

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

第三名

030320

知「朱」網，扶桑花訊—探討朱槿的花開花閉

學校名稱：新北市立義學國民中學

作者： 國二 王鏡沅 國二 麻彧暘	指導老師： 陳又君 徐燕華
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：朱槿、蕊柱、花瓣

摘要

這個研究主要在探討朱槿花開與花閉的力量，從何而來？如何控制？從實驗中發現：離開母株的花苞，其開花幅度與重量，和留在母株上的花苞相較並無差異。由花的解剖及養分分析得知：花瓣與蕊柱，從花苞開放後便不再需要母株供應。動作的機制則由花瓣及蕊柱控制；花瓣的基部和中央比邊緣厚，當呼吸作用產生水，水分因分布不一，會產生不同的支撐力與張力，造成花開和花閉。屋瓦狀排列的花瓣，力量會彼此牽制，延遲花開花閉的時間；特化的蕊柱能儲存水分，可加速花開但延遲花閉。減緩花閉的速度有利於增加傳粉者來訪的機會，而花閉所形成的空間能保水，防止子房壁乾裂，使胚珠順利發育。蕊柱及花瓣的特殊結構則可設計為仿生的對象，應用於開關的設計。

壹、 研究動機

那天，放學時瞥見一朵朱槿躺在路邊，皺巴巴的花苞好不可憐！隨手拾起，帶回家擱在書桌。沒想到隔天花竟然開了！不免好奇：「既然它已離開枝頭，墜落在地，開花的力量從何而來？」。於是仔細觀察花瓣，發現花開時由蜷縮到外翻，花閉時再由外翻至蜷縮。且花朵凋謝時，花瓣不會一片片掉落，因此聯想起動物藉由肌肉的收縮與舒張產生動作。那麼，植物的「動作」如何產生呢？

貳、 研究目的

- 一、 瞭解朱槿開花過程中花與母株之間的關係
- 二、 探討花瓣的結構如何影響花開及花閉

參、 研究設備及器材

生長箱、電子秤、本氏液、碘液、腳架、單眼相機、分析軟體 Image J

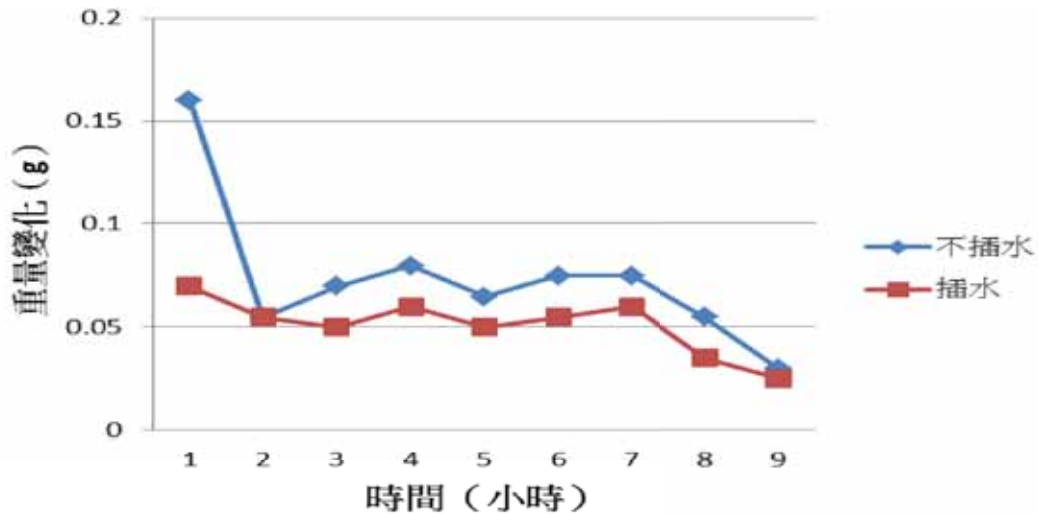
肆、 實驗過程、方法與結果



一、花開與母株的關係

(一) 了解水的供應是否影響花的重量

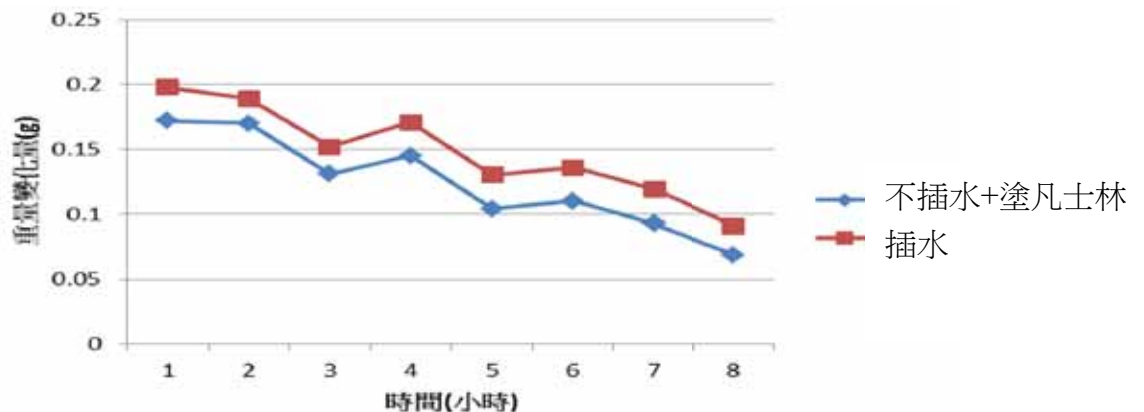
- 1 前言：想要了解花開時，母株是否提供水分？如果會，則插入水中的花朵，其重量的變化應較沒插入水中者少。
- 2 步驟：取兩朵花，一朵插入水中，另一朵不插水。
- 3 結果：



圖中，花的變化在第 1 到第 2 個小時為花開期，第 3 到第 6 個小時為盛開期，第 7 到第 9 個小時為花閉期。隨時間推移記錄花朵重量的變化。結果顯示不插水的朱槿摘下後，兩小時內重量減輕較多，但盛開到花閉期間不管是否插入水中，其重量減輕的變化都很小。因此推測前兩個小時水分由花梗斷口大量蒸散，且開花所需水分並未利用該處的水。

(二) 了解蒸散差異對於上述實驗之影響

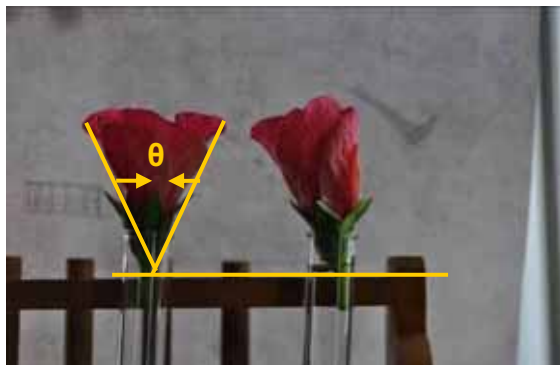
- 1 前言：為了驗證上一個實驗的推測，在不插水的花梗切口塗凡士林，使水分無法從花梗散失。
- 2 結果：



如圖示，前 1~2 小時之間的重量的變化量差異消失，得知上一個實驗剛開始的差異，是因為水分由花梗散失所造成的現象。

(三) 了解插水與否影響開花角度的變化

- 1.前言：想要了解花朵與母株分離後，其開花角度會不會較小。
- 2.步驟：摘兩朵朱槿，一朵插入水中，另一朵不插水。每隔一小時拍照一次。
- 3.測量方法：如下圖所示，在花萼基部及花梗連接處畫一條水平線，接著與花瓣兩側的末端相連，所形成之夾角 θ 角，定義為開花角度。

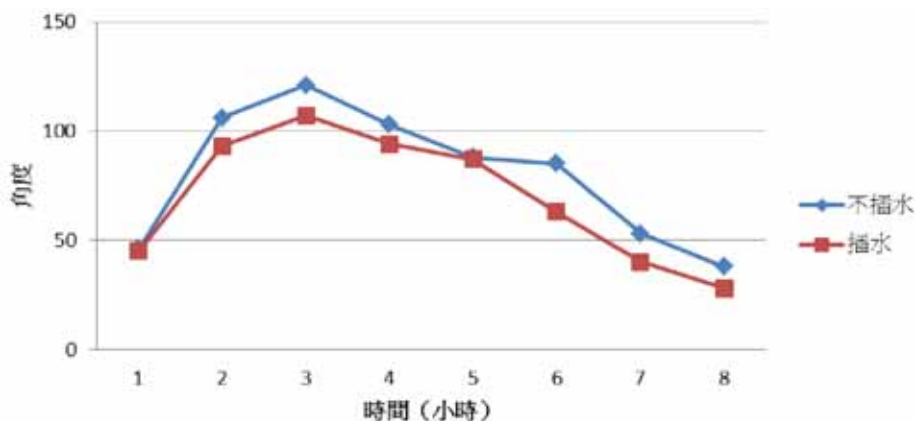


左邊為不插水，右邊為插水的裝置。
夾角 θ 角，定義為開花角度。

4.結果：

10:03	11:19	12:15	13:06
14:10	15:04	17:49	18:49

插水與否在不同時間的開花情形



隨時間推移觀察開花角度的變化。結果顯示插入水中與不插水，兩者的角度變化，起伏並無顯著差異。但不插水的花，角度反而開得較大，由此可知花朵是否插入水中並不影響開花角度。

(四) 花朵大小與開花角度之間的關係


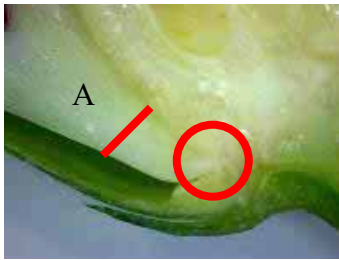
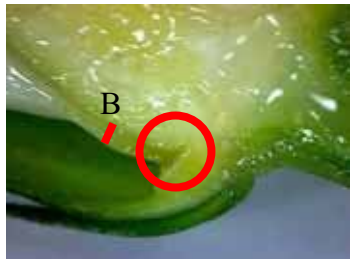
- 1.前言：從上一個實驗發現不插水的開花角度大於插入水中的，推測花朵大小可能會影響開花角度。
- 2.步驟：取 4 朵花分別測量花瓣寬度，再拍照以 ImageJ 測量角度
- 3.結果：

花徑	6.3	6.55
角度	116.507	122.914

- 4.分析：由實驗得知花朵越大時，花開的角度越大

(五) 觀察花瓣著生處





- 1.前言：為了解花瓣與母株的連結，將花對剖，並仔細觀察花瓣著生處。
- 2.步驟：取尚未開和已閉合的朱槿花苞各一朵，並觀察、比較兩者的花瓣著生處。
- 3.結果：

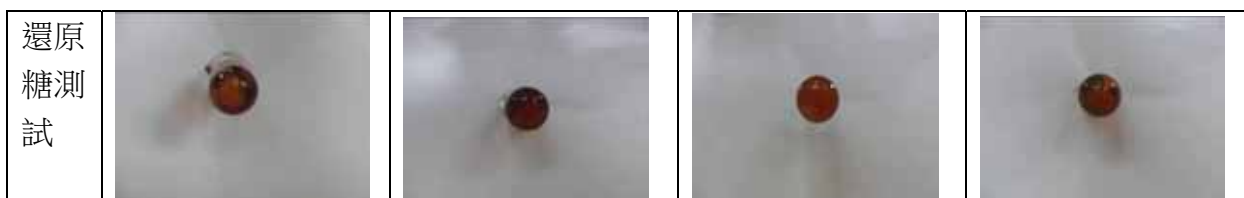
蕊柱是由花瓣延伸癒合而成	未開朱槿花瓣間的連結	已開朱槿花瓣間的連結
	A 與 B 分別為花開前與花開後花瓣基部的厚度，圈圈所在的位置是花瓣與花梗的連接處。	
		

實驗得知花開前後，花瓣與花梗間的聯繫都極小，且花瓣之厚度差異很大，由此可知花瓣消耗本身的養分來進行開閉。

(六) 了解開花過程中花瓣養分的利用

- 1.前言：從「觀察花瓣著生處」的實驗結果，發現花開花閉是由花瓣的養分提供，據此探究其養分的利用情形。
- 2.澱粉測試：取花苞微張、盛開、開始閉合時的朱槿花瓣各一片，以沸水煮至褪色並攤平在培養皿上，滴碘液靜置 20 分鐘。
- 3.還原糖檢測：另取花苞微張、盛開、開始閉合時的朱槿花瓣各一片，研磨後分別放進試管中，並滴入同量之本氏液來檢測還原糖。
- 4.結果：花苞微開時澱粉量和還原糖量皆最多，隨著花開後澱粉量及還原糖都逐漸減少。(如下圖所示)

	花苞	花苞微張	盛開	開始閉合
澱粉測試				

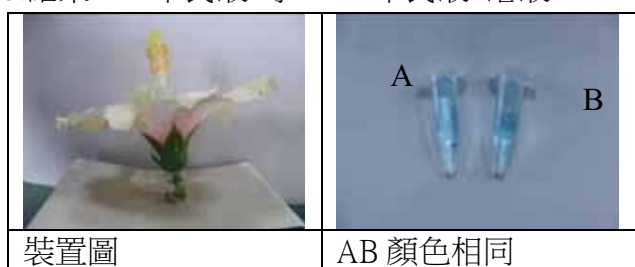


(七) 檢測花朵養分是否回流母株

1.前言：葉片在凋零時會將葉片內的養分回收到母株。已知花瓣是由葉片特化而成，因此懷疑花瓣凋謝時，是否有回收養分的現象。

2.步驟：取一個花苞放進 eppendorf，並置入生長箱。待花開後又閉合起來時，把花丟掉。蒐集 tube 內的液體，再將液體以濃鹽酸水解後，加入本氏液測量其所含之糖分。

3.結果：A 本氏液+水 B 本氏液+溶液









結果顯示插過花的溶液並沒有還原糖，所以花朵的養分並不會回收至母株。

二、 花開花閉的機制

(一) 追蹤花瓣背（腹）面的生長差

1.前言：從 (BIELESKI etc., 2000) 中獲知花瓣背、腹面的細胞，其生長量與萎縮量的變化會導致花開與花閉。因此實驗觀察朱槿花開與花閉時，花瓣背（腹）面的細胞，其生長量與萎縮量的變化為何？

2.步驟：(1) 標記方法

		
取多片花瓣，依序用描圖紙描繪下來	將描圖紙上的花瓣一一剪下	把剪下來的花瓣一片片描在 A4 紙上
		
將 A4 紙上線條重合的地方用深色筆畫在描圖紙上	把描圖紙上的花瓣形狀另描在 A4 紙上	描好後剪下

		
以花柄為基準找出對稱軸，用尺量出總長，扣除花柄的長度，再除以 2 就能得出標記的位置。	把繪製好的花瓣掃描進電腦裡。	列印出來後用美工刀將標記割穿，花瓣模型便告完成。接著以其他種類的花模擬。（如：羊蹄甲、重瓣朱槿）

(2) 追蹤花瓣背軸面和腹軸面的生長速度

摘一朵朱槿，取其中兩片花瓣，利用模具分別在其背、腹面各標記 7 條線。使用游標尺定時測量線與線之間的距離，並比較背面軸細胞與腹面軸細胞的生長速度。

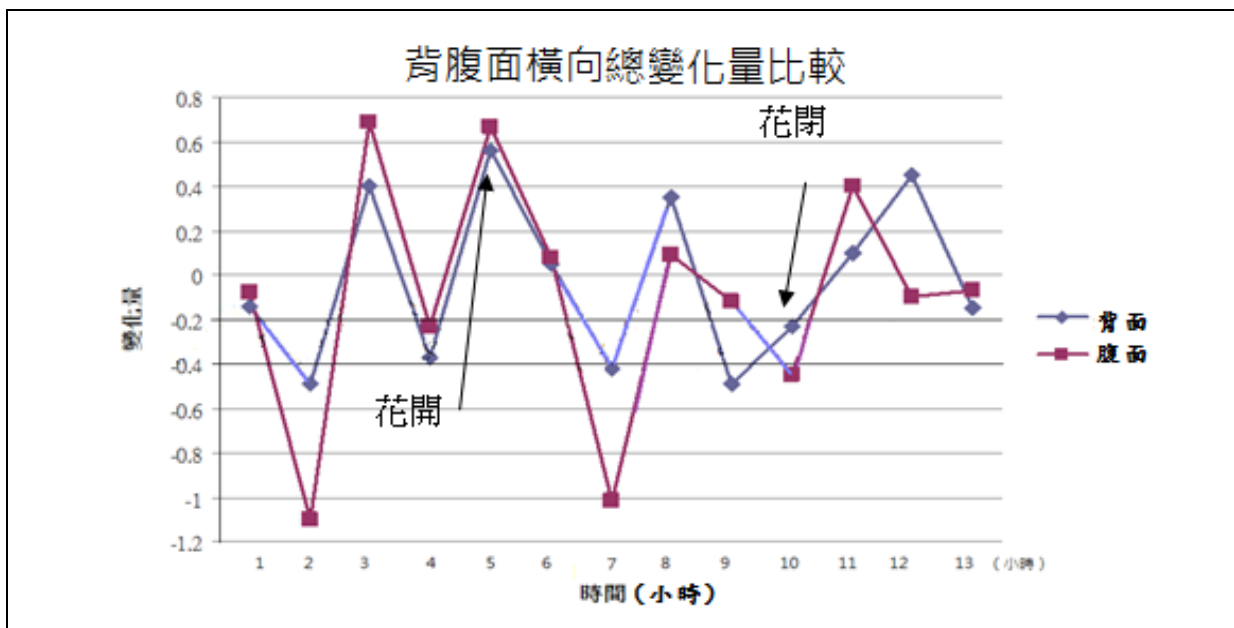
3. 分析方法：

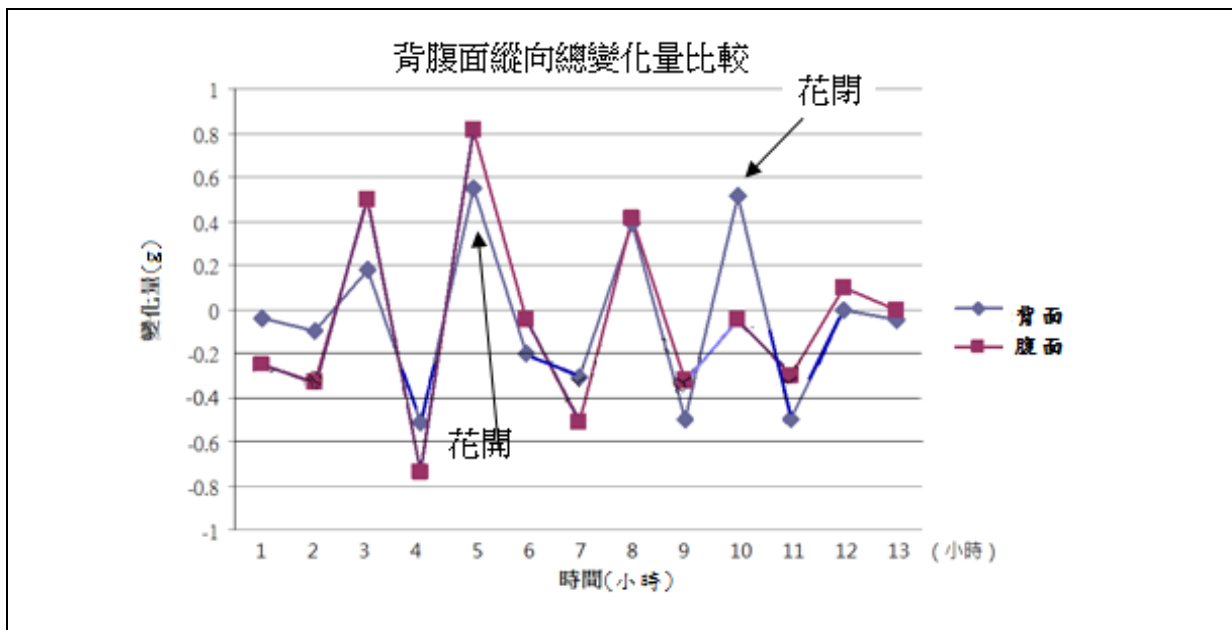
- (1) 使用游標尺測量線與線之間的距離。
- (2) 每小時測量一次
- (3) 將線與線之間的距離加總。再把前後兩次的值相減即變化量。
- (4) 記錄並比較背（腹）面橫向總變化量
- (5) 記錄並比較背（腹）面縱向總變化量



作為標記的模具

4. 結果與分析：

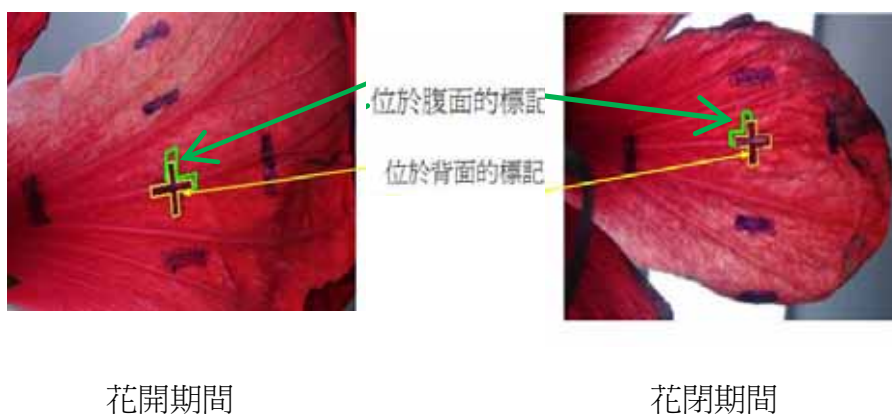




觀察並比較背（腹）面橫向及縱向的總變化量。得知花開時，花瓣腹面的生長量會多於背面；花閉時，腹面的萎縮量也比背面的萎縮量來得多。

(二) 觀察花瓣背（腹）面的生長差

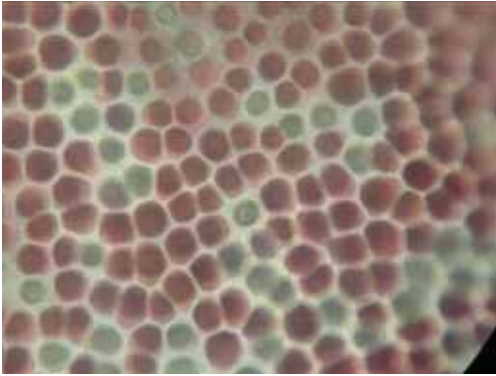
- 1.前言：從「追蹤花瓣背（腹）面生長差」的實驗中，得知朱槿的花開和花閉確實是利用花瓣背腹面的生長量與萎縮量。因花瓣上有許多細小的褶痕，所以根據標記在花瓣上所涵蓋的面積，觀察花瓣背（腹）面的生長量是否有所不同。
- 2.步驟：使用模具在同一片花瓣的背（腹）面標注相對應的記號，並將花瓣透光拍攝，再觀察記號的移動。
- 3.結果：



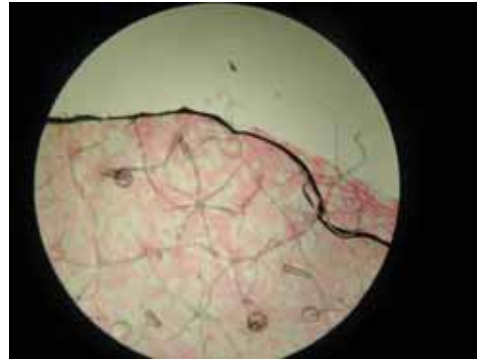
在花瓣背、腹面對應位置上的記號，實驗前涵蓋花瓣的面積相等，實驗中卻產生大小之變化。結果發現花開期間，腹面記號所涵蓋的花瓣面積大於背面記號；而花閉期間，背面記號所涵蓋的花瓣面積則大於腹面記號。由此可知花開時期腹面細胞的生長量較多，花閉時期腹面細胞的萎縮量較多。

(三) 花瓣細胞的觀察

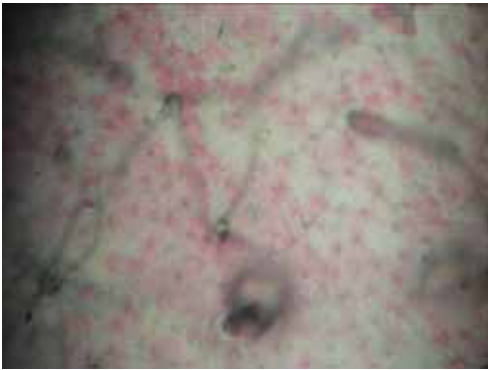
- 1.前言：藉由了解花瓣細胞的形態，推測水分蒸散的方式。
- 2.步驟：取下一片花瓣，以複式顯微鏡放大 1000 倍觀察
- 3.結果：



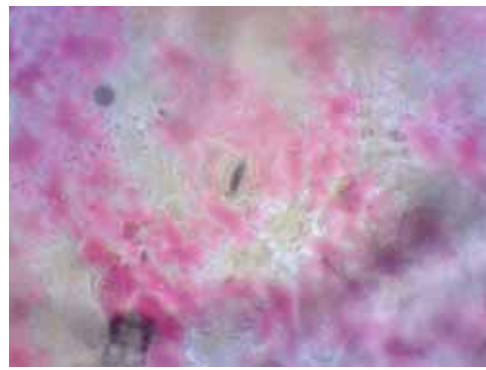
花瓣的上表面是近圓形的表皮細胞，大部分細胞內部充滿花青素。



花瓣的下表皮，散布星狀毛，可防止水分散失。



花瓣的下表皮有少數的氣孔分布。



氣孔旁是呈不規則狀、多棘狀的下表皮細胞。




由照片可知腹面都找不到氣孔，但在背面能找到少許氣孔，推論水分可由表皮薄壁細胞和背面的氣孔蒸散。

(四) 了解單片花瓣之特性

1.觀察單片花瓣平放時的蜷縮情形

- (1) 前言：在「找出單片花瓣的主要支撐來源」實驗中，發現隔天花瓣都會蜷縮起來，且花瓣雖然放置的方式不一，卻奇妙地都往同一個方向捲曲。因此懷疑花瓣在不同情況下，是否都朝固定的方向蜷縮？
- (2) 步驟：將花瓣分別以腹面朝上、腹面朝下、和放在水面上等三種情況，靜置一天後，觀察其蜷縮情形。

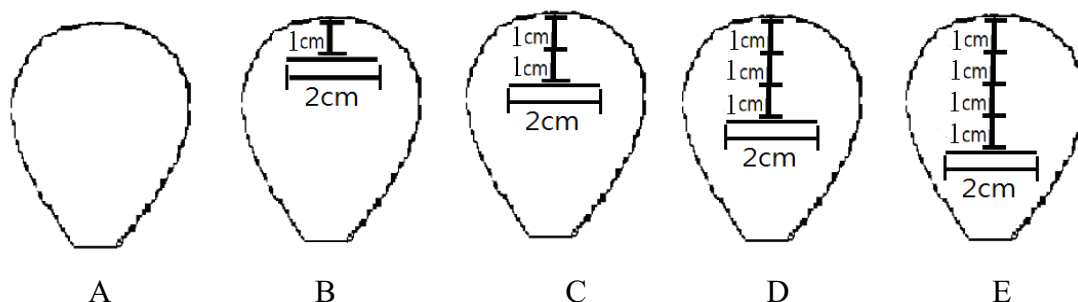
(3) 結果：由下圖得知雖然花瓣放置的狀況殊異，卻不約而同都朝向中央蜷縮。

	腹面朝上	腹面朝下	在水面上
圖片			
結果	花瓣會往一個固定的方向蜷縮。		

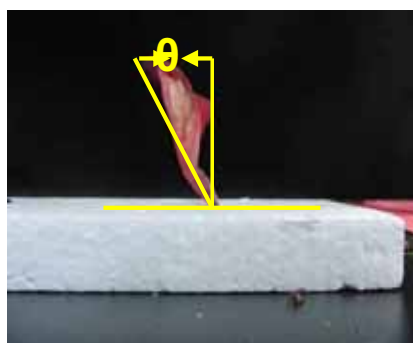
2. 找出單片花瓣的主要支撐來源

(1) 前言：藉由破壞花瓣的中央結構，找出支持花瓣的力量來源。

(2) 步驟：先將花瓣全數摘除後，分 A、B、C、D、E 五片。A 片保留原貌。B 片自花瓣末端量得約 1 公分處，用美工刀橫切 2 公分長的切口。此後每隔 1 公分處橫切一刀，分別令其為 C、D、E 片（如圖）。再依序將花瓣放在自製的保麗龍架上，追蹤花瓣角度的變化。並以 X 軸座標為時間，Y 軸座標為角度，製成圖表。



(3) 測量方法：在花瓣基部與保麗龍板交接處畫一條水平線，另畫一條線與水平線垂直，再將花瓣末端與花瓣基部連成線，所形成之夾角 θ 角，定義為花瓣角度。

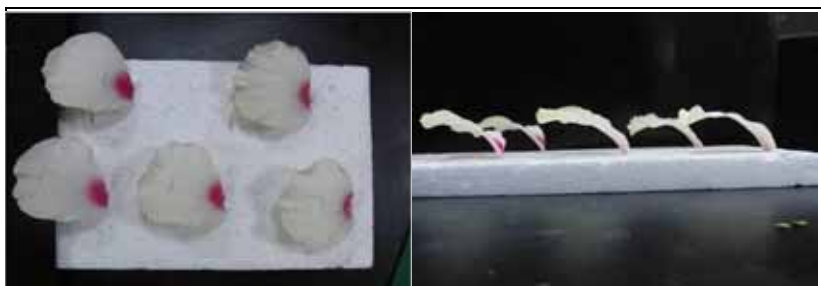


定義花瓣角度

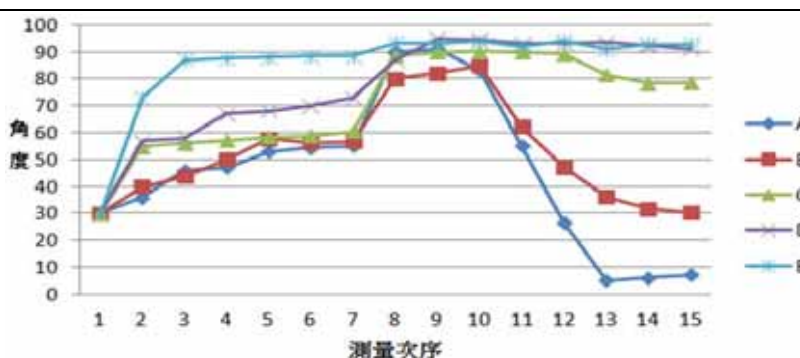
(4) 結果:

本實驗採用兩個不同品種的朱槿，一種是紅色，另一種是白色。

a. 觀察白花

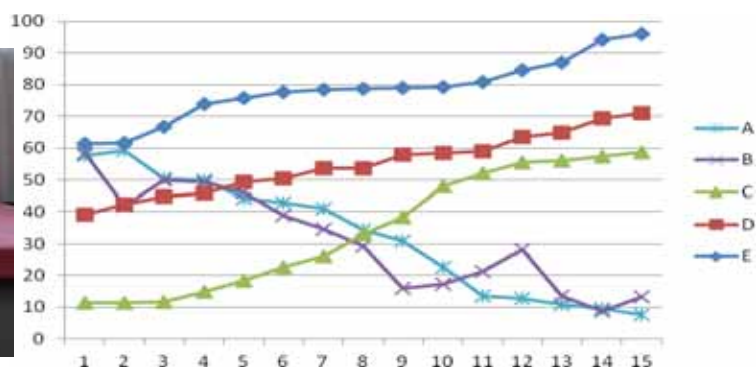


在保麗龍板上刻出溝槽，接著將花瓣連同白色組織一起取下，並將花瓣的白色組織插進溝槽裡。



實驗得知花瓣 C、D、E 被破壞後，即無法再向中央蜷縮。但花瓣 A 因未受破壞，又花瓣 B 被破壞的位置離支撐來源較遠，所以二者皆能繼續蜷縮。據此推論花瓣的主要支撐來源位於花瓣基部，當基部遭破壞後，花瓣即失去支撐力量而倒下。

b. 觀察紅花



將花瓣連同白色組織一起取下，並將花瓣的白色組織插進溝槽裡。

由實驗得知花瓣 D、E 被破壞後，皆無法向中央蜷縮。而花瓣 A 未受破壞，花瓣 B 被破壞的位置離支撐來源較遠，花瓣 C 受破壞的位置對其影響不大，所以三者都能繼續蜷縮。據此驗證花瓣的主要支撐來源確實位於花瓣基部；當基部遭破壞後，花瓣便失去支撐而倒下。

c. 探討重心對於花瓣支撐力的影響

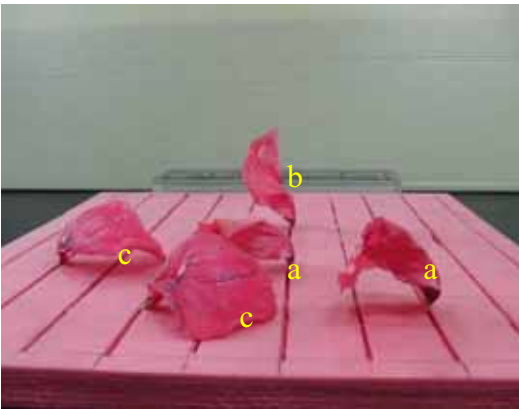
(1) 前言：觀察白花和紅花，發現兩者 C 點的位置變化略有差異，可能因為兩個品種的花瓣大小不同，重心不同，導致支撐力不同。已知重心為物體的質量中心，影響其平衡；不知在花開花閉的過程中，是否對支持花瓣也有影響？

(2) 步驟：找出花瓣的重心。

分別在重心以內、重心部位、及重心以外各橫切兩公分。

(3) 結果：發現重心以內遭橫切後，花瓣會倒下；而重心部位被橫切，花瓣也能捲回來，至於重心以外被橫切則不受影響，花瓣仍可回復其蜷縮。

據此推論膨壓所造成的纖維支撐力，主要在重心範圍以內，可支撐花瓣的重量。若重心以內的膨壓遭到破壞，會導致支撐力消失或減少，使花瓣倒下。



a 在重心以外橫切 b 在重心部位橫切
c 在重心以內橫切


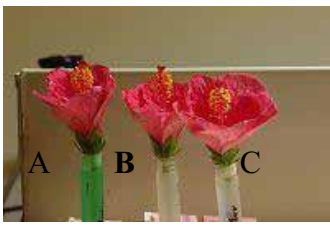
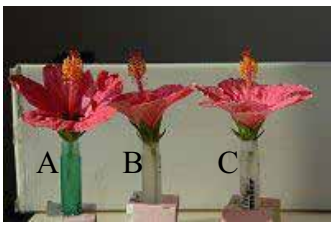
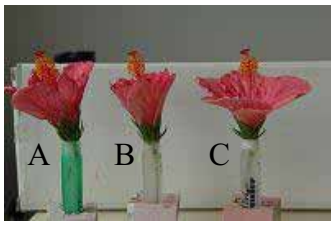
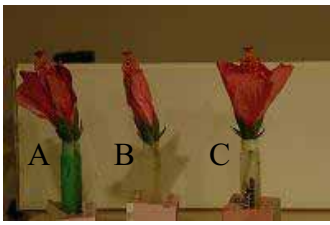

重心測量方法

(五) 花瓣邊緣的影響

1. 切除花瓣邊緣對於花開與花閉的影響（正立）

(1) 前言：Liang&Mahadevan (2011) 提出邊緣生長 (edge growth) 理論，由此觸發朱槿的邊緣是否也會對花開造成影響之研究。考慮到花瓣有三個邊緣，設計實驗時必須分別就其對朱槿花開及花閉所造成之影響進行分析和比較。所以在切除邊緣時，採切除花瓣兩側、花瓣末端，及不處理三種模式。

(2) 步驟：取三朵朱槿分別以三種模式進行實驗。A 組切除花瓣兩側，B 組切除花瓣末端，C 組不處理

		
10/28 11:13	10/29 3:44	8:24
		
14:24	21:14	10/30 8:20

(3) 結果：發現對照組（不處理）在一開始時花開得最快；切除兩側後花開的速度最慢。且花開後，切除兩側的花瓣並沒有完全張開。至於花閉時，切除末端與切除兩側的花瓣，其閉合速度皆較快，對照組的花瓣則最晚閉合。隔天，還觀察到切除兩側的花瓣也沒有完全閉合。據此證明邊緣會提供花瓣一個向外張開的力。
















2. 切除花瓣邊緣對於花開與花閉的影響（倒置）

(1) 前言：從「切除花瓣邊緣」的實驗中，發現切除朱槿花瓣末端會比切除花瓣兩側，及不處理的長度短一截，因此懷疑有力矩問題。於是將三組的花瓣倒置，讓力矩相反，使切除兩側的花瓣較具優勢。
















(2) 步驟：取三朵朱槿，分別切除花瓣兩側、花瓣末端，及不處理（對照組）。再將其倒置。

(3) 結果：

A.側面拍：

時間 處理	13:00	14:42	16:09	18:46	19:46
切除花瓣 末端					
切除花瓣 兩側					
對照組					

B.正面拍：

	切除花瓣末端	切除花瓣兩側	對照組
13:00			
14:41			
16:06			
18:45			
19:36			

實驗得知花瓣倒置與否其結果相同，因此證明力矩對於開花速度並無影響。

3.觀察有裂瓣的朱槿

(1)前言：有裂瓣的朱槿花瓣特殊，追蹤花閉的歷程發現它無法完全閉合。因此拿來觀察、並比較它和其他品種的不同處。

(2)步驟：觀察有裂瓣與沒有裂瓣的朱槿，兩者的不同處，並討論造成其無法完全閉合的原因。

(3) 結果：



仔細觀察有裂瓣和沒有裂瓣的朱槿，發現兩者邊緣明顯不同，因此推測邊緣是造成有裂瓣的朱槿無法完全閉合的因素。

(六) 花瓣的排列對於花開花閉的影響

1. 合瓣對於花開的影響

(1) 前言：植物依據花瓣間是否相連，可以分為離瓣花及合瓣花。但不知離瓣或合瓣對於花開有何影響？考慮離瓣花無法處理成合瓣，因此選用具有合瓣結構的矮牽牛，將其處理成離瓣，再加以比較。

(2) 步驟：

A. 取 2 朵矮牽牛

B. 其中一朵將花瓣對切開，模擬成離瓣；另一朵保持不變。

(3) 結果：

A. 切脈：



B. 對照組



將花瓣對切後，其開花速度較不處理的來得快，故推測合瓣的結構會影響花開的速度。

2. 探討蕊柱與鄰瓣對於花瓣閉合之影響

(1) 前言：想要了解蕊柱與花瓣的排列，對於花瓣閉合會造成什麼影響？

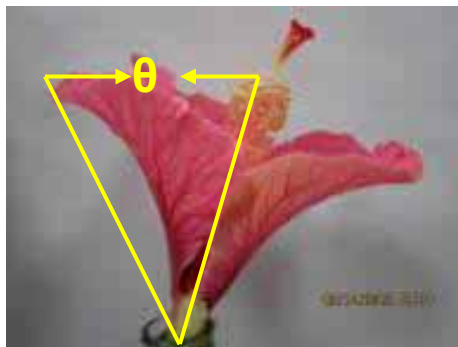
(2) 步驟：

A. 處理花朵：將花朵的花萼去除後，做以下四種處理



(A) 保留蕊柱及鄰瓣 (B) 保留蕊柱及單瓣 (C) 去掉蕊柱留鄰瓣 (D) 去掉蕊柱留單瓣

B. 角度分析方法：



定義開花角度

從花瓣基部到花瓣末端畫一條線，再從基部到蕊柱另畫一條線，所形成的夾角 θ 角，定義為開花角度。

(3) 結果：

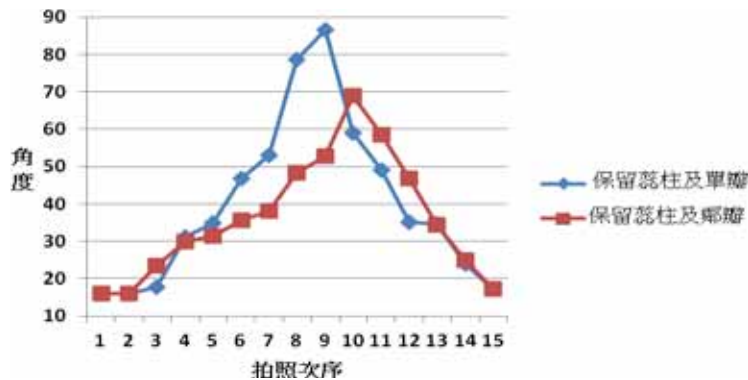
A. 定時拍照：

狀態 \ 處理	開始觀察	盛開	開始閉	完全閉合
保留蕊柱				
去掉蕊柱				

B.分析：

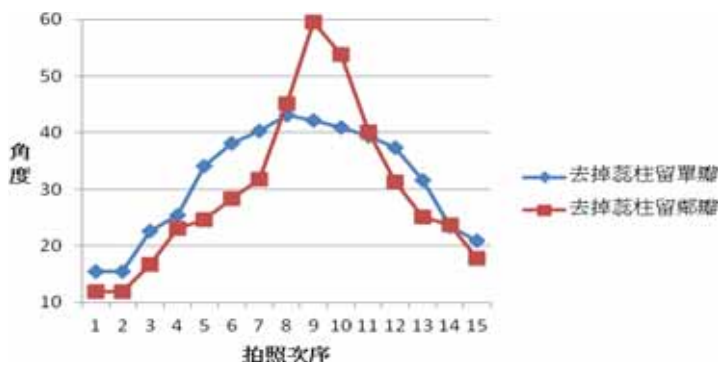
a. 分析鄰瓣對於花瓣閉合的影響

a-1 有蕊柱時，鄰瓣對於花瓣閉合的影響



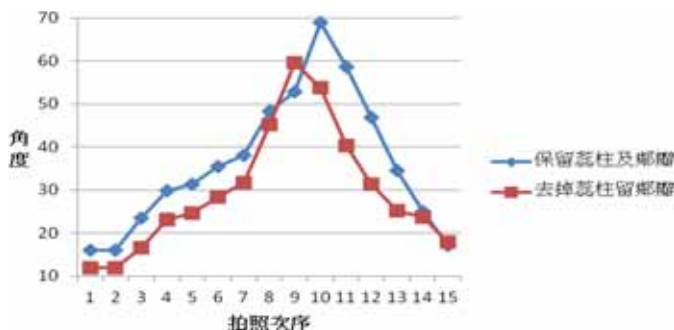
每小時拍照一次，比較花開的情形。在第二次觀察時兩者同時開花，但是單瓣的閉合速度較快；有鄰瓣的花延遲一小時才閉合。故推測有鄰瓣的存在，花開與花閉的速度都較慢。

a-2 無蕊柱時，鄰瓣對於花瓣閉合的影響

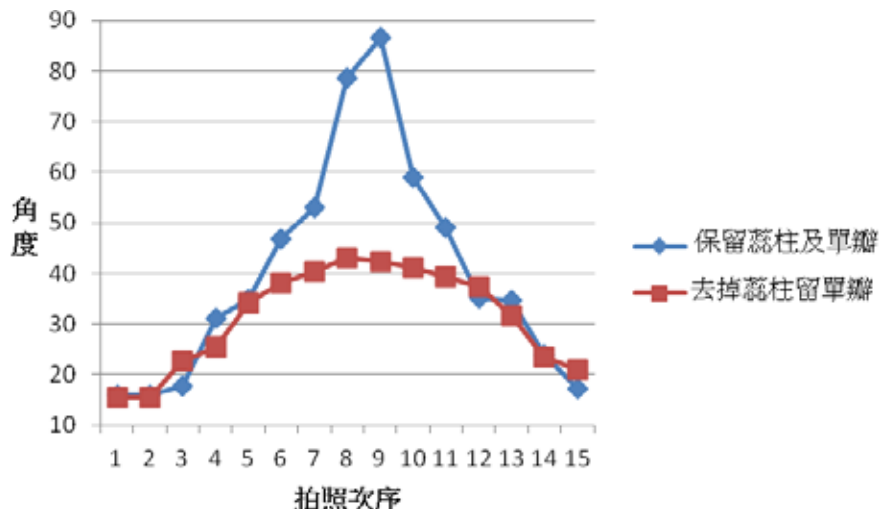


兩者同時開花，但是單瓣的閉合速度較快；有鄰瓣的花則延遲一小時才閉合。故推測保留單瓣時，花開與花閉的速度都較快。

b.分析蕊柱對於花瓣閉合的影響

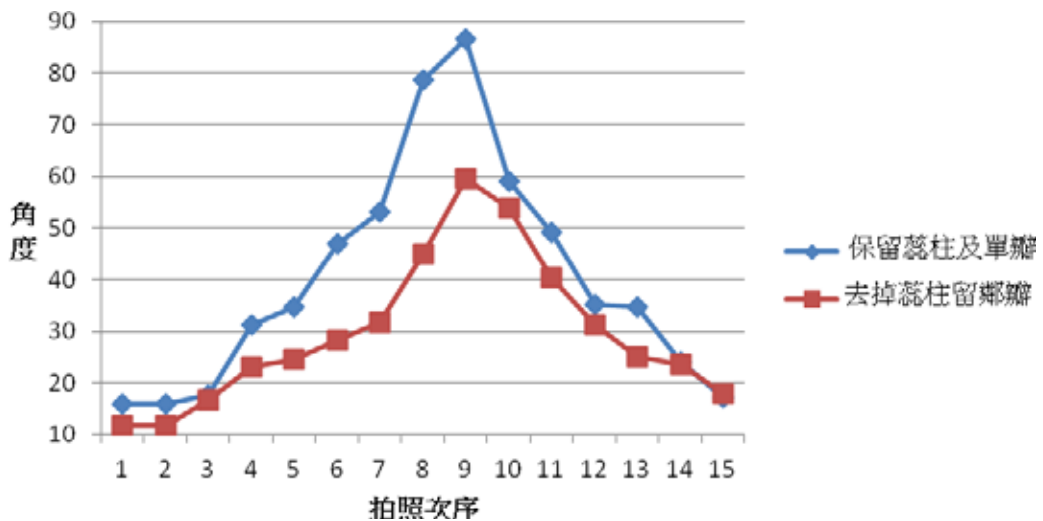


兩者同時開花，而保留蕊柱的開花平均速率為每小時 7.841 度，去掉蕊柱的開花平均速率每小時 5.302 度，保留蕊柱的開花速率大於去掉蕊柱的；至於保留蕊柱的花延遲了一小時才閉合。因此推論保留蕊柱時，花開的速率較快，但花閉的速率較慢。



兩者同時開花，保留蕊柱的開花速度較快；且保留蕊柱的花延遲一小時才閉合。同樣驗證了蕊柱會使花開的速度變快，花閉的速度變慢。

c. 蕊柱與鄰瓣對於花瓣開閉的影響



兩者同時開花，保留蕊柱及單瓣其開花速度比去掉蕊柱留鄰瓣來得快。

兩者同時閉花；保留蕊柱及單瓣其閉花速度比較快。因此推論花開時，保留蕊柱可加速開花；花閉時，去掉蕊柱可加速閉花，但鄰瓣的牽扯會延遲花閉的時間；兩個力量綜合的結果促使花閉的速度減緩。

(七) 蕊柱的影響

1. 了解蕊柱對於花瓣開閉的影響

(1) 前言：發現朱槿的特殊結構——蕊柱後，懷疑其是否會影響花瓣開閉，因此設計實驗分析蕊柱對於花瓣閉合的影響

(2) 步驟：採四朵朱槿分別做 A、B、C、D 四種處理。(A) 將花瓣與蕊柱切離 (B) 將對邊花瓣與蕊柱切離 (C) 將蕊柱去掉 (D) 不處理 (對照組)。每小時拍一次



A 全切



B 對切






C 切蕊柱

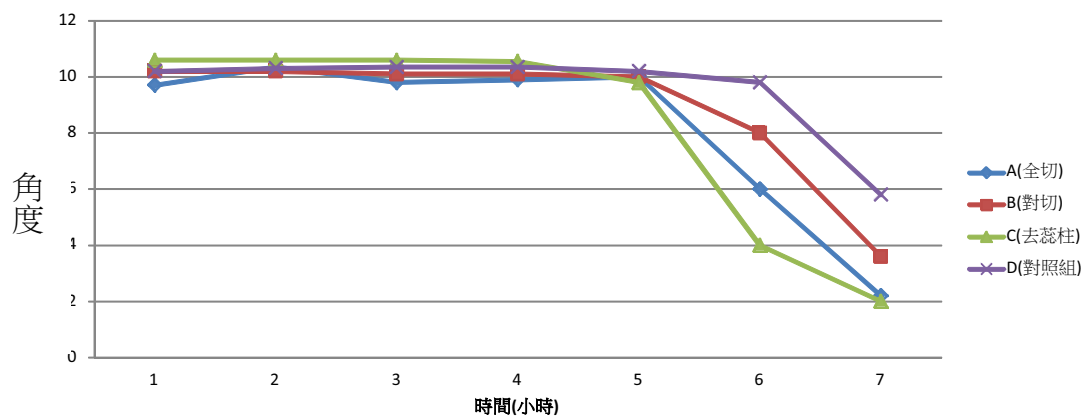


D 對照組

(3) 結果：定時拍照且測量直徑大小

	A	B	C	D
10:32				
直徑	9.51	10.47	10.8	10.4
12:30				
直徑	10.39	10.47	10.92	10.53
1:30				
直徑	9.68	10.29	10.84	10.76
2:24				
直徑	9.86	10.38	10.73	10.66

3:26				
直徑	9.99	10.00	9.76	10.49
4:17				
直徑	5.80	7.88	3.97	9.86
5:00				
直徑	2.19	3.21	1.92	5.48











結果發現將蕊柱去掉的花瓣閉合速度最快；其次是將花瓣與蕊柱切離，接著是將對邊花瓣與蕊柱切離；閉合速度最慢的是對照組。因此得知蕊柱對於花瓣閉合有延遲的作用，推測可能是纖維支撐力或水分提供膨壓。









2. 探討蕊柱是否提供纖維支撐力影響花開花閉



(1) 前言：為了解纖維支撐力對於花開花閉的影響，故進行此實驗。

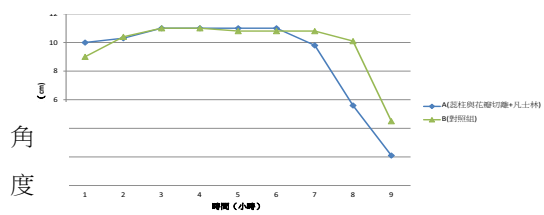
(2) 步驟：取兩朵朱槿分別做 A、B 兩種處理。(A) 花瓣與蕊柱切離，並在切口塗凡士林 (B) 不處理 (為對照組)。每小時拍一次。

(3) 結果：定時拍照且測量直徑

	A	B
7:44		
直徑	10.13	8.9
10:18		
重量	4.514	5.842
直徑	9.7	10.64
11:10		
重量	4.443	5.746
直徑	10.28	10.76
12:42		
重量	4.317	5.602
直徑	10.27	10.91

2:05		
重量	4.213	5.476
直徑	10.05	10.68
3:04		
重量	4.142	5.390
直徑	10.18	10.81
4:56		
重量	4.031	5.277
直徑	6.69	10.92
5:58		
重量	3.976	5.202
直徑	2.39	10.16

7:05		
重量	3.918	5.124
直徑	1.96	4.46

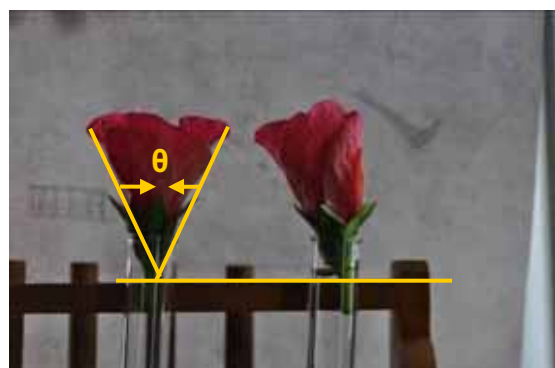


測量次序

(4) 分析：由圖可知切除蕊柱與花瓣間的連結，且塗上凡士林，花瓣較快開始閉合，因此證明纖維支持力影響花開與花閉。






















3. 探討蕊柱是否提供水分影響花開花閉

- (1) 前言：從前面的實驗得知，切的方法不一樣，花閉的速度不一樣。因此懷疑蕊柱是否提供花瓣水分進行閉花？
- (2) 步驟：取三朵朱槿，分別將蕊柱切除一半，其中一朵在切口處放乾棉花（模擬水被吸走）、另一朵切口處放濕棉花（模擬蕊柱儲水），最後一朵不放任何東西（對照組）。每小時拍攝一次
- (3) 測量方式：在花萼基部及花梗連接處畫一條水平線，接著與兩邊的花瓣末端相連，所形成之夾角 θ 角，定義為開花角度。

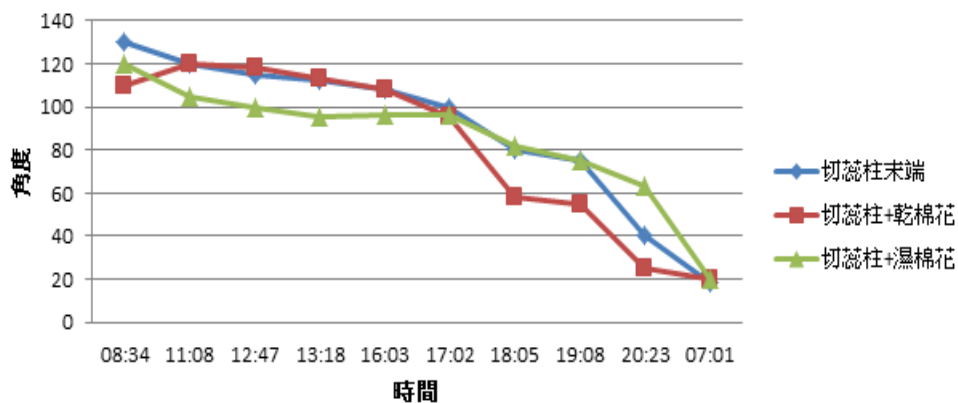


測量開花角度

(4) 結果：

處理 時間	切蕊柱（對照組）	切蕊柱+乾棉花	切蕊柱+濕棉花
8:34	 127.86	 106.972	 118.76
11:18	 116.945	 117.714	 105.498
12:47	 109.625	 114.766	 102.757
13:18	 108.509	 109.398	 99.503
16:03	 103.497	 104.583	 97.633
17:02	 98.181	 92.398	 94.387
18:05	 79.763	 57.856	 83.518

19:08	 72.648	 50.612	 73.937
20:23	 39.888	 24.609	 65.372
7:01	 17.202	 19.605	 19.265



如圖示，切口放置乾棉花時，花瓣開始閉合的時間最早，不放東西的對照組次之，放濕棉花的閉合時間最晚。推測蕊柱是儲水槽，提供花瓣水分以產生膨壓，進而影響花瓣的閉合速度。

4.比較水分與纖維支撐力，何者影響較大?

- (1) 前言：由前面實驗得知水分和纖維支撐力都會對花開花閉造成影響，進而想探討何者影響較大?
- (2) 步驟：取三朵花，一朵將蕊柱與花瓣間的連結切除，再注入大量水分，使水分可繼續提供。另一朵將蕊柱切掉 1/2 並放上乾棉花。最後一朵不處理作為對照組。

(3) 結果：切除蕊柱放乾棉花，其閉合速度最快；對照組次之；切除連結並注入水最慢。



(4) 分析：由實驗結果得知水分可以克服缺少纖維支撐力（切除連結）的問題，但纖維支撐力無法克服缺少水分（放乾棉花）所造成的影響。因此推論水分對於花開花閉的影響比纖維支撐力大。

伍、 實驗討論

一、 花開與母株的關係

實驗得知給水或不給水，朱槿在開花過程中水分減少量之差異並不大，花開的角度也與插不插水無關。因此推論花開不必依賴母株的水分。而一開始沒有插入水中的花其重量減少很多，是因為水份從花梗斷口處流失。

開花過程中，子房和母株連接，但花瓣、雄蕊及蕊柱與母株的連接極小。花苞時花瓣基部較厚；花閉時花瓣變瘦長。因此推論花開花閉的養分來自本身花瓣的消耗。

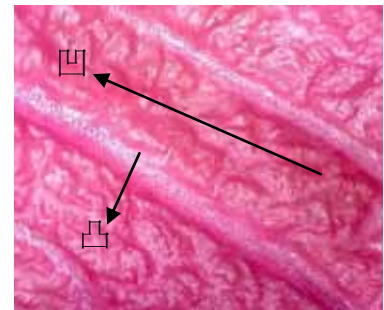
比較開花過程從花苞期到花閉期，澱粉量越來越少；葡萄糖則在花苞期較少，在花開的過程中量最多，而後隨著時間越來越少。推測花瓣從花苞到盛開期間大量消耗自身的澱粉，轉換成還原糖，再進行呼吸作用產生大量的水，這就是膨壓來源，花瓣利用此膨壓進行開花。

實驗得知朱槿沒有回收養分至母體，因此推論自花苞成熟後，花瓣、雄蕊及蕊柱自給自足，不再依賴母體。應該是花苞時期母株提供養分儲備充足後，在花開時便不再由母株供應任何養分。

二、 花開花閉的機制

(一) 花瓣背、腹面的生長差對於花開花閉的影響

追蹤花瓣背、腹面的生長差，可發現花開時，腹面的生長量多於背面的生長量；花閉時，腹面的萎縮量比背面的萎縮量來得大。整個過程的生長量有時長時縮的現象，是因為花瓣表面有凹凸起伏，且細胞可能會互相擠壓，使兩點之距離變短或伸長。但比較同一時段花瓣的背腹面，兩者生長量和萎縮量是不同的。推測花瓣因背、腹面細胞生長量及萎縮量的不同，造成開與閉動作。



花瓣表面有凹凸起伏

實驗又在花瓣的背、腹面做十字記號，隨時間比較兩者大小，以驗證花瓣是否因背、腹面的生長量及萎縮量不同造成花開花閉。結果得知花開時，腹面的標記大於背面的標記，花閉時，腹面的標記小於背面的標記，同樣驗證背、腹面細胞存在生長量和萎縮量的不同。

將花瓣切下平放，發現花瓣仍會往中央方向蜷縮，這是因為花瓣中央較厚兩邊較薄，又因為腹面細胞的萎縮量較大所致。這也許可以從型態得到驗證；觀察背、腹表皮細胞發現腹面的表皮細胞近圓形，背面的表皮細胞為不規則、多棘形，圓形相較於多棘形較易脹，可能因此造成腹面生長量較大，葉子背面多有星狀毛的附屬物，雖然有少許氣孔，但整體效果仍使水分不易蒸散，因此萎縮量較小。

(二) 了解單片花瓣主要的支撐來源

實驗取數片花瓣，分別自花瓣的末端等距橫切，以了解單片花瓣主要的支撐來源。發現主要支持力在重心以內；該部的膨壓，控制花瓣向中央蕊柱遠離或靠近。故綜合來說花開花閉是由花瓣背、腹細胞的生長差，及重心以內較厚組織的膨壓所控制。

生長量、萎縮量及膨壓都是由水份控制的。從以上的實驗得知水份由花瓣自身的還原糖氧化而來，大量存在重心以內的厚組織裡，再慢慢地從邊緣及表面的薄壁細胞，與背面的氣孔散去。

(三) 花瓣邊緣的張力對花開花閉的影響

Liang&Mahadevan (2011) 研究百合花，發現花瓣邊緣生長速度較快，花瓣邊緣向外反捲提供一個張力使花打開。本研究取三朵花，分別切除邊緣及末端，發現切除花瓣兩側後，花開得不完全；至於切除花瓣兩側及末端，花瓣閉合較快。推測花開時，因為沒有花瓣邊緣助其撐開，所以花開不全；花閉時，因為不必再經歷把花瓣邊緣捲回來的過程，所以速度較快。

得知朱槿存在花瓣邊緣有裂的品種，觀察其開花歷程，發現它無法閉合。推測是因為裂瓣的緣故，使得原本邊緣提供之張力分散，導致花瓣閉合時力量無法集中，所以產生閉合不完全的現象，結果說明了邊緣會影響花閉的狀況。

(四) 花瓣的排列對花開花閉的影響

想要了解朱槿花瓣的屋瓦狀排列有何影響？故選擇合瓣的矮牽牛來做研究，破壞其合瓣結構模擬成離瓣。由實驗得知將合瓣花切成離瓣後，開花速度較合瓣時來得快，因此推論合瓣會減緩開花速度。

屋瓦狀排列的花瓣會減緩開花速度，並延遲花閉的時間。因為花瓣在展開時會互相推擠，需用掉較大的力量才得以打開，故開花速度慢。而花閉時必需拉動隔壁的花瓣同步進行關閉的動作，也需要較大的力量，因此延遲花閉的時間。對照這兩個結果，推論屋瓦狀排列可能和合瓣有相同的效果。

(五) 探討蕊柱對花開閉的影響

由實驗得知蕊柱及鄰瓣都會造成花閉的時間延遲，但蕊柱的影響較大。因此推論蕊柱仍是主要的因素，花瓣彼此間的拉力次之。

蕊柱可能影響花開花閉的因素有二：纖維支撐力及水分。切斷蕊柱和花瓣間的連結，並塗以凡士林，發現失去纖維支撐力會加快花閉的速度。將蕊柱內的水以棉花吸去也會加速閉花。兩個實驗分別驗證了蕊柱可提供纖維支撐力和水。切斷蕊柱和花瓣的連結並給予大量的水，花朵很慢才會閉合，證明蕊柱提供水分對開花的影響勝於纖維支撐力。

由實驗推論蕊柱和重心以內的厚組織都儲存大量的水分，提供膨壓，功能好比儲水槽。推論朱槿開花的動作為水分先由蕊柱排出，擠向花瓣，花瓣因兩側較薄促使花瓣兩側向外捲曲，最後因其產生之張力讓花打開。

三、演化

(一) 蕊柱的特殊功用

由許多的實驗得知蕊柱可延遲花朵閉合，意味著花開的時間較久，就能增加傳粉者來訪的機會，有利於授粉。

(二) 閉花的特殊意義

從文獻中（張瓊方，2010）得知某些花的子房有裂縫，導致水分散失、胚珠乾死。而朱槿就是其中的一種。朱槿的原生地是熱帶及副熱帶地區，這些地區午後經常有雷陣雨，因此推論朱槿以閉花的方式保留雨水，使胚珠不至於乾死，進而繁衍後代。

陸、 結論

- 一、本研究觀察斷枝不插水的花苞，發現其開花過程與連在枝頭上的花並無差異，再深入進行解剖、觀察及養分分析後，推論朱槿在開花期間花瓣與母株沒有任何連結。
- 二、控制花瓣開閉的物質是水，即由澱粉轉換為還原糖，氧化還原糖產生水，水因花瓣的特殊結構，在各處產生不同的膨壓，以控制花瓣的開閉。
- 三、朱槿花瓣有向外反捲及向內蜷縮的特性，可能是因花瓣背、腹兩面的細胞型態不同，導致生長量和萎縮量不同；再加上花瓣邊緣較薄，向外反捲時提供張力。
- 四、朱槿的花瓣會向蕊柱遠離或靠攏，是因重心以內的厚組織提供的支撐力。
- 五、花瓣以屋瓦狀排列，與合瓣的效果相同；力量彼此牽引的結果，減緩花開花閉的速度。
- 六、蕊柱主要以水分的膨壓加速花開，減緩花閉，其影響大於花瓣與花瓣間的連結。減緩花閉的速度有利於傳粉者來訪，而閉花的型態可保水，有利於胚珠的發育，對於植物的繁殖，存在重要的意義。

柒、 延伸討論

瞭解朱槿開花的結構與控制後，認為有三點可作為仿生的參考：

- 一、花瓣：其特性是能向外反捲及向內蜷縮。模仿花瓣的這種特性可用來製作開關；選用背腹兩面膨脹係數不同的材質，此外還要像花瓣的結構一樣，中央厚，邊緣薄，使邊緣的變化量大於中央的。
- 二、花瓣的排列：呈屋瓦狀排列，這種特殊的排列能使施力點可集中於一點，並且同時控制。
- 三、蕊柱：由花瓣延伸癒合而成，有類似水庫的功能；是能量中心，可以控制及調節周圍花瓣閉合速度的快慢。

捌、 參考文獻

- 一、 梁海弋,無日期.梁海弋：花開無聲 研以致用,科技日報網路版
- 二、 張瓊方.2010,7.拈花惹草創商機——育種
- 三、 Bieleski, Roderick. Elgar, John and Heyes, Julian. 8 October 1999. Mechanical Aspects of Rapid Flower Opening in Asiatic Lily.<http://www.idealibrary.com>
- 四、 Koehl, M. A. R. and Liang, H..and Mahadevan, L. and Silk, W. K. ,July 9, 2008.How kelp produce blade shapes suited to different flow regimes:A new wrinkle
- 五、 Liang, Haiyi and Mahadevana, L..January 24, 2011. 【工程與數學】百合綻放的花「邊」祕密]
- 六、 Van Doorn, Wouter G. and Van Meeteren Ulke .8 May 2003.Flower opening and closure: a review

【評語】 030320

作品取材於常見花卉，主題具趣味及知識性，實驗記錄詳實完整，解說清晰，若能進一步比較探討與水仙開花機制之差異性，則更具價值。建議作者持續深入研究。