

研究目的		研究項目	
果實如何破裂	研究一	成熟的果實如何破裂	(一) 找出果實破裂的部位
	研究二	果實破裂線朝哪裡長	(二) 調查果實破裂線的生長型態
	研究三	果實成長時破裂線方向是不是就已經固定	(一) 同一顆果實生長的長時間連續觀察 (二) 多顆果實生長的長時間連續觀察
	研究四	成熟果實舉高破裂線朝外有無向光性	(一) 黑紗網環境實驗 (二) 開放黑暗環境實驗
	研究五	果實抬高破裂線朝外是否受背地性影響	(一) 開放黑暗環境實驗
果實如何彈射	研究六	果實如何彈射種子	(一) 用數位相機記錄種子彈射情形 (二) 果實破裂過程的高速攝影
果實的外型與構造	研究七	非洲鳳仙花果實的外型差異	(一) 觀察果實的重量、大小、體積、密度
	研究八	用顯微鏡觀察果實的構造	(一) 顯微鏡觀察未成熟果實切片 (二) 成熟果實的果皮觀察
	研究九	花朵和果實構造的對應關係	(一) 觀察花朵與果實構造相同的部分
果實的彈力	研究十	種子可以彈多遠	(一) 量測種子彈出的距離
	研究十一	果實的彈力有多大	(一) 以小吊飾測量彈力 (二) 以深色塑膠蓋測量彈力
	研究十二	果實彈射種子如何影響植株的生長型態	(一) 果實彈射種子如何影響植株生長型態

參、研究器材及設備

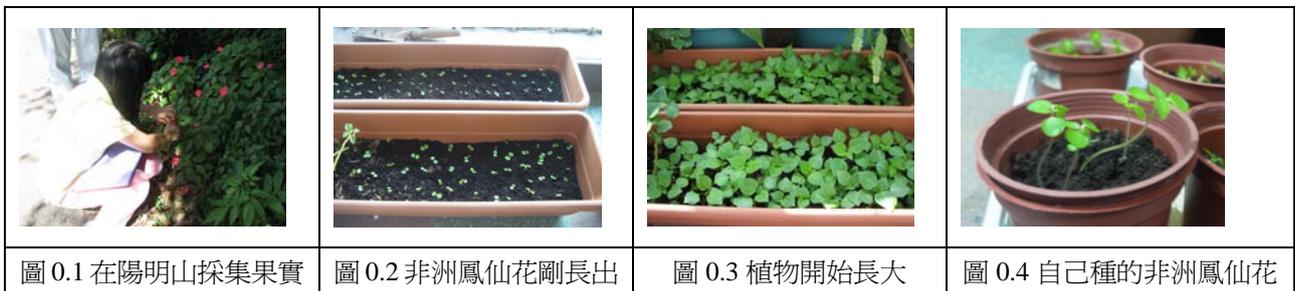
研究項目	研究設備與器材	研究設備與器材內容
果實的觀測	果實	果實 30 個、分隔盒、棉花或衛生紙
	設備	電子秤、游標卡尺、試管
果實彈力量測	果實	果實 30 個、分隔盒、
	設備	電子秤、吊杆、長尾夾、膠帶、塑膠布、固定塊、長尺、油性筆、鑷子、記錄表、推拉力計
果實的觀察	果實	果實 10 個
	設備	放大鏡、光學顯微鏡、解剖顯微鏡、玻片、刀片、相機
果實如何破裂	果實	成熟果實 12 個
	設備	水彩、相機
果實快速攝影	果實	果實 8 個
	設備	高速攝影機、三腳架、筆記型電腦、聚光燈、鑷子
果實生長情形	果實	非洲鳳仙花一盆(約 10 株) 非洲鳳仙花 8 小盆
	設備	定時器、60W 鎢絲燈泡、黑紗網、四層鐵架、相機、記錄表
果實向光性	果實	非洲鳳仙花 3 小盆
	設備	黑暗房間、螢光燈(13Wx2)、塑膠箱、鐵架、相機、記錄表
果實背地性	果實	非洲鳳仙花 2 小盆
	設備	黑暗房間、螢光燈(13Wx2)、塑膠箱、鐵架、相機、記錄表

肆、研究過程及方法

非洲鳳仙花的種植及果實採集：

暑假時，家裡沒有非洲鳳仙花，我先去其他地方找果實。但是它要在涼爽的地方才會開花結果，所以家人陪我到溫度比較低的陽明山的餐廳花園去採果實(圖 0.1)，果然找到成熟的果實可以做實驗。十月以後天氣轉涼，學校附近種的花，都逐漸開花結果，就多了一些地方可採集果實做實驗。

第一批果實被我夾破用來進行種子彈射的實驗(研究十)，我再把種子種在花盆裡，觀察它們的生長情形，如圖 0.2~0.4 是自己種的植物的一些過程。所以我的研究中有些研究是在野外採果實來觀察，有些研究是自己種植物，在生長過程中做觀察和實驗。



研究一：成熟的果實如何破裂

果實破裂的速度太快，看不清楚破裂的過程，所以我設計實驗來瞭解果實是不是由固定的地方破裂。

研究過程：

1. 採集 12 顆成熟果實。
2. 每顆果實每一瓣都塗上不同顏色做記號，從背部最長的那條線開始，順時針方向依序是紅、黃、藍、褐、黑(如圖 1.1, 1.3)。
3. 成熟的果實很容易碰裂，要用水彩筆輕輕地作記號。
4. 把果實夾破，然後拍照觀察(如圖 1.2)，詳細的記錄在附錄一。



研究結果：

1. 發現 12 顆果實都在同一條線破裂，就是在紅色瓣和黑色瓣中間破裂(圖 1.4)，也就是果實上最長的那一條線(圖 1.5 上畫的紅線)。

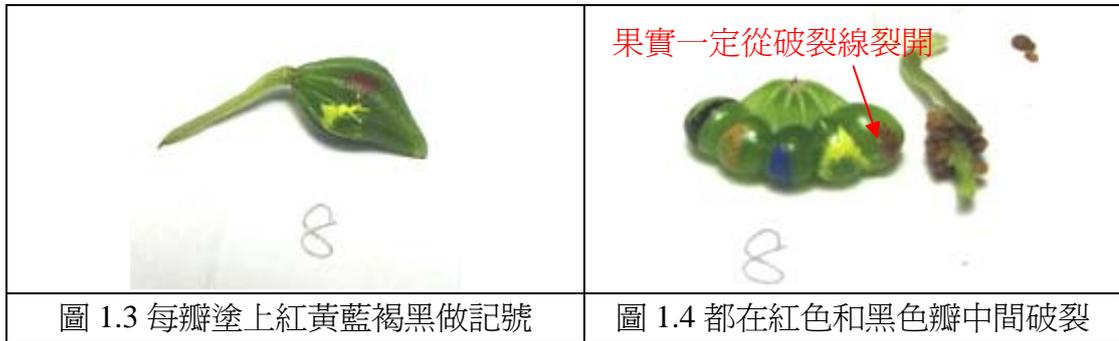


圖 1.5 紅色標示為破裂線

研究結論與討論

1. 我證明了果實都是從固定的一條線破裂，我把這條線叫作破裂線。

研究二：果實破裂線朝哪裡長

果實都從固定地方裂開，那麼成熟果實的破裂線都朝哪裡長？是否朝植株外面，方便種子彈出去呢？外面的光線和破裂線生長的方向是不是有影響？我到野外觀察記錄自然環境下成熟野生果實的生長情形。

研究步驟

1. 在陽明山和某餐廳外觀察共 25 顆果實。
2. 觀察果實的破裂線朝植株外或朝植株內生長(如圖 2.1)？朝亮處或朝暗處生長？
2. 觀察果實的破裂線會水平(A 型，圖 2.2)、向下 45 度(B 型，圖 2.3)、還是垂直 90 度(C 型，圖 2.4)生長？

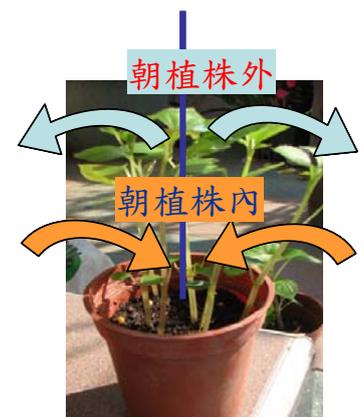
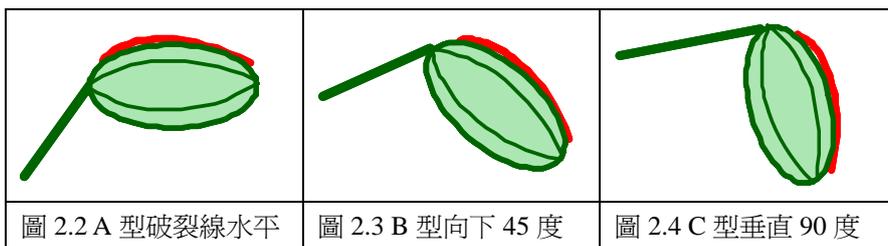


圖 2.1 植株內或外的定義

研究結果

1. 幾乎所有果實的破裂線都朝植株外生長，只有一個例外(表 2.1)。推測破裂線朝外生長，才有利於種子往外彈開，有利傳播。
2. 所有果實的破裂線都朝亮處生長，推測果實的破裂線向光有利於種子彈到陽光充足的地方，有利於植物生長。
3. 在 25 顆成熟果實中，果實破裂線水平(A 型)生長的有 4 個，向下 45 度(B 型)生長的有 14 個，垂直 90 度(C 型)生長的有 7 個。推測果實破裂線水平生長種子會往空中彈開，果實向下 45 度及 90 度比較有利於彈到合適的生長環境。

表 2.1 非洲鳳仙花果實破裂線生長的型態記錄表

日期	地點	編號	方向		光線的影響		破裂線生長型態 A:→; B:↘; C:↓	備註
			朝外	朝內	朝亮	朝暗		
10/28	陽明山	1	✓		✓		B	
"	"	2	✓		✓		B	後來爆了
"	"	3	✓		✓		A	
"	"	4		✓	✓		C	後來爆了
"	"	5	✓		✓		B	
"	"	6	✓		✓		C	
"	"	7	✓		✓		B	
"	"	8	✓		✓		B	
"	"	9	✓		✓		C	
"	"	10	✓		✓		B	
"	"	11	✓		✓		B	
"	"	12	✓		✓		B	
"	"	13	✓		✓		B	
"	"	14	✓		✓		B	
"	"	15	✓		✓		C	
"	"	16	✓		✓		A	
"	"	17	✓		✓		A	
"	"	18	✓		✓		B	
"	"	19	✓		✓		C	
"	"	20	✓		✓		B	
11/4	某西餐廳外	21	✓		✓		C	
"	"	22	✓		✓		B	
"	"	23	✓		✓		A	
"	"	24	✓		✓		C	
"	"	25	✓		✓		B	

研究三：果實成長時破裂線方向是不是就已經固定

(一) 同一顆果實生長的長時間連續觀察

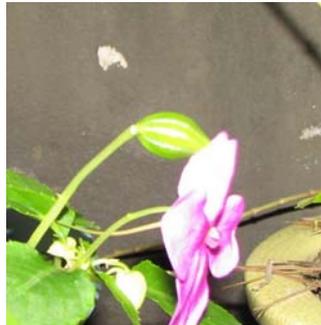
在做完成熟果實的野外觀察後，我很好奇果實破裂線是從小就朝植株外、向光生長嗎？所以我連續觀察果實由小到大的生長情形。

研究步驟：

1. 在頂樓陽台觀察兩顆小果實。
2. 每個週末用數位相機拍照一次，記錄同一顆果實不同時間的變化情形。

研究結果：

1. 和上一個研究結果相同，成熟果實的破裂線都會規律的朝植株外、向光處生長(圖 3.3，3.6)。
2. 但成長過程中果實的破裂線就不一定朝植株外生長(圖 3.2)，或向光生長(圖 3.5)。
3. 觀察發現即使在成長過程破裂線朝內(圖 3.2)或背光生長的果實(圖 3.5)，成熟時也會慢慢轉變方向，破裂線變成朝外、朝光生長(圖 3.3，3.6)。
4. 兩顆果實開始時一個是水平生長的(圖 3.1 果實 A)，一個是朝下生長的(圖 3.4 果實 B)，但是到後來成熟時都會舉高到植株頂端(圖 3.3，3.6)。

		
圖 3.1 果實 A (96.11.17) 果實朝上，破裂線朝外	圖 3.2 果實 A (96.11.25) 8 天後果實朝上，破裂線朝內	圖 3.3 果實 A (96.11.30) 13 天後果實朝上，破裂線朝外
		
圖 3.4 果實 B (96.11.17) 果實朝下，破裂線朝左	圖 3.5 果實 B (96.11.25) 8 天後果實朝下，破裂線朝右	圖 3.6 果實 B (96.11.30) 13 天後果實朝上，破裂線朝外

(二) 多顆果實生長的長時間連續觀察

發現果實會變動位置及方向，為什麼會這樣呢？為何果實成長時有些朝上有些朝下？果實成長時沒有固定的方式嗎？越觀察果實越發現許多無法回答的問題，我在網路上或書裡都找不到答案。因為只觀察了兩顆，而且太陽並非從固定方向照射過來，所以我在實驗室的環境下，作進一步的研究來確定這個現象。

此外，每週觀察一次間隔時間太長，為了更詳細瞭解，改為每天早晚各一次。我在家中窗台種一盆非洲鳳仙花。因為陽光只從窗戶射進來，因此這盆花所有的花及葉子面對陽光的那一面長得非常茂密(圖 3.7)。



圖 3.7 正面，打圓圈為觀察之果實

由於在室內種的花沒有蝴蝶來授粉，必須自己幫花授粉，才能有果實長出來，這時我才發現雄蕊與雌蕊不同時存在的秘密(圖 3.8)。自然老師給我看的影片 "The Private Life of Plants" 中，提到有些植物有防止自花授粉的方式，我想這就是它避免自花授粉的方式了。

				
雄蕊先出現	雄蕊脫落後	雌蕊才出現	從雄蕊取下花粉	將花粉沾到雌蕊柱頭上
圖 3.8 非洲鳳仙花的雄雌蕊				

研究步驟：

1. 在窗台種一盆花，三個月後 9 株植物共長出 13 個大的枝椏。
2. 從這盆花中找出 9 顆不同生長階段、大小不同的果實，編號 1~9 號，並在整盆的相片上標明每一個要觀察的果實(圖 3.7)。
3. 對編號 1 號到 9 號的果實，每個都拍一張相片，作為以後比較的基礎。
4. 每天對照相片以相同的角度對果實拍照，來比較觀察果實如何改變位置及方向。

研究結果：

1. 觀察照片顯示果實有一定的生長方式，非洲鳳仙花是腋生花，開花時花苞自葉腋抽出，挺升到植株頂端開花授粉(圖 3.9)，結果後果實的梗又往下彎曲垂下，果實在下側逐漸長大成熟(圖 3.9、3.12)，直到要爆裂前 3 天，果實的梗又會慢慢挺升舉到植株頂端(圖 3.11、3.14)，破裂線朝向植株外側。上舉的速度很快，幾乎半天就有很大的差別(圖 3.13、3.14)。

	3月9日	3月10日早上	3月10日晚上
4號果實			
	圖 3.9	圖 3.10	圖 3.11
5號果實			
	圖 3.12	圖 3.13	圖 3.14

2. 發現有些果實小的時候破裂線向植株內(圖 3.15、3.16、3.17)，果實長大後會翻轉過來，變成破裂線向外的情形(圖 3.18、3.19、3.20)，而果實小的時候破裂線向植株外，則果實長大後破裂線仍向外，因此這盆花的成熟果實破裂線都朝窗外陽光的方向。

	2號果實	4號果實	5號果實
破裂線向內			
	圖 3.15	圖 3.16	圖 3.17
破裂線向外			
	圖 3.18	圖 3.19	圖 3.20

3. 全部果實的相片記錄在附錄二。

研究四：成熟果實舉高破裂線朝外有無向光性

(一) 黑紗網環境實驗

我知道果實成熟時破裂線會抬高朝植株外側生長，這個現象是否受光線影響呢？老師和我安排一個實驗環境，來觀察光線對果實破裂線的影響。

研究步驟：

1. 架設實驗器材：鐵架隔成上下兩層，正中間掛一盞 60 瓦的鎢絲電燈泡，架子外面用黑紗網圍繞起來(圖 4.1)，以確保不受外面光線影響。
2. 花的擺放：上下層各放四盆花，每盆各挑五顆大、中、小的果實，梗上用油性簽字筆作紅色記號(圖 4.2)，方便辨識但不會讓梗增加重量，影響果實舉升的效果。
3. 實驗與對照：上層的花，光由下往上照，做為實驗組；下層的花，光由上往下照，做為對照組。
4. 照顧和記錄：用定時器控制每天早上 8 點到下午 5 點燈泡點亮，每天早上 8 點打開紗網澆水，並記錄拍照一次(圖 4.3)。



研究結果：

由於果實變化很快，在學校進行的實驗在週六、週日時無法記錄，許多果實在這段期間爆破(圖 4.4, 4.5)。另外，學校室內門窗緊閉空氣不流通，且燈泡光線不足或頻譜不對，實驗環境不理想使小的或中的果實無法正常成長而爆破，大的果實也提前爆破，因此在星期一(3月10日)回學校做記錄時，40顆觀察的果實只剩下2顆，無法對果實的向光性得到結論。

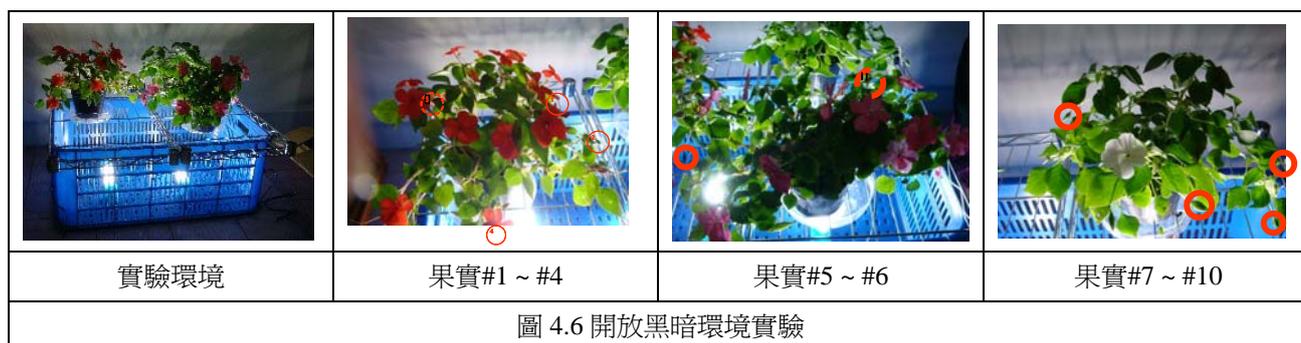


(二) 開放黑暗環境實驗

因為黑紗網實驗有空氣不易流通和週末無法記錄的缺點，所以將實驗環境改成家中陰暗的房間角落。三盆植物的光源都由下往上照射，觀察果實抬高破裂線朝外是否受光影響，如果破裂線朝下，而且果實不會挺高再破裂，就證明果實的破裂線有向光性。

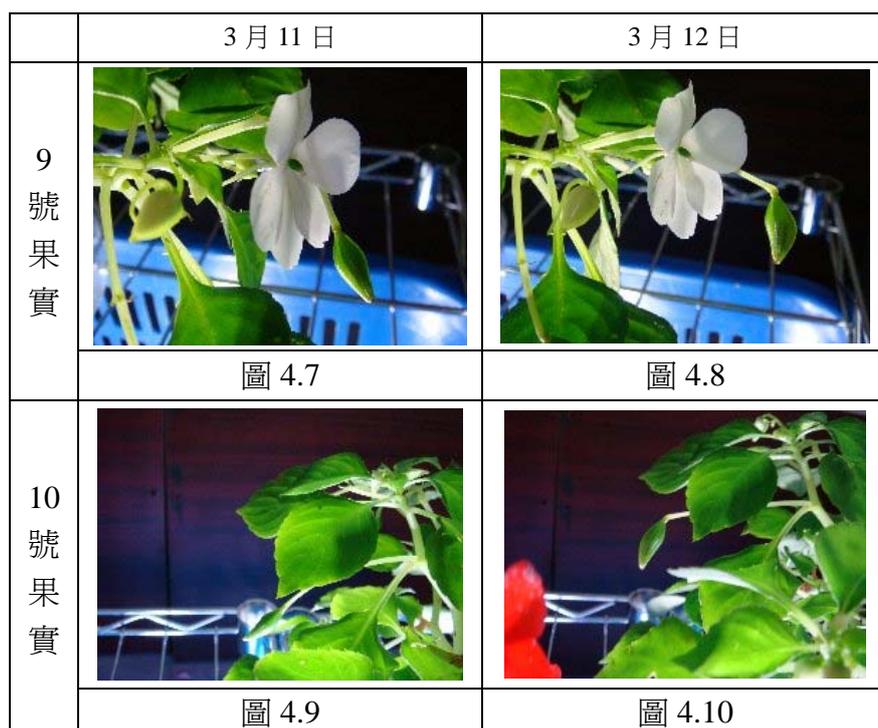
研究步驟：

1. 實驗器材：把鐵架放在塑膠籃上(圖 4.6)，窗戶打開，保持空氣流通。
2. 光源：塑膠籃裡面放兩盞 13 瓦的螢光燈向上照射，每盞相當於一盞 60 瓦鎢絲燈泡的亮度。
3. 鐵架上面放 3 盆不同顏色的花，使花的光線只來自下方。
4. 共挑選 10 顆果實進行觀察，每天晚上以相同方向用數位相機記錄一次。



研究結果：

1. 十顆果實從 3 月 10 日到 15 日之每日觀察記錄照片請見附錄三。
2. 果實破裂前仍然有舉高及破裂線由內(圖 4.7, 4.9)翻轉向外的現象(圖 4.8, 4.10)，雖然因為莖、葉受向光性影響有些微下垂的現象，讓果實舉高的情況較不明顯(仍有舉高)，但並沒有破裂線朝下的情形。實驗結果顯示成熟果實抬高破裂線朝外並非受光的影響。



研究五：果實抬高破裂線朝外是否受背地性影響

果實抬高並非受向光性影響，推論可能是背地性的影響，讓果實在快成熟時朝地心引力的相反方向舉高再爆開。使用相同的開放黑暗環境，維持兩盆植物的光源方向不變，只改變重力方向，觀察果實如果還是挺高再爆開，就證實這現象是受背地性影響。

研究步驟：

1. 在戶外先將兩盆非洲鳳仙花傾倒放一星期，使枝葉往上生長(圖 5.1)。
2. 實驗環境：在室內黑暗角落，把鐵架放在塑膠籃上，窗戶打開，保持空氣流通(圖 5.3)。
3. 光源：塑膠籃內放兩盞 18 瓦的螢光燈向上照射，每盞相當於一盞 60 瓦鎢絲燈泡的亮度。
4. 將步驟 1 的兩盆花倒轉方向，枝葉往下，放在鐵架上(圖 5.2)，使花的光源維持不變，但重力方向相反。
5. 共挑選 6 顆果實進行觀察，每天晚上以相同方向用數位相機記錄一次。



圖 5.1 在戶外莖葉往上長



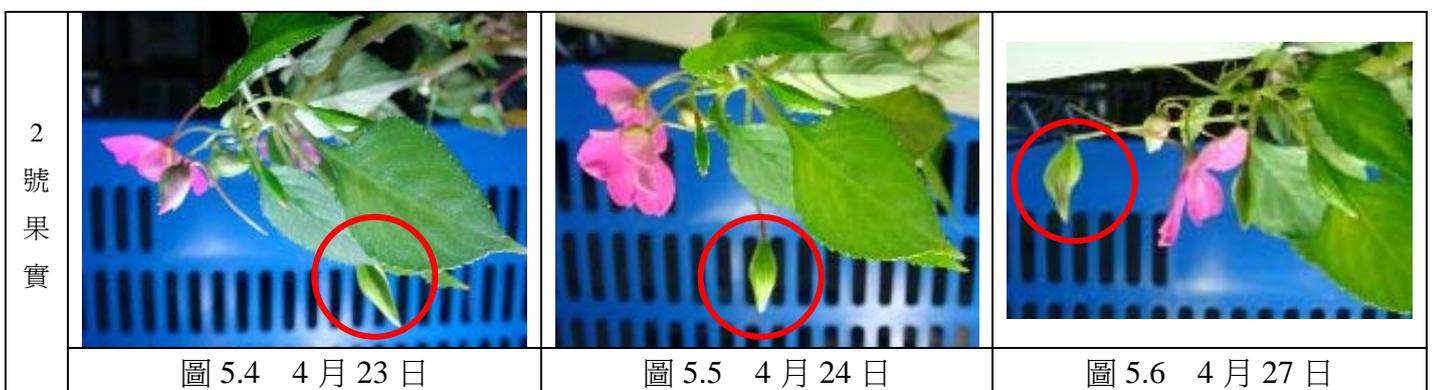
圖 5.2 在室內莖葉朝下



圖 5.3 光源安排在下面

研究結果：

1. 小果實皆受重力影響，由上往下垂(圖 5.5，5.8)。
2. 成熟果實破裂前仍然有朝地心引力的相反方向舉高及破裂線由內翻轉向外的現象(圖 5.6，5.9)，顯示果實抬高破裂線朝外受背地性影響。
3. 莖、葉受背地性影響有上舉的現象(圖 5.8，5.9)。



5 號 果 實			
	圖 5.7 4 月 23 日	圖 5.8 4 月 28 日	圖 5.9 4 月 30 日

研究六：果實如何彈射種子

(一)數位相機拍攝果實破裂過程

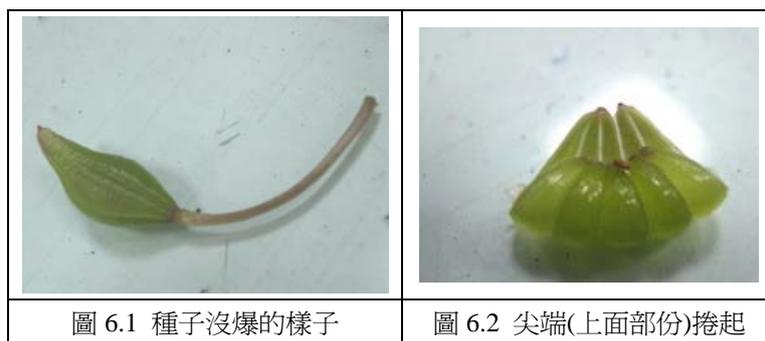
YouTube 上動態的影片，速度太快，如果能定格會比較容易觀察種子被彈出的情形。

研究步驟：

1. 觀察果實破裂的過程，種子如何彈出。
2. 用數位相機拍下果實破裂彈出種子的情形。

研究結果：

1. 果實破裂得非常快，數位相機無法拍到果實如何破裂並噴出種子的詳細過程。
2. 果實爆開時，由尖端往梗的方向捲起來，捲起的力量把種子往外彈出去(圖 6.2)。
3. 捲起的果實尖端直直的，梗的部分會向內捲。
4. 但是果實破裂後種子如何彈出？因為破裂速度太快，沒有辦法看出。



(二)果實破裂過程的高速攝影

果實彈射種子的速度太快，無法觀察種子如何彈出，因此用高速攝影機來拍果實破裂情形。

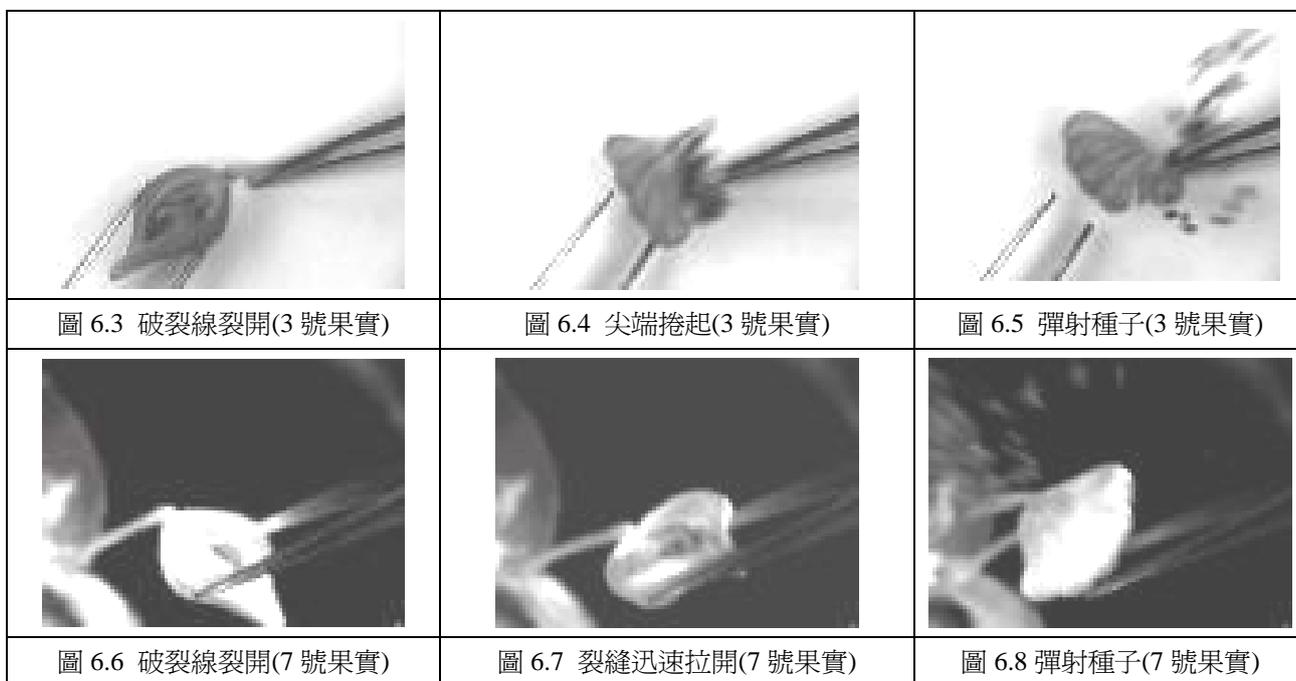
研究步驟：

1. 拍攝兩組，一組 4 顆是採下果實放在白色桌面上，用夾子固定，在室內拍攝。另一組 4 顆是在戶外直接拍攝植物上的成熟果實。

2. 用兩盞 18W 的桌燈很靠近的照明。
3. 高速攝影機架在三腳架上，用最大光圈，拍攝速度每秒 1000 張。
4. 將筆記型電腦連接到相機，開始拍照後，用鑷子夾破果實，再停止拍照。
5. 使用影像軟體找出破裂前後的圖片。

研究結果：

1. 果實皆如預期地從破裂線裂開(圖 6.3，6.6)。破裂線裂開一條縫以後，果實瓣膜非常快速的拉開(圖 6.7)。
2. 果實破裂後從尖端往梗的方向快速捲起(圖 6.4)，將種子往破裂線相反方向彈射出去(圖 6.5，6.8)。也就是說破裂線朝植株外側裂開，但種子卻朝植株內側散播。
3. 果實破裂後捲起的速度非常快，只要 0.002 秒，用每秒 1000 張的速度拍到的種子還是不清楚(圖 6.5，6.8)。
4. 8 顆果實比較詳細的破裂過程請見附錄四之果實破裂過程高速攝影擷取的圖片。



研究七：非洲鳳仙花果實的外型差異

知道這些非洲鳳仙花果實破裂的秘密後，我還是有很多疑問，例如

1. 果實為何一定從破裂線破裂？
2. 破裂線和其他 4 條線的構造不同嗎？
3. 果實內外皮細胞真的長得不一樣嗎？

因此我觀察果實的外型變化及構造來找答案。首先我量測大中小果實的長度、直徑、重量、體積等以觀察果實由小到大產生的變化。

研究步驟：

1. 採集大、中、小果實各 10 顆，總共 30 顆。
2. 每顆果實用游標卡尺量測長度和直徑(如圖 7.1)，用電子秤量重量。
3. 果實形狀不規則，沒有辦法直接量體積，所以我用 15ml 試管，後面貼刻度，把果實浸到水中再量體積(如圖 7.2，2ml 讓水升高 1.2cm)。
4. 從重量和體積計算果實的密度。



圖 7.1 量果實的長度和直徑

圖 7.2 量果實的體積

研究結果：

1. 所有果實的詳細數據資料在附錄五。果實長大後，長度變長，中間變肥大。果實由小到大，最大直徑增加的幅度(4mm)比長度還要大(2.85mm)，因此果實長大後會變胖。
2. 大果實平均長度 17.04mm，平均最大直徑 8.49mm，平均重量 0.365g，平均體積 0.63ml，平均密度 0.594(表 7.1)，所以果實會浮在水面。

表 7.1 大中小果實平均值

	長度 mm	最大直徑 mm	重量 g	體積 ml	密度
小果實平均	14.19	4.49	0.14	0.18	0.855
中果實平均	15.92	6.3	0.215	0.30	0.825
大果實平均	17.04	8.49	0.365	0.63	0.594

3. 從每組果實資料的平均值，和各階段增加的比例(表 7.2)，可以知道果實在各個階段外形的變化。從表 7.2 和圖 7.3 可發現，果實從小到大，長度增加不多，直徑增加 1.89 倍，重量增加 2.61 倍，體積增加 3.57 倍，但是密度反而變小成 0.69 倍。

表 7.2 果實在各個階段外形的變化的比例

	長度	直徑	重量	體積	密度
中果實/小果實	1.12	1.40	1.54	1.71	0.96
大果實/小果實	1.20	1.89	2.61	3.57	0.69

4. 發現小果實比較緊密，所以密度大；長大後，雖然果實細胞充滿水份，但因為直徑增加、體積增加，但是重量增加沒有體積增加的多，所以反而密度變小(圖 7.3)。
5. 小果實浸到水中時試管內的水升高的刻度都很小，沒有辦法再細分，所以量出的體積會有比較大的誤差。

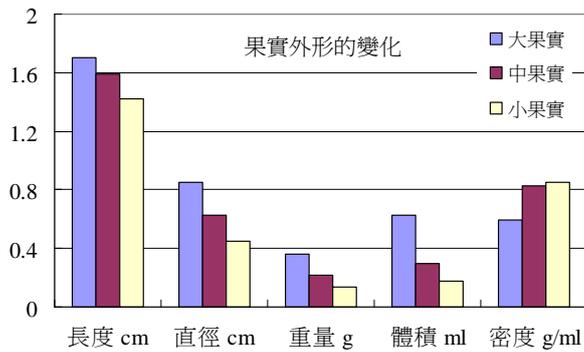


圖 7.3 非洲鳳仙花果實在各個階段外形的變化

研究八：用顯微鏡觀察果實的構造

(一) 顯微鏡觀察未成熟果實切片

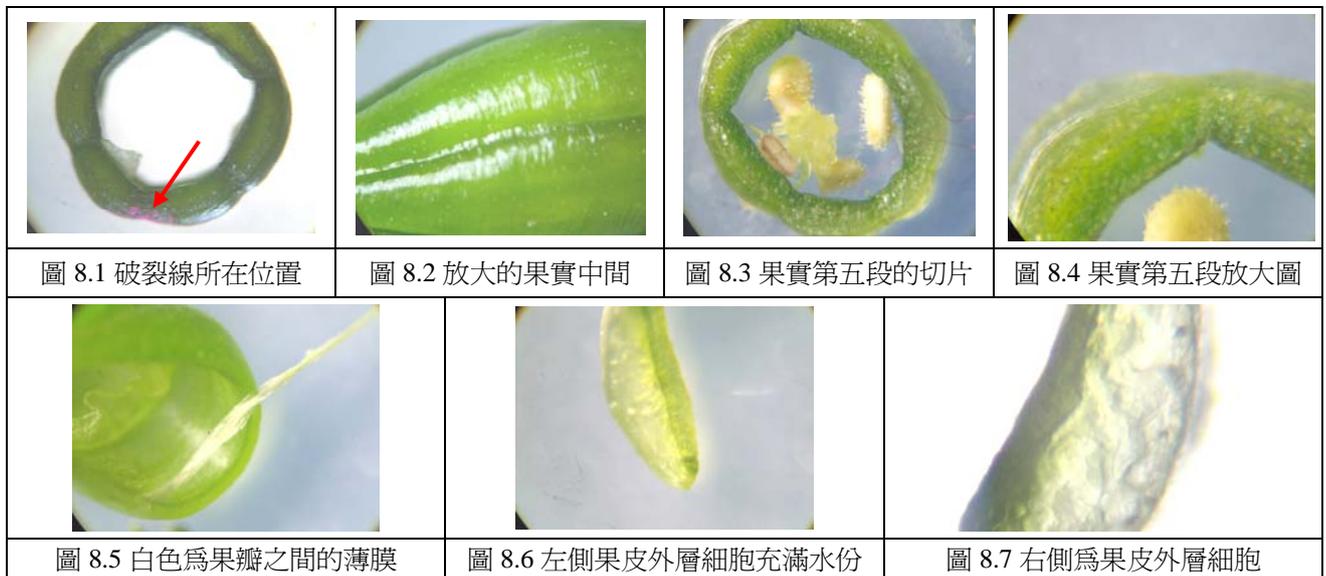
我用解剖顯微鏡觀察果實的內外層細胞是否不同，破裂線和其他 4 條線的構造是否不同。哥哥教我使用解剖顯微鏡觀察果實。我用新的美工刀去切果實，結果切得爛爛的。老師教我用兩片刮鬚刀片合在一起切，成熟果實一碰就破，因此我拿未成熟果實來做切片觀察。

研究步驟：

1. 採集 9 顆果實。
2. 把果實各部分切下放在顯微鏡下觀察。

研究結果：

1. 小果實顏色比較深綠；成熟後變成淺綠半透明，可能是成熟時細胞變大充滿水份(圖 8.6)。
2. 未成熟果實的橫切片看不出破裂線部份和其他 4 條線的構造是否不同，但是破裂線兩邊的果瓣比較短，另外三個果瓣比較長(圖 8.1)。
3. 橫切片的果實還沒成熟，所以種子是白色的(圖 8.3)，成熟後會變成深褐色。
4. 果實外層細胞比較透明，構造比較稀疏，充滿水份；果皮外層細胞也比內層細胞還要厚，內層細胞構造比較緊密(圖 8.6 和 8.7)，這樣果實裂開時，才會內層向內彎。
5. 果實破裂後，果瓣之間的薄膜也會破裂捲成一條(圖 8.5)。



(二) 成熟果實的果皮觀察

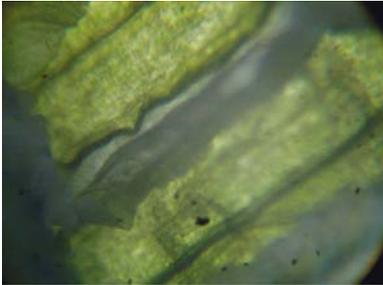
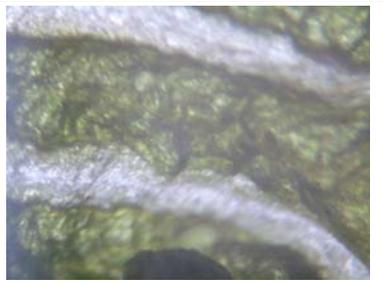
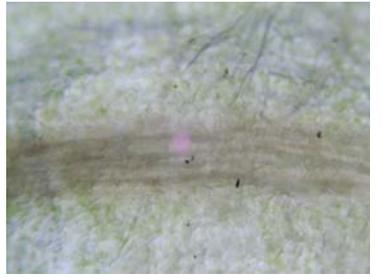
成熟果實稍碰觸就會爆破，因此無法切片觀察，只能用未成熟果實作切片；而且果實內層表皮極薄，外層細胞充滿水份，一切就爛掉，無法分離內外層組織，因此就用成熟果實破裂後乾燥的果皮來觀察，或用刀片將外層組織含水部份刮掉，取得內層組織來觀察。為了儘量不破壞內層組織，外層組織的細胞不一定清除得很乾淨。

研究步驟：

1. 成熟果實破裂後的乾燥果皮放在顯微鏡下觀察。
2. 用刀片將成熟果實的外層組織刮掉，再放在顯微鏡下觀察。

研究結果：

1. 比較外層組織(圖 8.6)與內層組織(圖 8.12, 8.13)，發現外層皮厚而且充滿水份，用力拉開捲曲的果皮瓣膜時，外層組織會橫向斷裂，乾燥以後缺水的組織會皺縮在一起(圖 8.10)。內層皮薄而且軟，都是長條型纖維組成，或許是內層組織沒有伸縮性，因此果實被拉著往內捲。
2. 非洲鳳仙花成熟的果瓣與果瓣之間的薄膜非常地薄(圖 8.11)，在果實裂開時也被撕裂了。
3. 非洲鳳仙花成熟的果實外部那層皮厚而且充滿水分，裡面的那層皮雖然薄而且軟，但都是長條型纖維，果實破裂時剛好拉住瓣膜，使果實向內捲起來。因此它的彈射方法與鳳仙花的果實不一樣，網路資料說鳳仙花「當果皮內部成熟的時候，果皮就會慢慢的乾燥，外部那層軟皮會向裡面彎，裡面硬且厚的那層皮就會收縮起來」。

		
圖 8.8 果實破裂後乾燥的果皮，白色為薄膜，上面是尖端	圖 8.9 果實內層是長條形纖維	圖 8.10 果實外層脫水後組織皺在一起
		
圖 8.11 果實的薄膜	圖 8.12 外層組織刮掉後內層組織	圖 8.13 中間纖維放大圖

研究九：花朵和果實構造的對應關係

用解剖顯微鏡觀察無法看出：果實為何一定是從破裂線破裂？破裂線和其他 4 條線的構造有不同嗎？所以我改為觀察花朵的構造與果實之間的關係。

研究步驟：

用數位相機放大拍照，來觀察花朵與果實的構造。

研究結果：

1. 發現花與果實有對應關係：每朵花有五瓣，果實五瓣(雌蕊子房五室因此小果實就有五個果瓣，圖 9.1)，主瓣在破裂線上方(圖 9.2)，主瓣單獨一片，不與其他花瓣相連(圖 9.3)，其餘的花瓣都是兩兩成對(圖 9.4)，兩片花瓣其實是相連在一起並未分離(圖 9.5)，四片花瓣再由花距連在一起(圖 9.6)。從圖可以知道花的主瓣跟其他四瓣不同，推論破裂線所在的果瓣與其他四瓣之間的連結應該比較不緊密，從破裂的果皮可以觀察到破裂線所在的果瓣與其他果瓣稍為分離(圖 9.9)，因此破裂線和其他 4 條線的構造應該會不一樣。可惜成熟果實很容易碰裂，也沒有高倍的顯微設備，很難從切片觀察證實。
2. 從果實的發育來看，果實長出來時五個瓣膜就已經大小不一樣，初生果實背部最彎曲也最長，是破裂線(圖 9.7)，五個果瓣生長速度不同，成熟果實破裂線的那一瓣長得最長(圖 9.8)，長得越長細胞的壓力一定越大，推測破裂線所在的果瓣承受的拉力也比其他果瓣大，所以果實一定是從背部最長的那一條線破裂。
3. 由以上兩點可以知道為什麼果實一定從破裂線破裂。

		
圖 9.1 初生的果實就有 5 個果瓣	圖 9.2 花最上一瓣為主瓣	圖 9.3 花的主瓣
		
圖 9.4 其餘花瓣都是兩兩成對	圖 9.5 兩片花瓣相連並未分離	圖 9.6 四片花瓣由花距連在一起
		
圖 9.7 初生果實背部的破裂線	圖 9.8 破裂線的那一瓣長得最長	圖 9.9 破裂線的果瓣與其他果瓣分離

研究十：種子可以彈多遠？

知道果實破裂的部位、方向及構造後，我想知道種子可以彈多遠。

研究步驟：

- 1 採集 18 顆果實，將分格盒(共 32 格)每格底下墊衛生紙，滴水保持潮濕，把果實分格放，編號，拍照(圖 10.3)。
- 2 每個果實梗留約 1cm，先用衛生紙吸乾水分，再用電子秤秤重，並記錄(圖 10.4)。
- 3 在圓圈圖中間放一個吊桿，頂端掛一個長尾夾，離地 10 公分，清理場地(圖 10.5)。
- 4 將果實的梗用長尾夾夾住，用鑷子將果實夾破，記錄種子分布，再清理場地，重覆實驗(圖 10.5，10.6)。
- 5 整理數據，畫圖。

實驗過程相片

		
圖 10.1 製作場地	圖 10.2 寫上距離	圖 10.3 果實放分格盒，保持潮濕
		
圖 10.4 非洲鳳仙花果實秤重	圖 10.5 夾破非洲鳳仙花果實	圖 10.6 種子彈出，記錄彈出距離

研究結果

1. 全部 18 顆果實共 829 顆(其中 186 顆沒彈出來)，全部種子的彈射距離的數據在附錄六。
2. 圖 10.7 是彈出的 643 顆種子彈出後分布的距離。

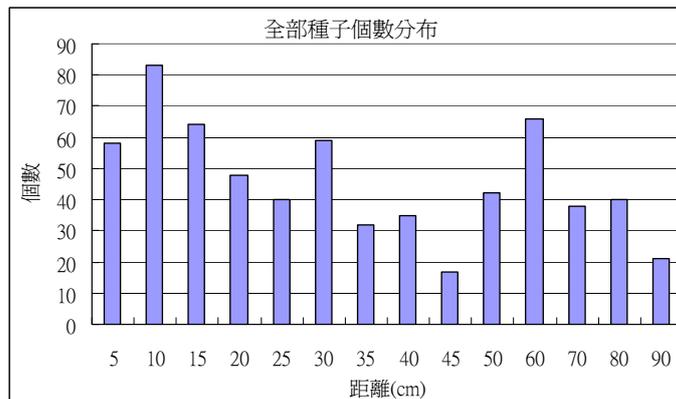


圖 10.7 全部 643 顆種子彈射距離分佈圖

3. 最多種子被彈射到 5-10 公分的範圍內，其次是 50-60 公分，再其次是 10-15 公分(如表 10.1)。

表 10.1 種子彈射距離分析

	個數最多個	個數第二多	個數第三多
彈出距離	5~10 公分	50~60 公分	10~15 公分
個數	83	66	64
個數百分比	13%	10%	10%

4. 種子彈開時有一半會在花的附近 30 公分以內(55%)，但是有三分之一(29%)會彈得離花比較遠，彈在 45~80 公分，因此種子彈開大部分在離果實 1 公尺以內。
5. 以上是將果實吊在離地 10 公分的吊杆上的情形，後來觀察窗台的非洲鳳仙花，植株最高約 35 公分，種子最遠彈到 192 公分處，如果沒有障礙物，這盆花的種子可以散佈在約 12 平方公尺的面積內，推測自然狀況下植株高度不一樣，彈射的遠近會不一樣。

研究十一：果實的彈力有多大

我觀察窗台前的花，發現在自然破裂下，果實可以把種子彈到 75 公分高，或 192 公分遠，到底果實的彈力有多大？

(一)以小吊飾測量彈力

研究步驟：

1. 使用 0.95g 重的小吊飾作為重物。
2. 讓成熟果實將小吊飾彈出，擺放的位置有 3 種，如表 11.1。
3. 用鑷子夾破果實，記錄彈射距離。

表 11.1 果實與吊飾的位置

	果實位置	破裂線方向	小吊飾位置	彈射距離 cm
種類 1	平放	朝上	放破裂線上方	23
種類 2	平放	朝右	放破裂線右方	2
種類 3	直立	朝右	放破裂線右方	2



圖 11.1 重物放上方

圖 11.2 重物放右方

圖 11.3 重物放右方

圖 11.4 重物沒彈出去

研究結果：

1. 實驗結果顯示，把吊飾放在破裂線上，吊飾會被彈得最遠(23 公分)，等於 40 公斤的人把一個 108 公斤的人推 23 公分遠，或是一個 40 公斤的人把同重量的人推 62.1 公分遠。那這力量有多大呢？我用推拉力計將小吊飾向前彈出 23cm，發現需要 175g 的力量(如圖 11.8)。
2. 把吊飾放在破裂線右方時，因為吊飾沒有和果實緊密接觸，吊飾不會被彈出。

(二)以深色塑膠蓋測量彈力

因為吊飾和果實沒有辦法緊密接觸，我改良實驗，改用深色塑膠蓋放在果實上來測量彈力。

研究步驟：

1. 量尺擺在場地圖中間(圖 11.5)，用 0.10g 的深色塑膠蓋蓋住成熟的果實(圖 11.6)。
2. 分別夾破 10 顆果實，觀察深色蓋彈出的垂直高度和水平距離(表 11.2)。

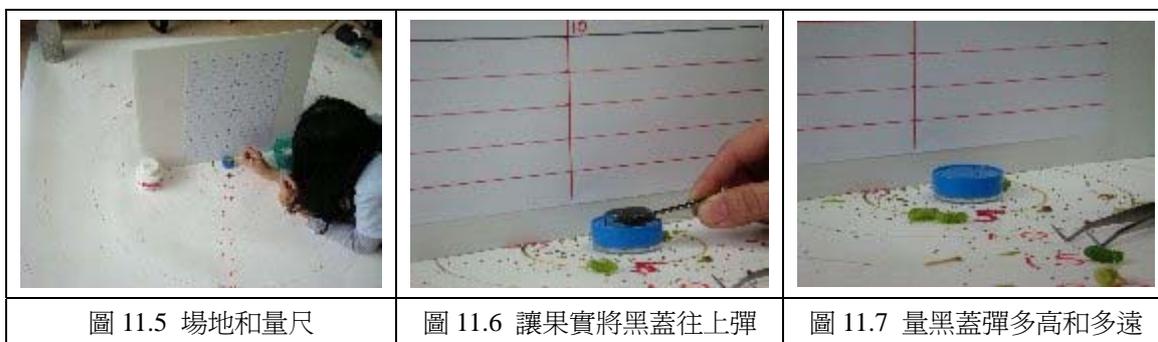
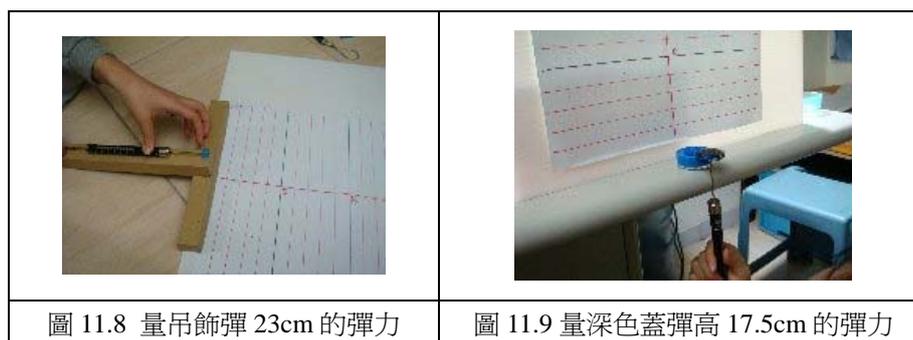


表 11.2：10 顆果實將深色蓋彈出的垂直高度和水平距離

果實編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
垂直高度 cm		4	3	10	2	2	2	2	4	2
水平距離 cm	10	17	0	7	2	5	0	5	7	5
彈射距離 cm	10	17.5	3.00	12.2	2.83	5.39	2.00	5.39	8.06	5.39

研究結果：

1. 實驗結果顯示，果實的彈力最大可把重物彈 17.5cm(表 11.2)。深色蓋重 0.10g，我用推拉力計將深色蓋向上彈高 17.5cm，發現要 210g 的力量(如圖 11.9)。
2. 由實驗一和實驗二，果實的最大彈力約為 195g。



研究十二：果實彈射種子如何影響植株的生長型態

我知道非洲鳳仙花很聰明的設計巧妙的機制把種子彈出去，小小一顆 0.36 公克左右的果實彈力很大，有辦法把種子彈到 2 公尺遠的地方去。那麼，如果沒有這些設計，種子擠在一起，植物會怎麼生長呢？

研究步驟：

1. 用同樣大小的花盆，一盆種植多棵非洲鳳仙花作為實驗組，另一盆種植一棵作為對照組。
2. 觀察兩盆植物，比較葉子和枝極的生長情形。

研究結果：

結果發現實驗組的植物會拼命往上長，長得高但較細，葉子比較小(圖 12.1 左)；而對照組長得比較矮，但葉子長得比較大，而且矮矮的植株就開始長出分枝(圖 12.1 右)。對照組應該是沒有競爭陽光的對手，所以不必長高向上爭取陽光，而實驗組得儘量長高爭取上面的光源。



圖 12.1 左邊實驗組和右邊對照組的生長比較

伍、討論與結論

- 一、找出果實固定會破裂的部位，就是背部最長的那條線，我把它稱為破裂線。
- 二、觀察發現果實破裂線都是朝植株外、朝光亮處生長，本來推測是有利於種子彈到外面有陽光的地方，但後來進一步的研究發現並非如此。
- 三、發現果實生長過程果實位置及破裂線的方向會改變，授粉後的小果實會下垂，等到成熟要爆裂的前三天左右梗再舉起到頂端；下垂時破裂線方向不管朝植株內或朝植株外，到果實成熟再舉起來時，都會轉成朝植株外的方向。
- 四、因為成熟果實破裂線朝外也朝光亮處，所以推測是受陽光的影響，但是向光性研究證實果實破裂線的生長方向不是受光的影響。
- 五、不是受陽光影響，難道是受地心引力影響嗎？果然背地性研究證實了未成熟果實受地心引力影響而下垂，成熟果實抬高破裂線朝外則有背地性。這一系列的研究讓我知道非洲鳳仙花果實破裂線的秘密。
- 六、研究果實如何彈射種子時由於高速攝影機的幫助，總算清楚看出果實是朝破裂線相反的方向彈射種子。原本以為果實破裂線朝外向光，有利於種子彈到陽光充足的地方。網路上說：「非洲鳳仙花雖然是多年生的花，但是最怕夏天的大太陽，較喜歡濕潤的環境，花性喜生長在溫暖陰濕有陽光的環境，太過於陰濕或曝曬都是不行的。」因此，破裂線朝光，種子再朝破裂線相反的方向彈射，就可以避免強烈的陽光直射。好聰明的設計啊！
- 七、研究非洲鳳仙花果實的外型，發現果實長大時密度變小，因為它的長度增加、最大直徑增加，使體積增加得比重增加還快，因此使破裂線果瓣瓣膜的細胞壓力越來越大。
- 八、顯微鏡切片觀察，發現成熟果實的外層細胞與內層細胞不一樣，外部那層皮厚而且充滿水份，裡面的那層皮薄而且軟，都是長條型纖維組成，當果實裂開時果瓣被迅速拉著往內捲，捲縮的力量將種子彈出去。
- 九、我從觀察花朵和果實構造的對應關係，推測破裂線所在的果瓣承受的拉力比其他果瓣大，且可能與其他部分較不緊密連結，這就是為什麼果實一定從破裂線破裂的原因。
- 十、發現吊在離地 10 公分吊杆上的果實，種子最遠可以彈到 80 公分遠，植株越高種子彈得越遠。綜合前面研究發現，成熟果實抵抗地心引力舉高，可以讓種子彈射得更遠。
- 十一、果實彈射種子的力量很強，約有 195g 的力量，以一顆非洲鳳仙花果實重 0.36g 來算，這是它本身重量的 541 倍呢！
- 十二、如果沒有這麼強的彈力，把種子彈遠分散開，聚在一起的植株就會長得高高細細的，以競爭陽光。

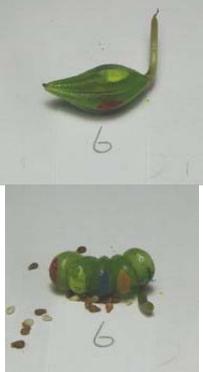
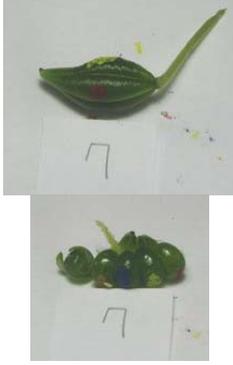
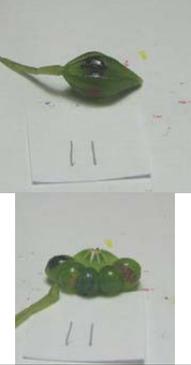
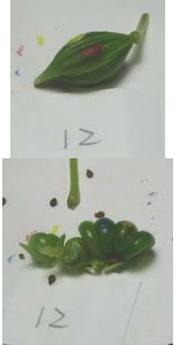
「需要陽光又不能全日曬」的非洲鳳仙花以這麼精巧的果實彈射機制幫助自己繁殖，真是令人嘆為觀止啊！

陸、參考資料

1. 李惠珠(1991)。花草的神奇奧妙，護幼社文化出版，第 38~39 頁。
2. 趙翎雅、宋心慈、郭佩含、黃舒瑜 (2003)。《鳳仙花的彈子神功》，中華民國第 43 屆中小學科學展覽國小組生物科參展作品。
3. 蘇桂瑢 (2003)。《風中奇緣—桃花心木種子的傳播》，第二屆旺宏科學獎優等獎參展作品。
4. 楊顯聯。《把種子散播到遠處》，小學科學“新課程創新與發展”教學設計送評作品。
5. 黃鈺庭、顏茹旋、蔣沛恩、何心 (2005)。《非洲鳳仙花的開花研究》，中華民國第四十五屆中小學科學展覽會國小組自然科參展作品。
6. 鄭瑞杰 (2005)。《植物向光性的訊息傳導》，中華民國第四十五屆中小學科學展覽會高中組生物(生命科學)科參展作品。
7. 農業知識入口網 (2007)。kminter.coa.gov.tw/knowledge/knowledge_cp.aspx?ArticleId=91758&ArticleType=D&CategoryId=A

柒、附錄資料

附錄一 鳳仙花果實都有固定的破裂的線

				
果實 1 破裂前後	果實 2 破裂前後	果實 3 破裂前後	果實 4 破裂前後	果實 5 破裂前後
				
果實 6 破裂前後	果實 7 破裂前後	果實 8 破裂前後	果實 9 破裂前後	果實 10 破裂前後
				
果實 11 破裂前後	果實 12 破裂前後			

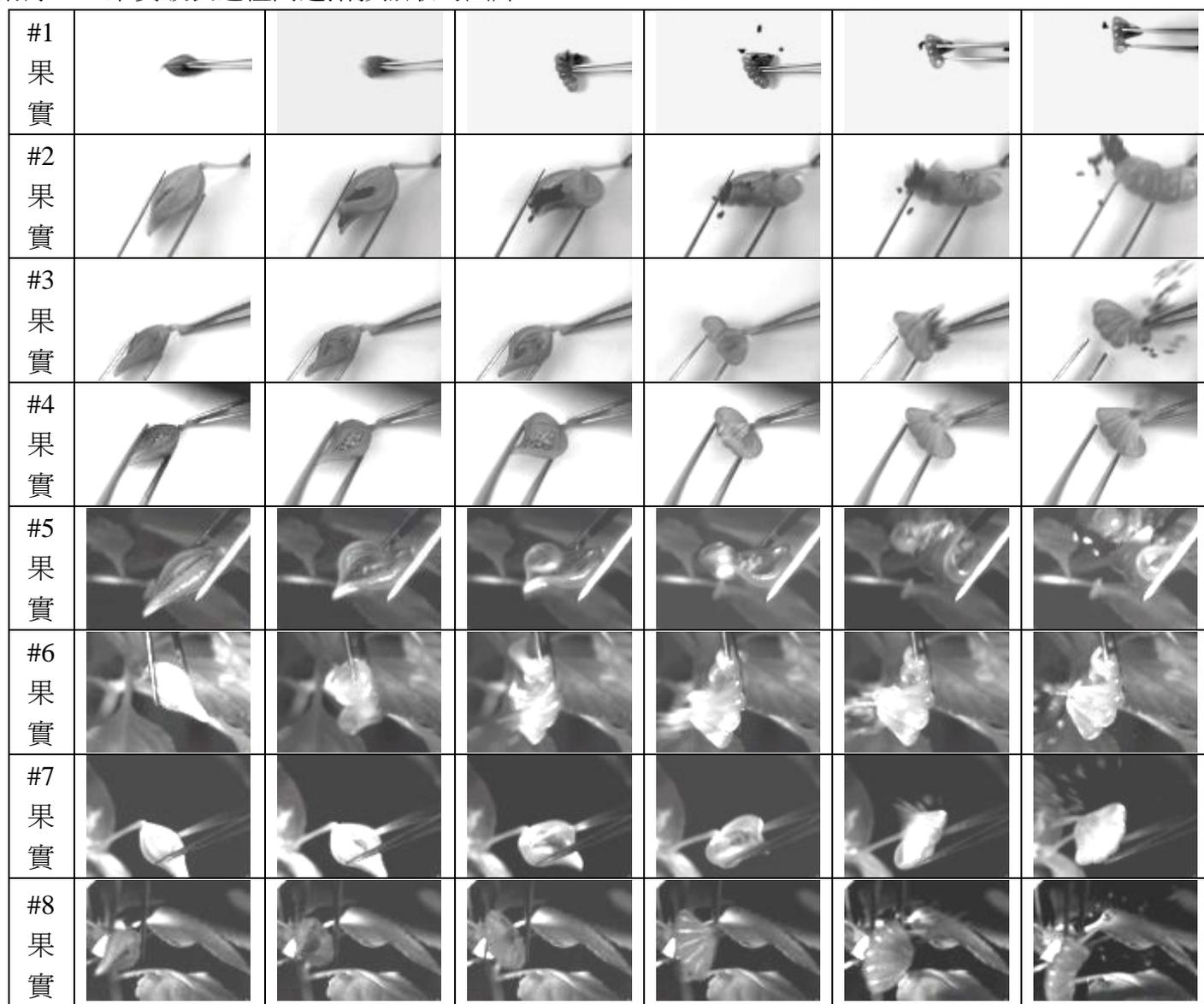
附錄二 九顆果實從 3 月 9 日到 14 日之日夜觀察記錄照片

	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9
03 09									
03 09									
03 10									
03 10									
03 11									
03 11	已爆裂								
03 12									
03 12			已爆裂						
03 13					已爆裂				
03 13									
03 14		已爆裂		已爆裂					

附錄三 十顆果實從 3 月 10 日到 15 日之每日觀察記錄照片

	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
03 10										
03 11										
03 12										
03 13										
03 15										

附錄四：果實破裂過程高速攝影擷取的圖片



附錄五：大中小 30 顆果實的外形測量數據

果實編號	大果實					中果實					小果實				
	長度 mm	最大直徑 mm	重量 g	體積 ml	密度	長度 mm	最大直徑 mm	重量 g	體積 ml	密度	長度 mm	最大直徑 mm	重量 g	體積 ml	密度
1	15.4	8.1	0.30	0.50	0.600	16.2	6.2	0.25	0.33	0.750	9.5	4.1	0.10	0.08	1.200
2	18.6	9.2	0.50	0.75	0.667	18.2	7.2	0.30	0.50	0.600	14.0	4.7	0.10	0.17	0.600
3	18.3	9.5	0.45	0.50	0.900	14.8	5.7	0.10	0.33	0.300	12.5	5.2	0.15	0.33	0.450
4	17.6	8.1	0.30	0.67	0.450	15.3	5.9	0.25	0.33	0.750	15.8	4.6	0.20	0.17	1.200
5	18.5	8.5	0.30	0.67	0.450	13.3	6.5	0.15	0.33	0.450	13.0	5.2	0.15	0.17	0.900
6	16.4	9.4	0.40	0.67	0.600	16.0	7.0	0.20	0.33	0.600	12.9	4.4	0.10	0.17	0.600
7	15.4	7.9	0.35	0.50	0.700	17.5	6.2	0.25	0.17	1.500	12.9	4.2	0.10	0.17	0.600
8	15.9	7.7	0.30	0.67	0.450	15.8	5.8	0.20	0.17	1.200	14.3	4.3	0.10	0.17	0.600
9	16.6	7.9	0.35	0.67	0.525	14.9	6.6	0.25	0.17	1.500	19.7	3.6	0.2	0.17	0.120
10	17.7	8.6	0.40	0.67	0.600	17.2	5.9	0.20	0.33	0.600	17.3	4.6	0.20	0.17	1.200
平均	17.04	8.49	0.365	0.63	0.594	15.92	6.3	0.215	0.30	0.825	14.19	4.49	0.14	0.18	0.855

附錄六：非洲鳳仙花種子彈射的距離

果實編號	距離(cm)	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-60	60-70	70-80	80-90	沒爆出來	種子總數
	重量(g)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm			
1	0.35	5	6	6	2	3	4	3	3	3	5	6	3	5	0	8	62
2	0.3	1	2	1	1	1	1	1	2	1	4	3	1	2	0	17	38
3	0.35	4	5	3	3	3	2	3	2	1	5	7	5	2	2	20	67
4	0.4	2	0	4	0	0	2	3	1	2	1	2	1	2	0	16	36
5	0.35	0	2	1	0	0	3	0	1	0	2	6	3	1	2	1	22
6	0.25	0	1	0	0	0	0	0	0	3	2	6	4	6	0	0	22
7	0.35	4	8	4	6	2	4	3	0	0	0	3	0	3	1	22	60
8	0.45	3	1	6	3	2	1	3	2	0	1	2	3	2	2	5	36
9	0.4	7	3	0	4	3	5	3	4	1	5	6	2	7	0	0	50
10	0.55	1	5	3	1	1	3	0	2	2	2	10	9	3	3	4	49
11	0.35	2	1	1	1	3	0	1	1	0	1	6	4	3	10	3	37
12	0.3	5	14	10	5	10	5	2	2	0	0	0	0	0	0	1	54
13	0.35	0	0	4	3	1	3	2	4	0	2	3	1	2	0	8	33
14	0.25	2	9	6	2	1	6	1	0	1	0	0	0	0	0	17	45
15	0.35	5	5	5	3	4	7	6	5	1	6	2	0	0	1	0	50
16	0.4	6	6	2	4	2	1	0	1	1	2	1	0	0	0	31	57
17	0.4	7	8	4	4	1	4	0	0	0	1	0	0	0	0	25	54
18	0.3	4	7	4	6	3	8	1	5	1	3	3	2	2	0	8	57
	合計	58	83	64	48	40	59	32	35	17	42	66	38	40	21	186	829
	百分比	9	13	10	7.5	6.2	9.2	5	5.4	2.6	6.5	10	5.9	6.2	3.3		

* 彈出來的種子總共有 $829-186=643$ 個種子

* 百分比 = 個數 / (種子總數 - 沒爆出來)

【評語】 081540

內容有趣，作者參與度高，有信心，實驗器材如高速攝影機需有師長或家長協助，了解非洲鳳仙的彈射功能及方向，建議延續比對其他品種鳳仙花的差異。實驗設計符合小學生之程度。