

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生活與應用科學科

佳作

030812

大法「溼」的魔法開關-以不凋花製作仿生開關

學校名稱：新北市立義學國民中學

作者： 國二 陳品閔 國二 卓昱辰 國二 陳冠霖	指導老師： 陳又君 洪寬亮
---	-----------------------------

關鍵詞：*Helichrysum*、*Hydromorph*、不凋花仿生開關

摘要

有一些天然的乾燥花—急凍花及蠟菊，澆水時花會閉合、乾燥後又會再度開花，本研究探討其連續開閉的構造及機制，並利用其特性製作自動澆水器。

研究發現控制反覆開閉的關鍵位置在於苞片近基部的轉折處，該處是水份的入口，吸水時細胞變長，使背側增長，導致花閉，失水時細胞變短，使背側變短，導致花開。形變角度受其材質特性、空氣含水量及溫度影響，具有 Hydromorph 現象。

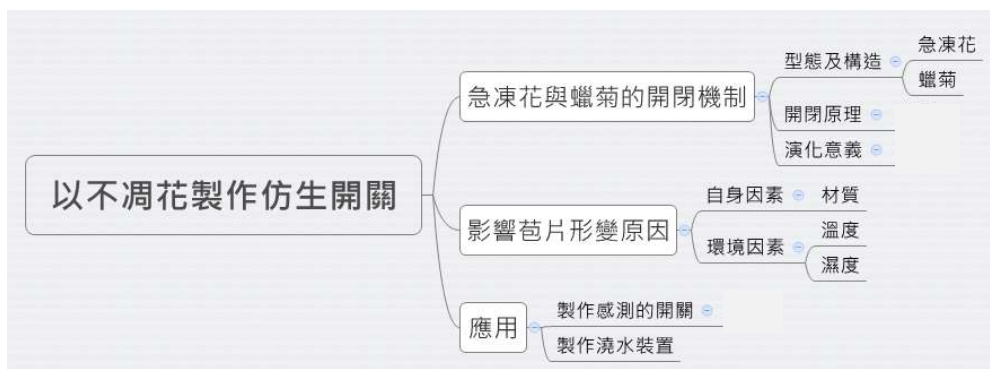
本研究以蠟菊的苞片製作濕度感測器，利用其形變，控制澆水器的開與關，配合春夏秋冬不同的溫濕度及植物的喜濕性，調整感測器的通風程度，可控制澆水頻率，下雨時，則自動關閉並調整澆水節奏。以植物的素材作感測器開關，感測和控制一體，可環保省能。

壹、研究動機

市售一種經特殊處理的乾燥花—急凍花，以及另一種名為蠟菊的菊科植物(這類植物統稱不凋花)，澆水可導致花閉、乾燥後花又會再度打開，常被拿來當作裝飾品。然而一般植物吸水導致花開、失水導致花閉，不凋花的開花機制似乎和一般花相反，覺得十分好奇，想研究不凋花，如何控制花朵開關。此外，因為這種花沒有生命也可以開花，不需要自外界引進能量，想把它應用在開關的設計上，例如，應用在自動澆水器上，製作出一個全自動的灑水器，減少照料植物的時間，方便我們的生活。

貳、研究目的

- 一、了解不凋花開閉的機制
- 二、了解溫度與濕度如何影響不凋花的開展率
- 三、利用不凋花設計自動澆水系統



參、研究設備及器材

- 一、不凋花：急凍花、蠟菊
- 二、儀器：micropette pipette(Dragonlab)、溫溼度計(TH-05A)、複式顯微鏡(Motic)、解剖顯微鏡(Motic)、烘箱(DENG YNG)、生長箱、三位數天秤(Bao Phi)、計時器
- 三、器材：黏土、燒杯、鐵絲、滴管、棉花、鑷子、酒精燈、精密鑷子、剪刀連接罐、馬達、水管、熱熔膠槍、吸管、9V電池、鱷魚夾、鋁箔紙、滑輪桶、矽利康、馬桶入水裝置、冰棒棍、鋁片、美工刀、螺絲、螺絲起子、相機、腳架、定時器、玻片、蠟

肆、研究方法及結果

實驗一 了解不凋花(*Helichrysum*)開閉的構造

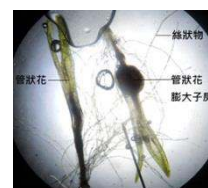
一、急凍花(別名：石岩花、永生花，strawflower)

(一) 簡介：

網路上提到急凍花遇濕則閉，乾後又開是經急速冷凍處理，但查植物誌發現此花在植株上即如此，這是菊科*Helichrysum*屬植物的共同特徵，並未經特殊處理。原產於澳洲，頭狀花序頂生或腋生，舌狀花為圍繞頭狀花的多層總苞片(表一)，乾燥膜質，花有白、紅、黃色，真正的小花為聚集在中央的管狀花(圖一)，子房下位。晴天乾燥時，苞片開展猶如開花，陰雨天濕度大時，苞片易閉合。

(二) 急凍花構造及形態觀察:

急凍花頭狀花絮，外層環繞舌狀花苞片，花絮中央的絲狀物包裹細小管狀花。取出一片急凍花苞片，苞片纖維木質化。取出一朵管狀花以複式顯微鏡觀察，具膨大子房及數片狹長花瓣。絲狀物長條透。






圖一 管狀花

二、蠟菊

(一) 簡介：

蠟菊(學名：*Helichrysum bracteatum*)，又名麥桿菊、七彩菊、不凋花，菊科多年生草本植物，株高可達120公分，原產於澳洲。花期夏初至秋末，莖堅挺，葉細長，頭狀花序，花色有紅、黃、橙、白和紫色等顏色，大型苞片光澤紙質，花朵直徑3-5公分。

表一、急凍花與蠟菊花朵與苞片閉合比較

	急凍花整朵花	急凍花苞片	蠟菊整朵花	蠟菊整朵花
乾				
濕				
	花朵閉合	苞片滴水後，轉折處彎曲	花朵閉合	苞片滴水後，轉折處彎曲

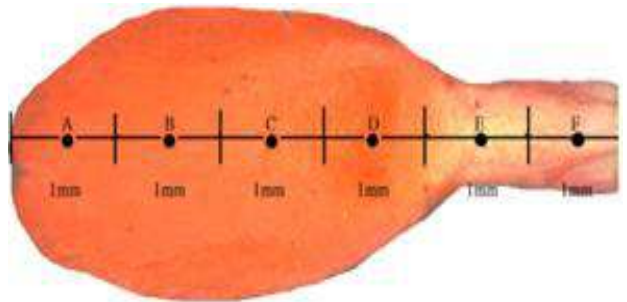
實驗二 尋找控制形變處

一、以Micropipette滴水後觀察

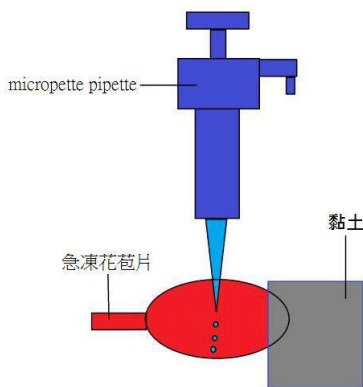
自實驗一得知急凍花苞片滴水反應，觀察各位置滴水效果，找出控制苞片彎曲關鍵位置

(一) 實驗步驟

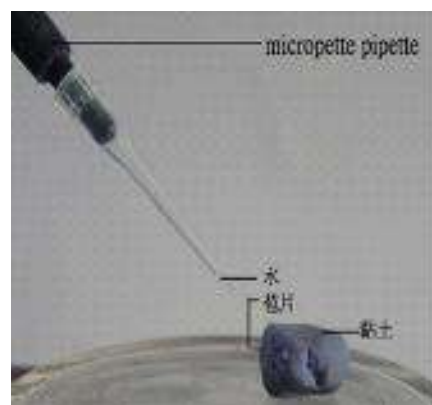
1. 取一片苞片
2. 將急凍花苞片固定在黏土，苞片可以
(固定在黏土使懸空的目的:水珠會將急凍花苞片黏起，使花瓣偏移)
3. 滴0.5ul水在腹面A-F點



圖二 在腹面 A-F 點滴水測試每點間隔範圍為 1mm，在這些點滴水測試








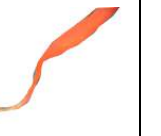
圖三 滴水示意圖



圖四 滴水操作圖

(二) 實驗結果及分析

表二、觀察不同滴水位置的變化

	A	B	C	D	E	F
滴水效果 及形變角度	無效果	無效果	無效果	無效果	明顯	無效果
圖片						

滴水入苞片，苞片形變，知E部分是關鍵處，但不確定在背面或腹面，想更確定關鍵位置。







二、蠟封法

以蜜蠟封住背腹面四處，看形變情形

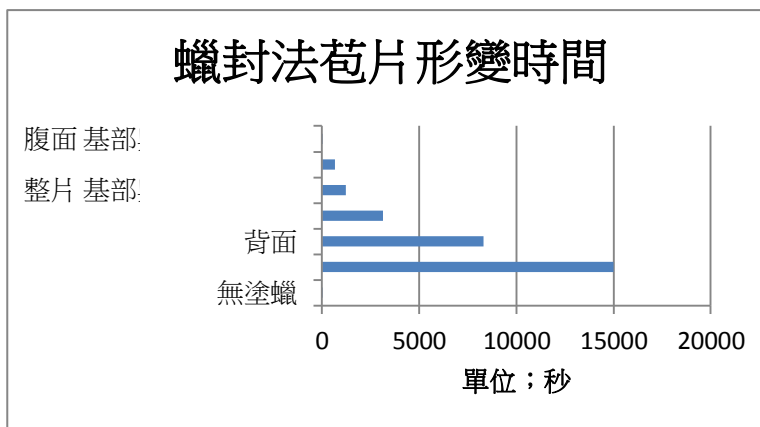
(一) 實驗步驟

1. 將蠟塊加熱融化，塗蠟在苞片，靜置約一分鐘
2. 為避免苞片浮起將鐵絲彎曲夾住苞片末端，浸入水中，計時至苞片形變

表三、封蠟位置圖(白色位置塗蠟)

	基部	中間	末端	整面
背 面				
腹 面				

(二) 實驗結果



圖五 蠟封法苞片形變時間



圖六 操作圖

(三) 分析

1. 以上各做法，最後都形變，表示蠟封法不能完全阻隔水進入，但形變時間不同，表示苞片上存在一關鍵入水處
2. 背面塗蠟形變時間大於腹面塗蠟形變時間，背面基部的大於腹面基部塗蠟，顯示背面纖維為苞片主要吸水處

三、沾水法

由蠟封法可知背面是水分的主入口，但所有苞片仍會彎曲，想利用沾水在不同點，找出關鍵位置，及其他位置對它的影響

(一) 實驗裝置

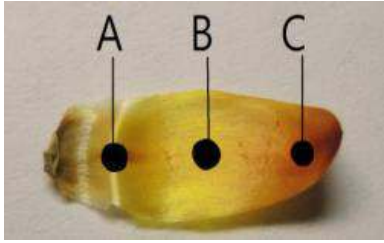
表四、實驗裝置的製作步驟

		
1. 取一細滴管	2. 戳一小洞	3. 填充棉花
		
4. 鑽洞在壁上	5. 管卡入洞	6. 使管口棉花濕潤
		
7. 黏土固定滴管間距	8. 將苞片吸附在管口	9. 苞片沾水裝置圖

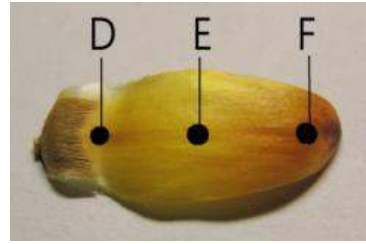
(二) 實驗步驟

1. 滴管單點沾水，沾六點測試

2. 記錄各沾水點形變時間



圖七 腹面沾水點A B C三點



圖八 背面沾水點D E F 三點

(三) 實驗結果

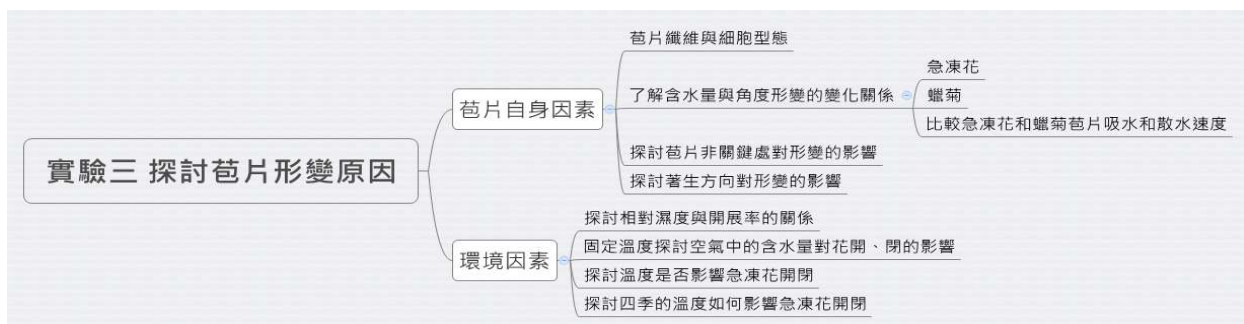
1. D點1min32s形變，其他點(A B C E F)無形變

(四) 分析

1. 當沾水在背面基部(D點)，苞片可形變，其他A B C E F點無法形變，表示D點為水的入口
2. 蠟封法的問題:(1)防水效果不佳(2)苞片只要微量水，就可造成大形變，蠟無法附著
3. 比較前面做法，單片苞片直接浸泡水中，約30s完成形變，固定點沾水則約1min30s，因為接觸到水的表面積不同，單位時間吸收的水量不同，所以形變時間不同

實驗三 探討苞片形變原因

一、苞片自身因素



(一) 苞片纖維與細胞型態

1. 取苞片各部位纖維，觀察乾濕長度

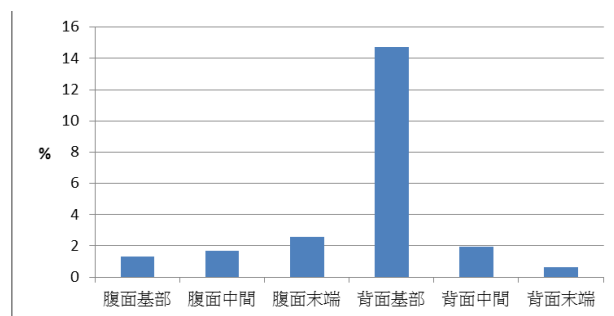
(1) 實驗步驟

A. 取下苞片六部位的纖維(如圖七、圖八)

解剖顯微鏡觀察

B. 滴水在纖維






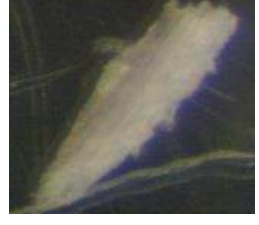





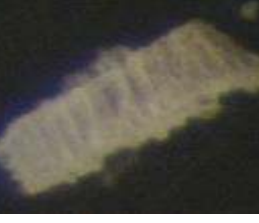
C. 測量乾溼纖維長度



圖九 苞片各部位纖維變化率分析圖

(2) 實驗結果

表五、各部位纖維乾濕型態

處理 位置	腹面基部	腹面中間	腹面末端
滴水前			
滴水後			
處理 位置	背面基部	背面中間	背面末端
滴水前			
滴水後			

(3) 分析

- A. 背部基部為主要吸水形變部位，變化率約14%
- B. 其他部位有些微膨脹，變化率小

2. 不同部位表皮細胞大小

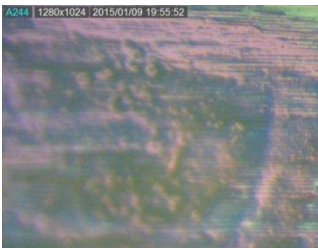
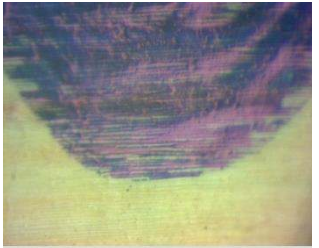
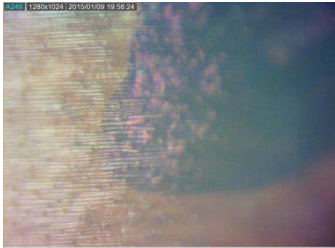
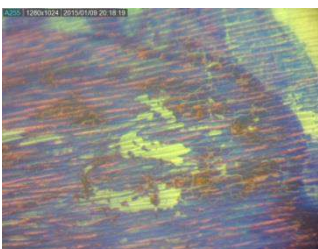
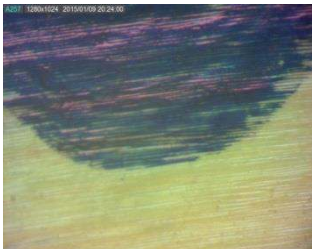

(1) 實驗步驟

- A. 在苞片A-F各點染色(如圖七、圖八標記處)解剖顯微鏡觀察
- B. 滴水在關鍵位置處 (其他位置不可接觸水)

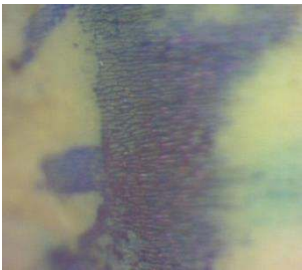

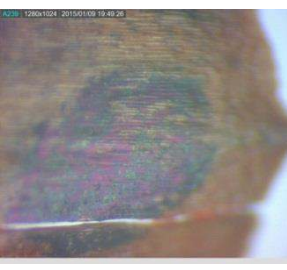
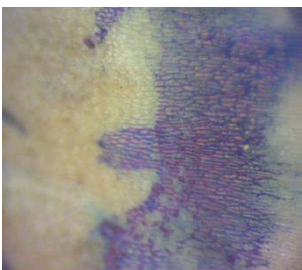
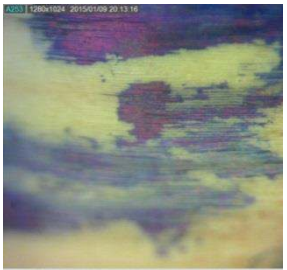

C. 比較各位置細胞乾溼差異

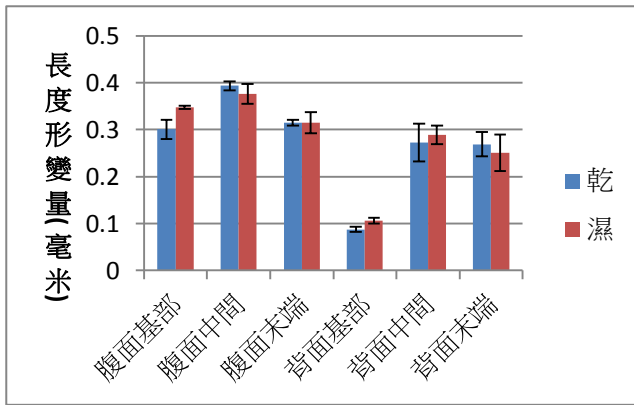
(2) 實驗結果

A. 表六、腹面細胞變化

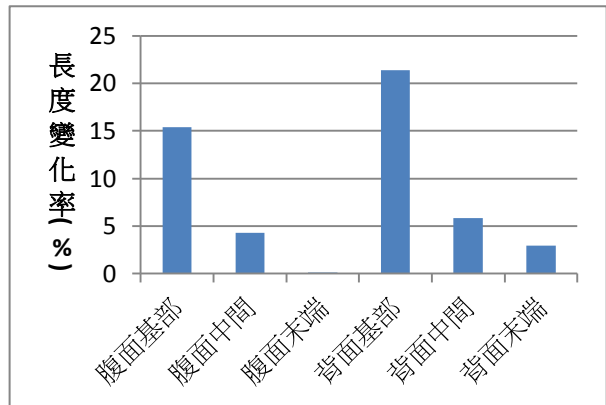
腹面基部	腹面中間	腹面末端
		
乾	乾	乾
		
濕	濕	濕

B. 表七、背面細胞變化

背面基部	背面中間	背面末端
		
乾	乾	乾
		
濕	濕	濕



圖十 細胞乾溼長度變化



圖十一 細胞乾溼長度變化率

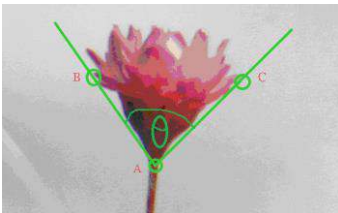
(3) 分析

- A. 背面基部的細胞寬短，沾水後變化率大，其他位置細胞瘦長，無變化
- B. 背部基部變化率約21%最高，腹面基部細胞次之，應該是被背面細胞拉扯的結果，其餘位置變化率小

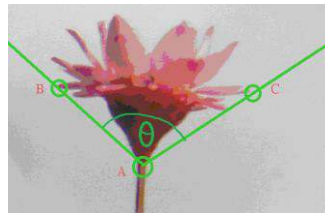
(二)了解含水量與角度形變的變化關係

1. 急凍花

(1) 形變角度定義



圖十二 展開最大的角度 θ



圖十三 不同濕度下的開展角度 θ_1

評估花開展程度的方法:花乾燥時開放角度為 θ ，花潮濕時開放角度為 θ_1 ，左圖為展開最大角度 θ ，右圖為不同濕度下的開展角度 θ_1 ， θ_1/θ 表示不同濕度時的花開展的比例

(2) 實驗步驟

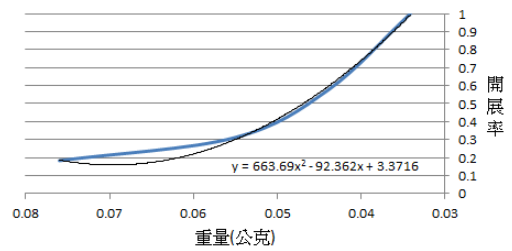
- A. 取十五朵急凍花，將急凍花固定在黏土上，避免只取一、兩朵而不準。拍下沾水後的角度
- B. 將急凍花秤重
- C. 將急凍花置於烘箱中烘乾
- D. 每 5 分鐘拍下角度及秤重，直到急凍花全開
- E. 以急凍花平均重量做為橫坐標，以平均開展率做為縱坐標，以折線圖畫出結果

表八、探討含水量與形變關係的實驗流程圖

		
<p>記錄沾水後的角度。</p>	<p>每五分鐘在烘箱中烘一次。</p>	<p>每烘乾後秤重並記錄角度。</p>

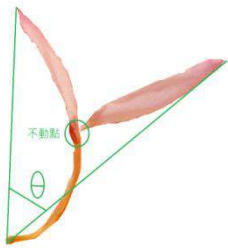
(3) 實驗結果

- A. 含水量越低時，開展率越大，花越開。
- B. 急凍花平均一朵含水量變化是 $5.5 \times 10^{-2} \text{g}$ ，角度變化量是為98.2度，實驗發現急凍花的開閉不是等速的，在一開始的速率較慢。



圖十四 花朵含水量不同時，開展率的變化

2. 蠟菊 (1) 定義形變角度

	<p>形變角度定義: 將苞片乾燥與潮溼兩圖疊合，苞片乾燥時在其基部與末端端點做一直線，潮濕時，以乾燥時的線段為一邊，潮濕時在其基部與末端端點做一直線，夾角為 θ。</p>
---	---

(2) 苞片角度形變量和吸水量的關係

A. 實驗步驟

- a. 取 30 片蠟菊苞片置於密閉便當盒中
- b. 放一溫濕度計和沸水，待相對濕度升至 94%，秤濕重
- c. 每片苞片平均含水量:(溼重-乾重)/30
- d. 每片苞片形變角度:溼角度總和-乾角度總和/30

B. 實驗結果

- a. 平均單片苞片吸水量約 $1.8 \times 10^{-3} \text{g}$ ，苞片平均形變角度約 120.7 度，標準差 7.2 度

(3) 內外層苞片對形變的影響

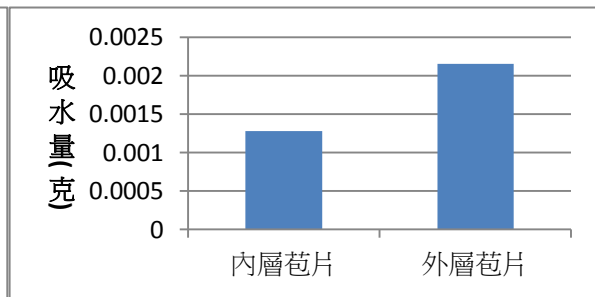
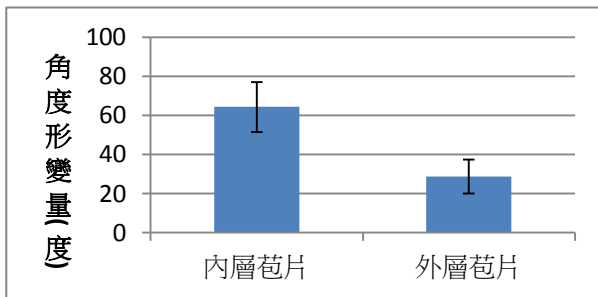
表九、內外層苞片型態比較

A. 實驗步驟

- 取同朵花內層及外層苞片，測乾重
- 使相對溼度升至 94%，測溼重，將乾燥時和潮濕時的圖疊合，測量角度
- 平均吸水量:(溼重-乾重)/片數
- 測量內外層苞片的面積、形變角度、長度、厚度、形變時間

內外層	內層	外層
腹面面積	51 mm ²	85 mm ²
形變角度	64	29
苞片長度	13.5mm	15.6mm
苞片基部厚度	0.23mm	0.52mm
浸水形變時間	約 30-60sec	約 30-60sec

B. 實驗結果



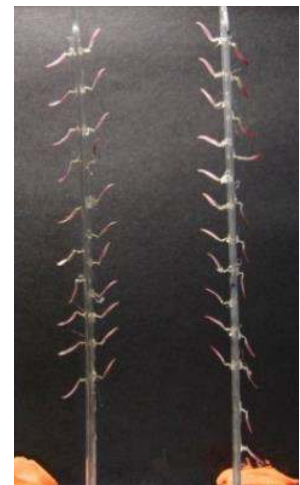
圖十五 內層苞片形變量大於外層

圖十六 外層苞片吸水量大於內層，形變量較內層少

(4) 不同厚度、寬度、長度的苞片角度形變

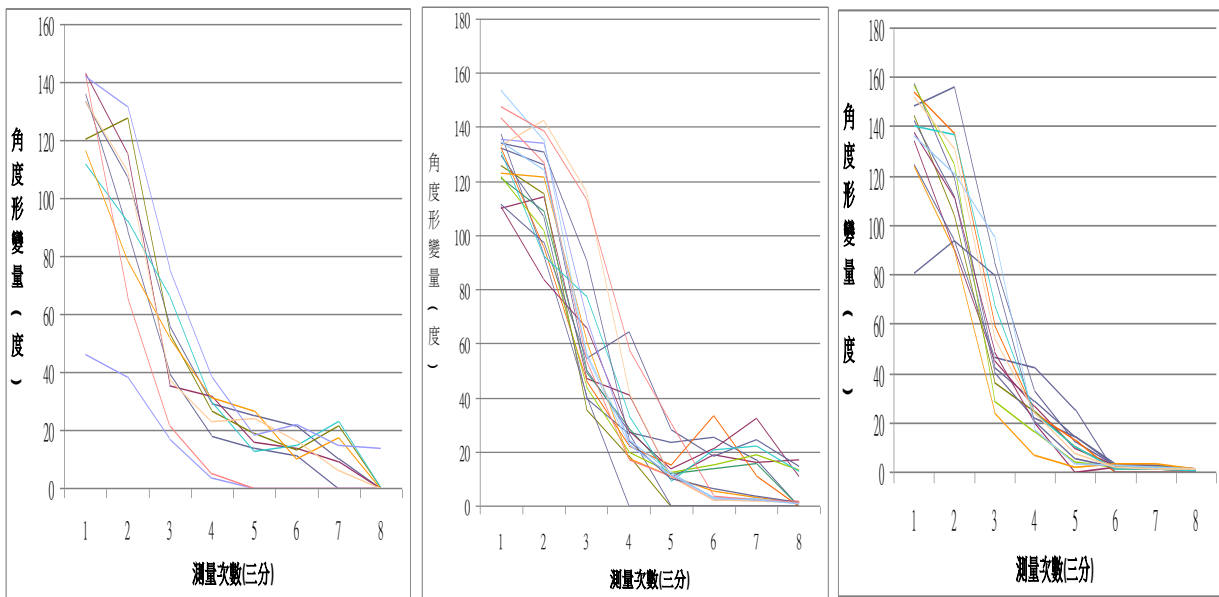
A. 實驗步驟

- 從三朵蠟菊上，每朵取相似苞片，共 43 片，將苞片基部黏在尺上
- 滴 5.0uL 水在關鍵處，等待 10 分鐘再吸乾
- 架設縮時攝影，每三分鐘拍攝一次
- 將結果以橫軸為時間，縱軸為角度形變量畫出
- 選擇同一朵花中形變量趨勢相近的苞片，將作為感測器實測用
- 對實測用的苞片，分析厚度、長度、面積、寬度，比較形變趨勢相似的苞片特徵



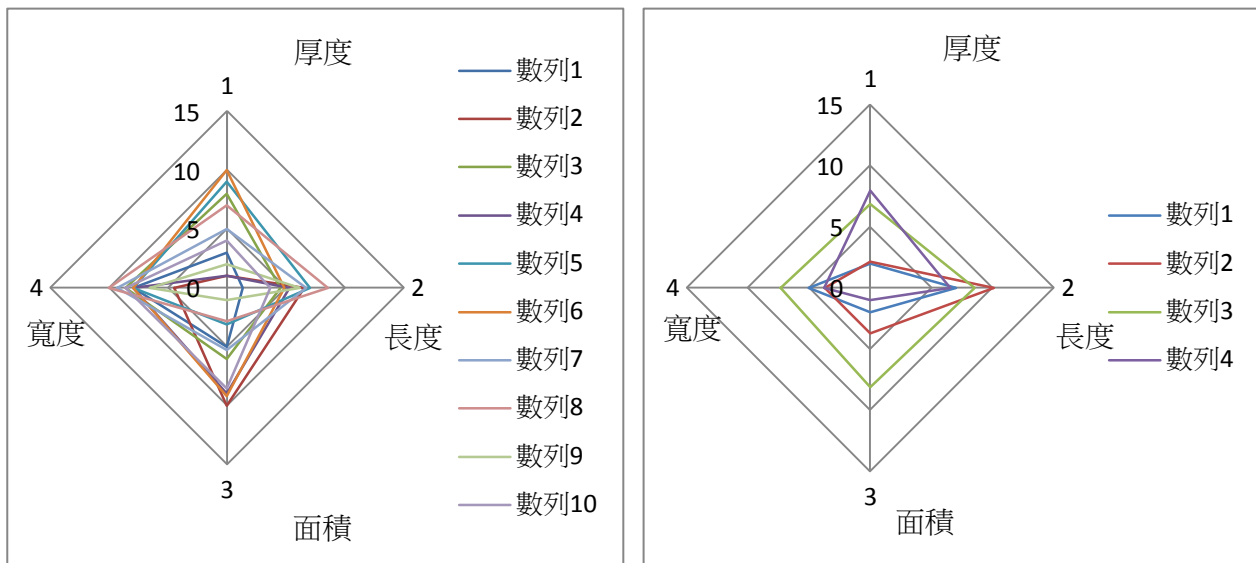
圖十七 苞片黏於尺上
拍攝縮時攝影

B. 實驗結果



圖十八 第一朵花 苞片 1-10 圖十九 第二朵花 苞片 11-29 圖二十 第三朵花 苞片 30-43

a. 經測量發現第三朵花的苞片形變趨勢排除較不規則的曲線後，大致相近，將其中 10 朵做感測器實測，並對第三朵花的苞片進行型態比較



圖二十一 形變趨勢相似的 10 片苞片型態分析 圖二十二 與左圖不相似的 4 片苞片型態分析

b. 苞片型態相似不一定有相同形變趨勢，型態不相似的苞片也可能有相似形變趨勢，無法觀測單一型態變因了解變化趨勢，而細胞生長的內部顯微結構也可能影響形變。

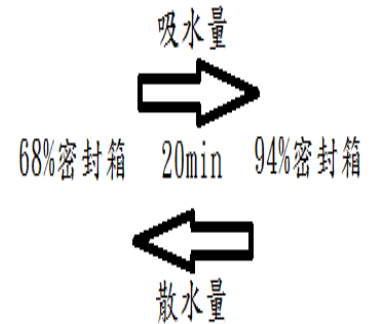
3. 比較急凍花和蠟菊苞片吸水和散水速度

(1) 實驗步驟:

- A. 取數朵急凍花，將急凍花固定在黏土上，並取足量的蠟菊苞片，形狀大小接近
- B. 製造出兩個溫度接近，濕度差異大的密閉環境(29.5°C，94%；29.3°C，68%)
- C. 先將急凍花和蠟菊苞片置於低濕度的環境，使其和環境平衡，秤重
- D. 置於高濕環境二十分鐘，秤重，移回低濕環境，二十分鐘後再秤重
- E. 以時間為橫座標，重量為縱座標，畫一長條圖
- F. 壓平蠟菊苞片，測面積
- G. 測苞片厚度

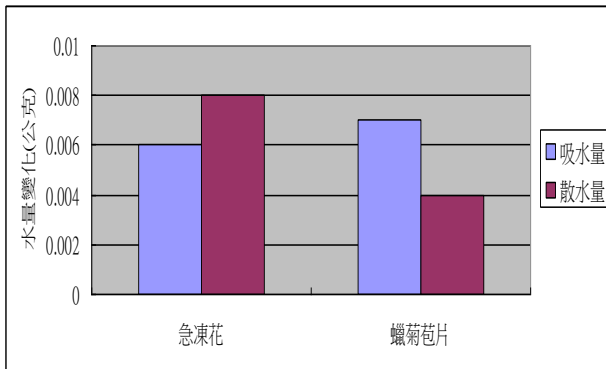


圖二十三 裝置圖



圖二十四 將苞片放在不同濕度空間觀察吸散水速率

(2) 實驗結果、分析與討論



圖二十五 急凍花和蠟菊苞片的吸散水量長條圖

- A. 急凍花在花開時的重量變化大於在花閉時的重量變化，意指急凍花在吸水量小於散水量。
- B. 蠟菊苞片在花開時的重量變化小於在花閉時的重量變化，意指蠟菊苞片吸水量大於散水量。

表十、急凍花與蠟菊比較

種類	急凍花苞片	蠟菊
腹面面積	9mm ²	85 mm ²
形變角度	50	29
苞片長度	5.0mm	15.6mm
苞片基部厚度	0.07mm	0.52mm
浸水形變時間	約 30-60sec	約 30-60sec

(三) 探討苞片非關鍵處對形變的影響

(1) 實驗步驟

- i 取 100 片苞片，烘箱 50 度烘 10 分鐘
- ii 滴 4ul 水在關鍵位置，靜置 5 分鐘
- iii 剪去關鍵處部分，秤溼重，再烘乾秤重
- iv 非關鍵處吸水量：總溼重-總乾重/100



圖二十六 剪去苞片基部

(2) 實驗結果

表十一、100 片苞片 B 部分實驗前後重量

部位	烘乾前 B	烘乾後 B	吸水量
重量(g)	3.675	3.660	1.5×10^{-2}

(3) 分析

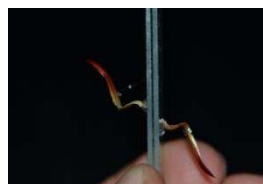
苞片非關鍵處吸水量占總吸水量 8.3% 以下，證明非關鍵處 0.5%-2% 的纖維長度變化率為吸收微量水分纖維伸長的結果，但非關鍵處纖維的伸長對苞片形變無顯著貢獻。

(四) 探討著生方向對形變的影響

1. 實驗步驟

- (1) 取兩片原始形狀及厚度接近的苞片

(如圖二十七裝置)



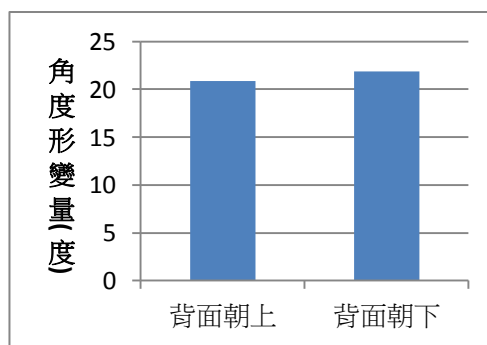
圖二十七 乾燥情形 圖二十八 潮濕情形

- (2) 置於烘箱五分鐘，記錄角度

- (3) 置於相對濕度 90% 環境 30 分鐘，記錄角度

2. 實驗結果

- (1) 背面朝上者及背面朝下者形變量相近，力矩不影響形變



圖二十九 背面朝上及背面朝下形變量

二、環境因素

(一) 探討相對濕度與開展率的關係

想了解環境本身含水量、相對濕度和開展率的關係

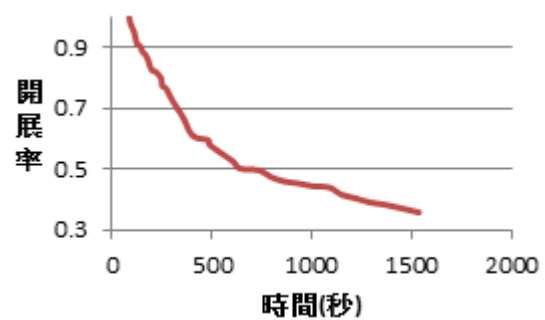
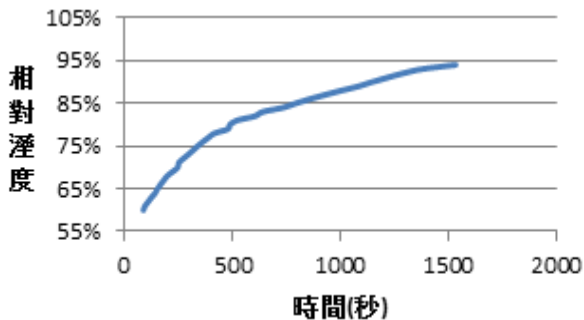


圖三十 裝置圖

1. 實驗步驟

- (1) 取數朵開花狀態的急凍花，將急凍花固定在黏土上
- (2) 將急凍花置於便當盒中，放入乾燥劑(silica gel)直到濕度降到低於 30%
- (3) 擺一溫濕度計於便當盒中，放入 60°C 的水，相對濕度會一直增加，設定 20 秒拍一張相片
- (4) 以時間做為橫坐標，以當下的含水量和開展率做為縱坐標，以散佈圖畫出結果

2. 實驗結果及分析



圖三十一 空氣中的含水量隨時間的變化

圖三十二 花開展率隨時間的變化

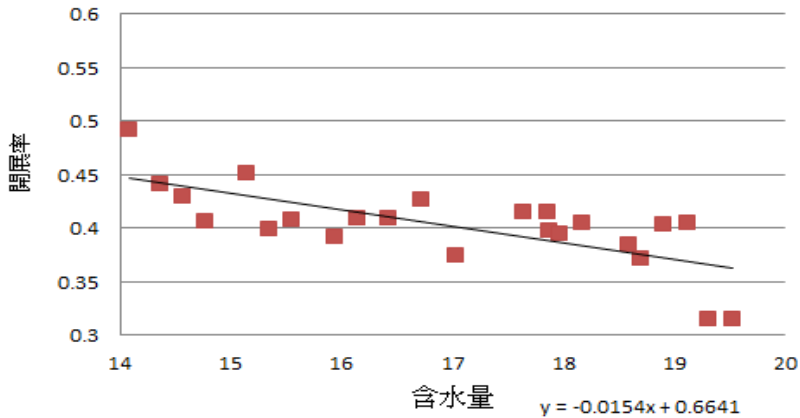
- (1) 時間越久，空氣中的含水量越大，而開展率越小，表示時間越久花越閉。
- (2) 含水量以 Excel 畫出來的擬合線為 $y = 0.005x + 14.004$ ，開展率以 Excel 畫出來的擬合線為 $y = -0.0004x + 0.8915$ ，斜率接近相反數。表示含水量和開展率變化接近。

(二) 固定溫度探討空氣中的含水量對花開、閉的影響

(1) 實驗步驟

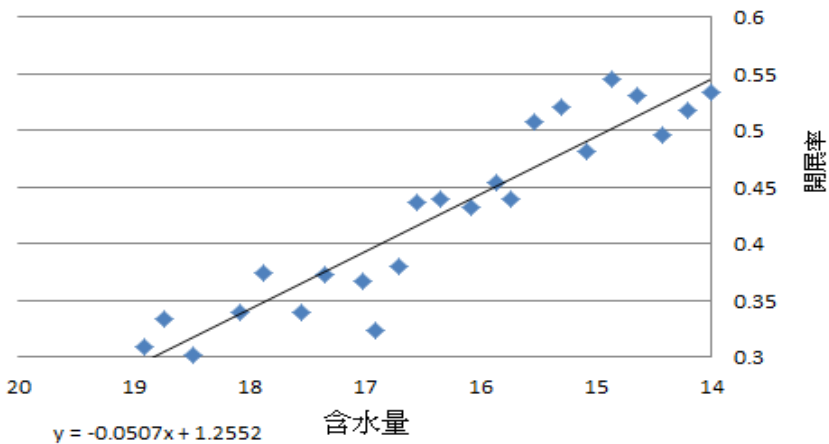
- i 取數朵開花狀態的急凍花，將急凍花固定在黏土上
- ii 將急凍花置於便當盒中，放入乾燥劑(silica gel)直到濕度降到低於 30%，製造低濕度；將急凍花置於便當盒中，放入 60°C 的熱水直到濕度升到 91%，製造高濕度
- iii 花閉實驗：擺一溫濕度計於便當盒中，放入 60°C 的水，相對濕度會一直增加，設定每 20 秒拍一張相片；花開實驗：擺一溫濕度計於便當盒中，放入乾燥劑，使相對濕度不斷下降
- iv 觀察急凍花每一個濕度的角度
- v 以空氣中的含水量做為橫坐標，以開展率做為縱坐標，以散佈圖畫出結果

(2) 實驗結果



圖三十三 花閉過程中，空氣中的含水量對開展率的影響

- i 隨著空氣中含水量的增加，急凍花的開展率下降，也就是花朵逐漸閉合。
- ii 以 Excel 畫出來的擬合線為 $y = -0.0154x + 0.6641$ 表示隨空氣中含水量的增加花開展率下降。
- iii 實際由花開到花閉空氣中含水量變化為 5.42 g/m^3 ，而開展率變化為約為 0.18，平均一朵急凍花最大開展率為 98.2 度，角度變化 17.31462 度。



圖三十四 花開過程中，空氣中的含水量對開展率的影響

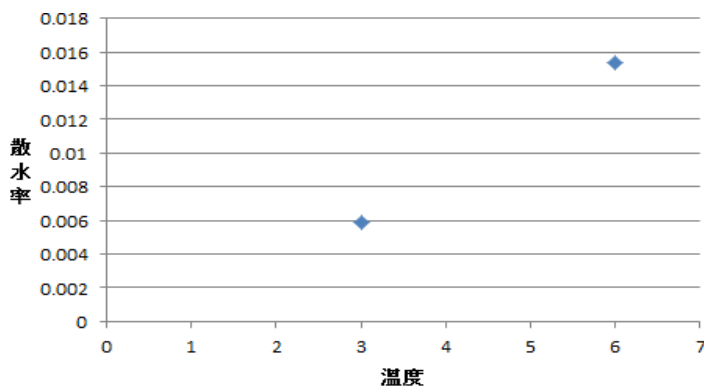
- iv 隨著空氣中含水量的減少，急凍花的開展率上升，也就是花朵逐漸打開。
- v 以 Excel 畫出來的擬合線為 $y = -0.0507x + 1.2552$ 表示隨空氣中含水量的減少花開展率增加。
- vi 實際由花閉到花開空氣中含水量變化為 5.42 g/m^3 ，而開展率變化為約為 0.25，平均一朵急凍花最大開展率為 98.2 度，角度變化 25.16477 度

(三) 探討溫度是否影響急凍花開閉

1. 實驗步驟:

- (1) 選二十朵開的急凍花，分成兩批，兩批重量一致
- (2) 將密封箱箱打開，溫濕度和外界平衡(23°C)
- (3) 將箱子放在 26°C 的恆溫箱內並升到 26°C，其中一批秤重後置於箱子內，十分鐘後取出秤重
- (4) 將箱子放在 29°C 的恆溫箱內並升到 29°C，另一批秤重後置於箱子內，十分鐘後取出秤重
- (5) (取出後重量-取前重量)/ 取前重量=散水率

2. 實驗結果、分析與討論



圖三十五 在空氣中同含水量不同溫度下散水率的變化

- (1) 溫度越高，散水率越大。表示溫度越大，水氣的分子動能越大，越容易蒸發出去而不容易被急凍花吸收，溫度越低，分子動能越低，越容易附著到苞片上被苞片吸收，故散水量越低。

(四) 探討四季的溫度如何影響急凍花開閉

1. 探討四季的溫度如何影響急凍花開展率

急凍花對水敏感在雨天(濕度高)會閉合，晴天會開花(濕度低)，為了設計出配合四季的感測器，藉由此實驗了解在四季花的開展率有何不同。

(1) 實驗步驟:

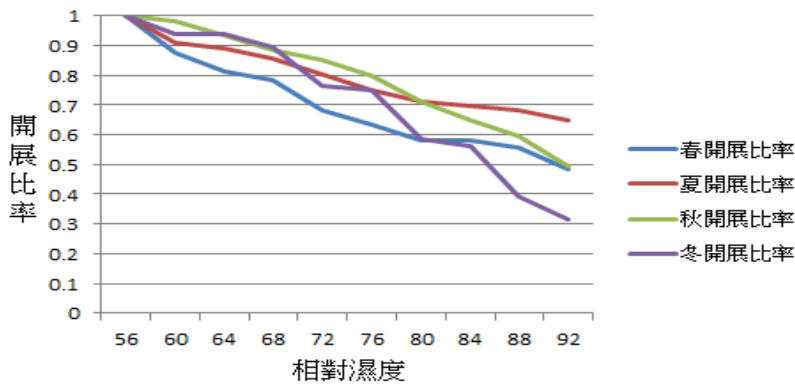
- i 將打開的急凍花等依照裝置架設，並置入恆溫裝置中，記錄初始溫度和濕度
- ii 初始溫度(春為三四五月溫度的平均，以此類推):春:22°C，夏:30°C，秋:26°C，冬:17°C。初始濕度(一放入裝置的相對溼度): 56%

iii 觀察急凍花的花朵閉合狀況

iv 表十二、四季平均溫溼度

	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
氣溫 ℃	16.1	16.5	18.5	21.9	25.2	27.7	29.6	29.2	27.4	24.5	21.5	17.9
相對 濕度 %	78.5	80.6	79.5	77.8	76.6	77.3	73.0	74.1	75.8	75.3	75.4	75.4

(2) 實驗結果



圖三十六 四季不同相對濕度下花開展率的變化

- i 同一相對濕度下，其開展率夏天最大，冬天最小。例外:冬天在 76%到 84%之間並非最小的。
- ii 開展率從 1 降到 0.7 的濕度--- 以春和冬最少，夏最多。春和冬在這樣的濕度變化裡，空氣中的水量各增加 3.11 和 2.89，而夏增加 7.27。夏天要較多的水量變化，開展率才可達到 0.3。

實驗四：設計不凋花自動澆水系統

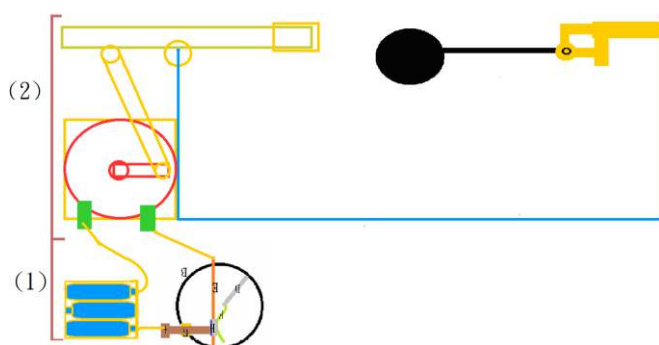
一、構想： 利用不凋花作為開關，控制澆水器澆水，當不凋花乾燥時打開，裝置開始澆水，當不凋花潮濕時閉合，裝置停止澆水。



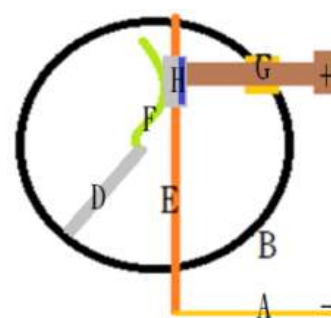
圖三十七 設計理念

二、控制說明：分為兩部分 1. 感測器 2. 澆水系統

感測器中，打開時，碰到圍繞在花朵旁邊的擺錘，使擺錘碰到螺絲，形成迴路，驅動馬達，馬達牽動舀水勺上下來回澆水，當水澆到蠟菊苞片，蠟菊苞片閉合，擺錘回到原來的位置，離開螺絲，迴路不通，馬達停止轉動，舀水勺停止澆水。



圖三十八 自動澆水系統設計圖



圖三十九 感測器設計圖(A：電線 B：透明容器

C：螺絲 D：鋁片 E：金屬銅線 F：蠟菊苞片)

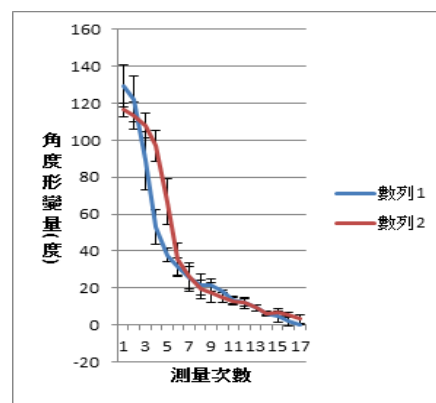
三、感測器製作

(一) 製作感測器

1. 配合苞片的形變製作：

根據前實驗，選出了變化率相近的共 10 片苞片，放入感測器中，滴水進行前測，利用前測結果，選出共 8 片苞片進行實驗。編號 1、2、5 片屬於數列一，

編號 3、4、6、7、8 屬於數列二





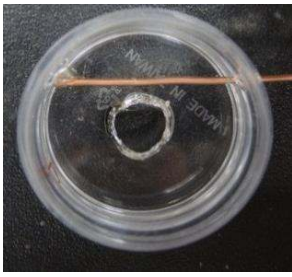

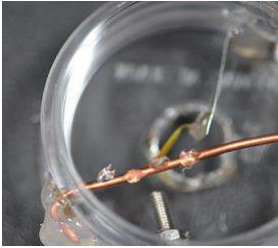


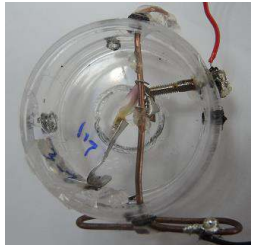
圖四十 苞片形變折線圖

表十三、苞片對應的洞數及洞大小

洞數	一個洞	兩個洞	兩個洞	兩個洞	三個洞	三個洞	三個洞	四個洞
洞大小	(3.5mm)	(3.5mm)	(3mm)	(2.5mm)	(3.5mm)	(3mm)	(2.5mm)	(3.5mm)
苞片	7	6	3	4	2	8	1	5

2. 步驟：

表十四、製作感測器的步驟圖

			
1. 正中央鑽一直徑1cm 洞，磨平不平處	2. 在壁上鑽兩個洞。	3. 取一銅線穿過側邊的洞，以熱熔膠固定	4. 取一螺絲穿過側邊的洞，以熱熔膠定。
			
5. 取一苞片黏在鋁片並固定在感測器上	6. 製作擺錘：將鐵絲焊接在鋁片上	7. 掛上彎曲成適當形狀的擺錘，使苞片背面將擺錘推至螺絲	8. 焊接感測器線路


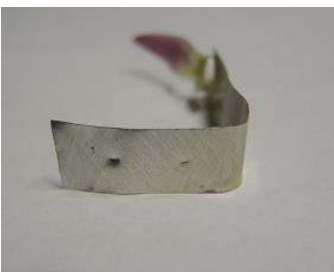

(1) 為了使感測器能方便替換苞片

A. 將鋁片固定在感測器的壁上形成卡榫

B. 將蠟菊苞片黏在另一個鋁片上

C. 將鋁片插入卡榫

表十五、可拆卸式替換苞片

		
卡榫黏於壁上	替換部分	插入鋁片的卡榫

(二) 改變感測器的通風程度，使適用於春夏秋冬

春夏秋冬各季節的溫溼度不同，藉由改變壁上洞數及洞的大小，調整感測器的通風程度，改變潮濕不凋花水分蒸發速率，使不凋花開關的速率不同，調整至不同澆水天數。

2. 改變洞數和洞大小

(1) 實驗步驟：

A. 將感測器置入水中，十分鐘，待水完全排出後

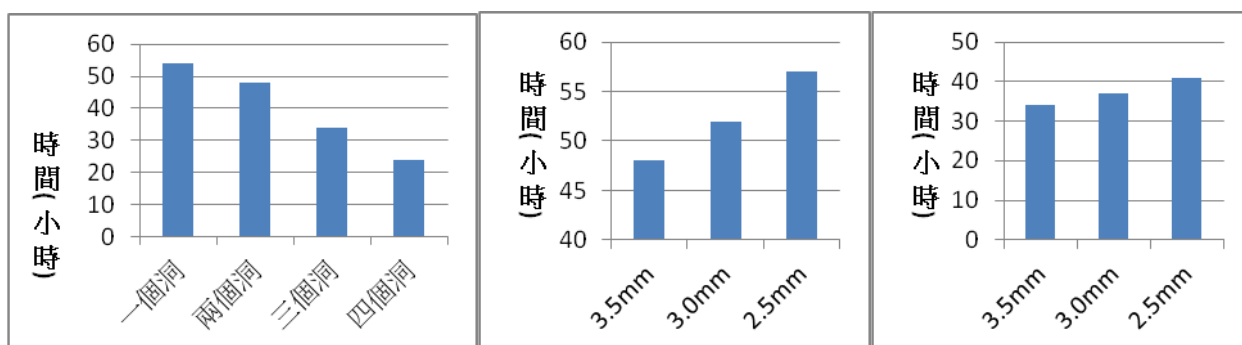
B. 將定時器設定為每 30 分鐘拍攝一張，開始計時

拍攝並觀察蠟菊苞片的開閉



圖四十一 鑽洞的器具 圖四十二 3.5mm 的洞 圖四十三 3.0mm 的洞 圖四十四 2.5mm 的洞

3. 實驗結果：



圖四十五 改變洞數(1~4 個洞 3.5mm) 圖四十六 改變兩個洞洞大小 圖四十七 改變三個洞洞大小

4. 分析：

(1) 適用於一至三天感測器的洞數及洞大小

一天	兩天
四個洞(3.5mm)	兩個洞(3.5mm)

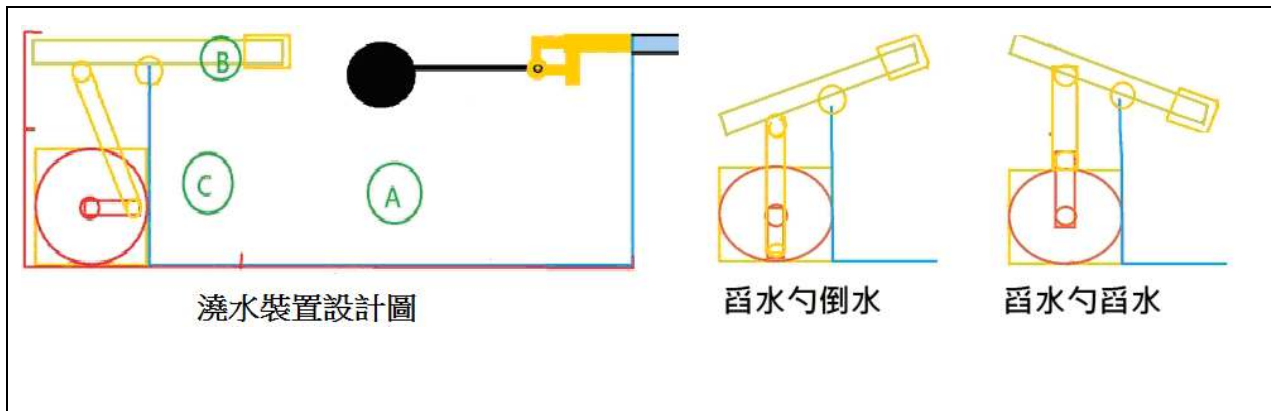
(2) 感測器可藉由改變洞數及洞大小調整開啟時間

四、澆水裝置

(一) 設計：

水管連接 A，水量足時停止供水；通電時，B 轉動帶動冰棒棍，冰棒棍帶動舀水勺上下擺動，來回舀水。

表十六、澆水裝置設計(A 控制入水量系統 B 為舀水勺 C 為馬達)及運作



(二) 製作：

表十七、澆水裝置製作步驟

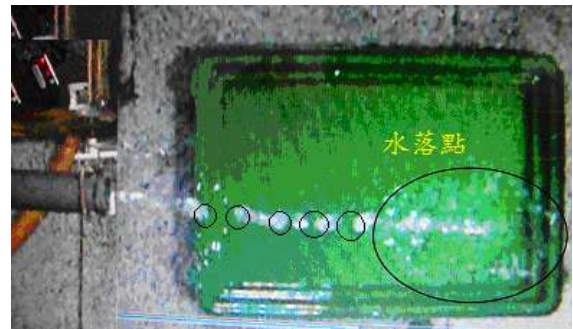
<p>1. 利用水管及馬桶入水裝置組裝 A 不分(控制入水量系統)，固定在滑輪桶。</p>	<p>2. 在水管一端黏上具切口的塑膠瓶口部，形成舀水勺，以利水進入。</p>
<p>3. 兩枝吸管將舀水裝置固定在滑輪桶邊緣，使其可以上下擺動</p>	<p>4. 以馬達連接冰棒棍，並連接舀水勺，使舀水勺可隨馬達上下舀水</p>

(三) 測試澆水器

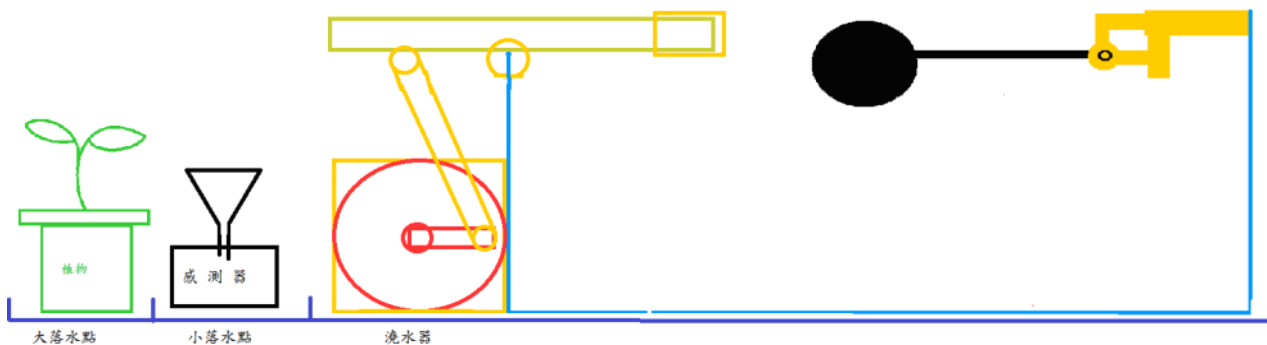
1. 目前使用的舀水勺一次可舀約 10~15ml 水(使用 9V 電池)
2. 當水由舀水勺舀至感測器，水流至不凋花，當不凋花剛開始形變，鋁箔便離開鋁片，迴路不通，澆水系統停止澆水。實測上述的這段時間約有 15 秒(舀水器可舀水 15 秒)，平均可來回舀水 10 次，總舀水量約 110-150ml 水。

(四) 澆水範圍

一般盆栽的大小約為水落點的大小，為了讓感測器能接到水並做出反應，而又不會阻礙到澆水器澆水，並延長不凋花閉合時間，讓澆到感測器的水盡量減少，並確保感測器有澆到水所以小圈的水落點放感測器，大圈的水落點放植物，讓植物能獲得多數水分。



圖四十八 水落點



圖四十九 澆水器、感測器和植物的位置圖

伍、討論

一、尋找不凋花控制形變處

這類的花擁有木質化的花瓣 (亦稱為苞片)，在花朵沒有生命時依然會開閉，本研究以微量滴管、棉花細絲給水或封蠟泡水的方式精確地找出控制形變主要位置是在苞片背面轉折處，只有此處的細胞較寬短，推測加上木質化不嚴重，能吸水並造成形變，雖然

植物已死，此處細胞壁的網格會因纖維素的親水性而填充水，苞片腹面細長的纖維就無此特性，因此在苞片背面的形變帶動苞片的開閉，這種因兩側材質不同而形變的原理，工業上也常用來設計開關，就像無熔絲開關，而這類結構可稱為 bilayer 的構造。

二、探討影響苞片形變原因

1. 苞片自身因素

(1) 苞片的bilayer結構

研究發現樣品中蠟菊苞片最大形變為 120 度，急凍花苞片形變為 50 度，不同種類的不凋花因其苞片厚度、關鍵處的寬度、面積及長度有差異，會造成形變不同。研究也發現即使是同一朵蠟菊內外層苞片也具有形變差異，因此除了苞片型態差異影響形變，在生長過程中各細胞木質化的程度也是影響的因素。

2. 了解吸水性與角度形變的變化關係

(1) 苞片吸水量和空氣含水量關係

攝氏 15 度時空氣飽和含水量約 $1.35 \times 10^{-5} \text{g/cm}^3$ ，蠟菊苞片體積約 $2 \times 10^{-3} \text{cm}^3$ ，單片苞片吸水量約 $9 \times 10^{-1} \text{g/cm}^3$ ，可形變 120 度，蠟菊苞片吸水量遠大於空氣含水量，約為空氣飽和含水量 66666.67 倍，顯示此材質具良好吸水性。

(2) 急凍花角度形變量和吸水量的關係

在花開過程中，一開始須散較多水才能花開，開至一程度後，散一些水即可開很大，在花開過程速率沒有比例關係，推測是苞片結構，造成急凍花在開的過程中，要開到一個程度，花才容易開展發生形變，呈現此種不等速的變化

(3) 比較急凍花和蠟菊苞片吸水和散水速率

蠟菊關鍵位置厚度大於急凍花，且蠟菊木質化程度較急凍花大，當蠟菊細胞吸水後，水因纖維較厚不易蒸發，造成易吸水不易散水的結果；急凍花關鍵處薄，當細胞吸水後纖維不易保留水分，造成易散水不易吸水的結果。

2. 環境因素

(一) 探討相對濕度與開展率的關係

探討空氣含水量造成開展率變化的實驗可得知急凍花開展率隨濕度變化而變化，急

凍花只要置於一環境中，就會和該環境達到吸水和散水的平衡。急凍花在相對溼度約 80 %之前吸 少量的水，就可以有大角度的變化。有一篇關於松樹毬果的文章 (E.Reyssat,L.Mahadevan，2009)，提到毬果可以隨外界濕度改變而變化，即 Hydromorph，急凍花亦是如此。

(二) 溫度亦會影響急凍花開閉

以實驗證明除了空氣中的含水量外，外界溫度亦會影響急凍花開閉。推測是因為溫度的不同，會影響飽和水蒸汽的量，使其散水和吸水的平衡改變；空氣的溫度越低，可含的水量越低，急凍花越不傾向散水，使本身開展率及角度越大。

(三) 四季自然調控

1. 在四季實驗中，夏天溫度最高，其飽和水蒸汽的量較大，所以急凍花散水率大，花開展的程度大，所以在同一相對溼度中開展率最大；冬天溫度最低，飽和水蒸汽的量小，散水量小，所以花開展率小。
2. 夏天較容易開花，而冬天較容易閉花，用在感測器上時，因為夏天水氣蒸散速度較快，土壤較容易乾，植物較需要水，花的開展程度剛好又比較大，較容易啟動澆水裝置。冬天水氣蒸散速度較慢，土壤較不容易乾，植物較不需要水，花的開展程度又比較小，澆水頻率較不頻繁。

(四) 蠟菊苞片的演化意義

蠟菊苞片的關鍵位置及絲狀物的奈米效應具有傳播種子上的演化意義，下雨時，外層苞片匯聚雨滴，接觸到內層苞片的關鍵位置，造成形變，而外層苞片為湯匙弧形且面積大，可蓄水，使內層苞片持續形變，阻止種子飛出；而冠毛位於種子上，雨滴因奈米效應被冠毛撐住，防止種子接觸水在植株發芽，下雨過程，外層苞片關鍵位置也可能接觸雨滴而形變；直到空氣溼度降低，花朵乾燥，苞片打開，種子再藉由風力傳播。苞片在演化上有保護種子的意義，我們想將這個特性運用在製作感測器上。

苞片的型態是演化的結果，使花朵可以因應環境快速有效的控制開閉，每一片苞片的形變趨勢都不同，選擇形變趨勢相近的苞片進行實測，增加實驗的準確度；並選擇木質化程度較高，纖維較堅硬者，此種苞片在纖維素受水的親水性後，軟化程度較小，仍

可推動擺錘。



圖五十 噴水前 圖五十一 噴水後 圖五十二 絲狀物奈米效應 圖五十三 蠟菊種子及冠毛

三、利用不凋花設計自動澆水系統

我們知道，不凋花是以風力散播種子的，它可以在潮濕時吸水閉花，乾燥時開花以散布種子，對演化有極大意義。而對我們而言，我們可以利用它隨濕度變化的性質來製作澆水開關。

(一) 澆水系統研發歷程

1. 研發過程中遇到的困難：

- (1) 第一代為了利用急凍花的特性，將急凍花架設在迴路上，在急凍花苞片上固定鋁箔形成開關在製作時，鋁箔難以固定在苞片上，迴路無法連通，而且排水的洞造成水膜的產生，排水不易，再加上電線不易和鋁箔固定，所以研發第二代。
- (2) 第二代將急凍花水平擺放，鋁箔在急凍花的上下，旋轉蓋子時會使鋁片變形，而因為鋁箔圍繞在急凍花上下，阻擋水流到急凍花的路徑，使急凍花不易形變，所以研發第三代。
- (3) 第三代我們調整鋁箔位置，主要的問題是急凍花苞片參差不齊難以精準的使迴路接觸。所以最後我們改用蠟菊苞片，並將鋁箔換成鐵絲擺錘，能精準地推到形成通路
- (4) 第四代我們發現會有接觸不良的問題，所以我們將感測器的的線路焊接起來。

表十八、研發歷程

	第一代	第二代	第三代	第四代
設計圖				
運作方式	當急凍花打開時，鋁箔彼此離開，繼電器使迴路連上馬達，馬達開始轉動，舀水勺上下來回澆水；當水澆到急凍花，急凍花閉合，苞片上的鋁箔相觸，形成迴路，啟動繼電器，馬達斷電，澆水系統停止澆水。	當急凍花打開時，碰到圍繞在花朵上下的鋁箔，使鋁箔碰到金屬鋁片，形成迴路，驅動馬達，馬達牽動勺子上下來回澆水，水澆到急凍花，急凍花閉合，鋁箔回到原來的位位置，離開鋁片，迴路不通，馬達停止轉動，舀水器停止。	感測器中，急凍花打開時，碰到圍繞在花朵周圍的鋁箔，使鋁箔碰到金屬鋁片，形成迴路，驅動馬達，馬達牽動勺子上下來回澆水，當水澆到急凍花，急凍花閉合，鋁箔回到原來的位位置，離開鋁片，迴路不通，馬達停止轉動，勺子停止澆水。	感測器中，蠟菊苞片打開時，推擺錘，使擺錘碰到螺絲，形成迴路，驅動馬達，馬達牽動勺子上下來回澆水，當水澆到苞片，苞片閉合，鋁箔回到原來的位位置，離開，迴路不通，馬達停止轉動，勺子停止澆水。
製作步驟	<ol style="list-style-type: none"> (1)取一個連接罐，在底部鑽數個洞。 (2)在底部開一個洞。 (3)取一急凍花，穿過底部的洞，黏上。 (4)在急凍花的苞片固定鋁箔紙和銅絲 	<ol style="list-style-type: none"> (1)取一個連接罐，並在底部挖兩道溝。 (2)在外壁開兩個洞，以鉗子將外壁和底部的突出物磨平。 (3)在正下方挖一個小溝。 (4)取兩鋁片穿過底 	<ol style="list-style-type: none"> (1)在底部鑽兩道溝並於正中央鑽一溝槽，鑽子磨平溝槽凹凸不平處。 (2)在壁上鑽一個洞。 (3)取一鋁片穿過底下溝槽，彎曲成適當形狀，以熱熔膠固 	<ol style="list-style-type: none"> (1)正中央鑽一直徑1cm 洞，磨平不平處 (2)在壁上鑽兩個洞。 (3)取一銅線穿過側邊的洞，以熱熔膠固定 (4)取一螺絲穿過側邊的洞，以熱熔膠

		下及頂部的洞，彎曲成適當形狀，以熱熔膠固定，黏上鋁箔紙 (5)取一急凍花穿過側邊的洞，黏上去。	定。 (4)取一急凍花，穿過側邊的其中一個洞，黏上去。 (5)黏上鋁箔紙和另一側的鋁片。	定。 (5)取一蠟菊花瓣黏在鋁片上 (6)固定在感測器壁上 (7)彎曲鐵絲，焊接在銅片上 (8)掛上彎曲成適當形狀的擺錘。
--	--	--	--	---

(二) 澆水量的調控

實測結果，因花盆大小不同，需水量不同，以下列方法增加澆水量。

1. 增加總澆水量的方法：

考量裝置中並聯多顆9V電池，雖使舀水力道增強，但是舀水時間減少，使得澆水量變少，且有些植物需水量很多，因此可以在感測器上加裝一個九龍盃，當澆水或下雨時到九龍盃時，需累積足夠的水量，水才會流下去，藉以延長澆水時間。當晴天時，若急凍花打開使系統通電澆水，澆水路徑上的九龍盃累積一定水量後，水流至不凋花使不凋花閉合斷電



圖五十四

感測器和九龍盃

(三) 澆水器的優點

我們用簡單的構造，就可以控制澆水，因為不凋花在四季的形變略有不同所以可以配合四季的溫溼度控制澆水，如果下雨，它也會機動性的順延澆水時間。

四、仿生開關應用的展望

利用生物性材質隨環境濕度而變的特性有許多的應用，原理都是 bilayer。Bilayer 是指兩層不同結構的材質，合併後因吸散水及伸縮能力不同而在濕度變化時形變。論文中的例子有用兩種不同木材做出的大型生物性開關，可以做為感測器和運動器，可以隨蒸散水量變化來移動太陽能板，達到追日的目的(文獻)。

本實驗是生物性開關，因為本身不用能源，就可以偵測環境濕度變化，較電子控制裝置還省能。

如果要做成仿生開關，需要以電子顯微鏡分析苞片的結構，藉以設計出以 3D 列印印出的塑膠苞片，目前並沒有做結構的分析，雖然植物性原料沒有塑膠材料耐久，但因為經木質化，仍十分堅固，且目前設計出可拆卸是苞片的裝置，可以替換苞片。

陸、結論

一、了解不凋花開閉的機制

(一) 不凋花苞片形變關鍵位置位於背片近基部的轉折處。

(二) 苞片背腹面細胞差異形成 bilayer

二、影響形變的因素

(一) 材質

苞片的型態難以探討單一因素影響，因為生長時細胞的排列造成內部構造不同，使木質化的程度不同，角度形變的趨勢也非成正比，以一開始較快速，而這種材質具有極強吸水能力；苞片 bilayer 的結構，也造成吸散水速率的不同。

(二) 急凍花開展角度隨濕度變化而改變。濕度越大，開展率越小；濕度越小，開展率越大。

(三) 在可形的濕度內，急凍花在高濕度變化速率較低濕度時快。

(四) 外界溫度、空氣及其本身的含水量、苞片的材質會影響急凍花開閉。溫度越高，開展率越大；溫度越小，開展率越小。

三、利用不凋花設計自動澆水系統

(一) 不凋花為感測器測試 利用蠟菊苞片可因應水分而開閉的特性，可當感測及驅動元件，應用在澆水器上，可自動控制，省能環保

(二) 本實驗 調整感測器的通風程度(洞數及洞大小)，可以達到一天即兩天開啟的時間。

柒、參考資料

- 一、E.Reyssat and L.Mahadevan(2009).Hygromorphs:from pine cones to biomimetic bilayers.
- 二、Ann Bot. (2008). Characteristic thickened cell walls of the bracts of the 'eternal flower' *Helichrysum bracteatum*.
- 三、Phil.Trans.R.Soc.(2009).Actuation systems in plants as prototypes for bioinspired devices.
- 四、Ruggeberg M, Burgert I(2015)Bio-inspired Wooden Actuation for Large Scale Applications.
- 五、Theodore M. “Ted” Barkley , 〈Flora of North America/*Acteraceae/Xerochrysum*〉 ,
http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=250067833.1990 , 摘錄於 21
October 2014 .

【評語】 030812

利用不凋花對水份的敏感度，做出可以自動控制的澆花裝置，有創意、有應用性。未來可以測試更多的數據，做為商業產品可行性的評估。