

# 第十七屆旺宏科學獎

## 創意說明書

參賽編號：SA17-152

作品名稱：王牌捕手-捕蠅草的捕蟲設計  
與捕食效能管控

姓名：劉宇晴

關鍵字：捕蠅草、無柄腺、感覺毛

## 摘要

捕蠅草是加大捕蟲葉內側細胞膨壓，把葉用力撐開，使外側細胞進入高「位能」狀態。當昆蟲碰觸感覺毛時，內側細胞膨壓迅速降低，使得外側細胞的「位能」瞬間轉成「動能」，快速完成捕蟲運動，且捕蟲葉剩餘感覺毛的數量與捕蟲葉閉合時間有負相關。由於傷口刺激會促使捕蟲葉關閉，推測茉莉酸也會影響捕蟲葉閉合。捕蟲葉的無柄腺負責消化液分泌和養分吸收，但消化液的分泌與捕蟲葉的閉合是二條不同的路徑。無柄腺不吸收葡萄糖、維生素 B，但可以吸收胺基酸、甘油、維生素 E、 $\text{NH}_4^+$ 和 $\text{NO}_3^-$ 離子，推測無柄腺的細胞上有吸收胺基酸的載體蛋白，以及 $\text{NH}_4^+$ 和 $\text{NO}_3^-$ 離子通道，而且養分的吸收和捕蟲葉的開閉、消化液分泌與否皆無關。

## 壹. 研究動機

在自然界中，植物主要是以光合作用獲得成長所需養分。但食蟲植物比較特別，除了光合作用外，還會捕食昆蟲來補充營養。全球食蟲植物約有四百多種，有些設置「靜態」陷阱，讓昆蟲掉入再消化吸收(豬籠草)，有些分泌黏液，黏住昆蟲再消化吸收(毛氈苔)，但捕蠅草是以「運動」的方式進行捕食再消化，這引起我們的興趣。我們從觀察捕蟲葉的構造著手，探討捕蠅草是如何設計「活動」陷阱來捕食昆蟲，並研究剩餘感覺毛的數量與啟動陷阱閉合的時間是否有相關，以及機械刺激對捕蟲葉閉合的影響，再進一步探討捕蟲葉閉合與消化液分泌以及養分吸收的路徑。

## 貳. 研究目的

- 一、觀察捕蠅草的捕蟲葉上下表皮的構造差異
- 二、探討捕蟲葉陷阱的「設計」原理
- 三、感覺毛數量與捕蠅草閉合的關係
- 四、探討機械刺激與傷口對捕蟲葉閉合的影響
- 五、觀察無柄腺的分泌
- 六、探討無柄腺的吸收

## 參. 研究設備及器材

### 一. 實驗器材:

數位解剖顯微鏡      數位複式顯微鏡      筆記型電腦      Motic Image Plus 軟體  
刀片(數片)      紅墨水 葡萄糖      胺基酸 維生素 B、E      甘油      NH<sub>4</sub>OH  
KNO<sub>3</sub> 釣魚線      指甲油 滴管(數支)      載玻片(數片) 蓋玻片(數片)      捕蠅草



## 肆. 研究過程或方法

### 一、收集資料

#### (一) 捕蠅草的物種分類:

界：植物界 Plantae

門：被子植物門 Magnoliophyta

綱：雙子葉植物綱 Magnoliopsida

目：石竹目 Caryophyllales

科：茅膏菜科 Droseraceae

屬：捕蠅草屬 Dionaea

種：捕蠅草 *D. muscipula*

## (二)認識捕蠅草:

捕蠅草（學名：Dionaea muscipula）原產於北美洲，屬維管多年生雙子葉草本植物。葉片邊緣有規則的刺毛，英文名稱為 Venus Flytrap，意思是「維納斯的捕蠅陷阱」。捕蠅草擁有完整的根、莖、葉以及花朵和種子，根短且不發達，主要的功能就是吸取水分。莖也短小，連著葉柄並不明顯，在生長過程中地下會發育出鱗莖。

捕蠅草的葉片是最主要而且明顯的部份，葉子輪生，呈蓮座狀以叢生的型態生長。葉為扁平狀或細線狀，末端帶有一個捕蟲夾(葉)，這才是會捕捉昆蟲的葉子部份。捕蟲葉由中央分開，形似貝殼一樣為兩瓣的構造，長約 2—3 公分。葉緣部份含有蜜腺和齒狀的刺毛，蜜腺會分泌出蜜汁來引誘昆蟲靠近。刺毛基部則會分泌出黏液，用於防止昆蟲掙脫以及葉瓣的黏合。葉面則分布有許多的無柄腺。一般呈紅色或是橘色，是分泌消化液來分解昆蟲和吸收其養分的部位。養分都吸收完成之後，葉瓣就會再度打開，全部時間約花 5—10 天。葉片內側則有數對（一般是三至五對）細小而且敏感的「感覺毛」。第一次碰觸感覺毛，葉片並不會有什麼動作，當昆蟲連續刺激兩次時，葉片就會在平均大約 0.5 秒內馬上合起來(Escalante-Perez et al · 2011)。如果第二次碰觸的時間與第一次碰觸時間相差超過約 20 秒時，葉片會變成半合閉或是沒反應的現象。除非這時馬上再刺激第三次，那葉片也會迅速的合起來。每個葉片大約可以捕捉 3—4 次，超過這個次數葉子就會漸漸枯萎。

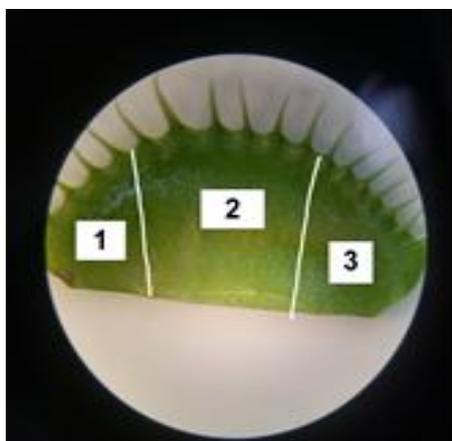
捕蠅草的感覺毛就像是一個感應裝置，經過連續兩次碰觸的刺激時，葉的基部會產生大約 100 毫伏（mV）的動作電位（Action potential）到葉子表面上，造成葉片內側的水分迅速流失，導致內外壓力不等所以葉片就因此閉合(Escalante-Perez et al · 2011)。這樣的捕蟲機制是一組相當精密的結構搭配，類似動物的神經組織產生傳輸信息一般。

## 二.進行實驗

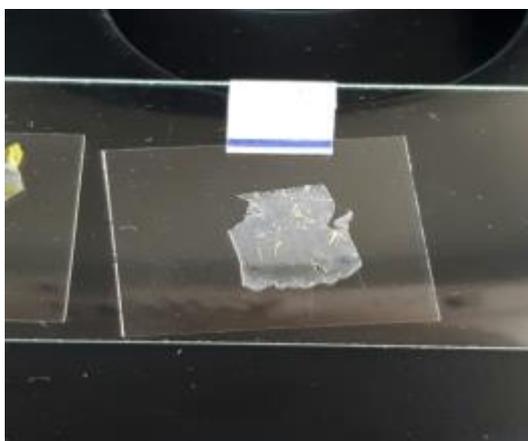
### (一)觀察捕蠅草葉片上下表皮的構造

步驟:

- 1.將捕蠅草的葉柄與捕蟲葉分離，將捕蟲葉置於解剖顯微鏡(1×10)下觀察，記錄感覺毛數量並拍照。
- 2.將捕蟲葉與葉柄分離後，再分成葉尖(1)、中間部位(2)與基部(3)三部份(圖一)。
- 3.把指甲油反覆厚塗在葉的上下表皮上，靜置 30 分鐘後，以解剖刀和鑷子在上下表皮各區撕取一層細胞之厚度(圖二)。
- 4.置於複式顯微鏡（100X）下觀察捕蟲葉，在各區隨機拍照 3 次，記錄細胞種類並計算無柄腺密度(附表一)。
- 5.將步驟 3 的標本改用掃描式電子顯微鏡觀察，拍照並記錄。
- 6.將捕蟲葉橫切及另外做成樹脂包埋切片，分別置於複式顯微鏡（100X）下觀察並拍照，記錄葉肉細胞外觀。
- 7.分別將閉合與張開的捕蟲葉主脈橫切，置於複式顯微鏡（100X）下觀察並拍照，記錄主脈基部細胞在閉合與張開時的變化。



(圖一)



(圖二)

## (二)探討捕蟲葉陷阱的設計原理

步驟:

1. 將打開的捕蟲葉橫切，置於複式顯微鏡（100X）下，將葉脈基部內側和外側細胞拍照，各任取 3 個細胞，以 Motic Image Plus 軟體測量液胞的面積(圖三)(附表二、三)並記錄(作為對照組)。
2. 不移動玻片，滴一滴 1M 的蔗糖液於載玻片上並靜置 5 分鐘，將葉脈基部內側和外側細胞拍照(相同畫面)，測量步驟 1 的 6 個相同液胞的面積(圖四) (附表二、三)並記錄，與步驟 1 對照後，計算細胞的「質壁分離率」(附表四、五)。用來推測內側和外側細胞的原始膨壓的大小。
3. 改用閉合的捕蟲葉橫切，重複步驟 1-2。

※質壁分離率=(1M 液胞的面積－對照組液胞的面積)/ 對照組液胞的面積



(圖三) 對照組



(圖四)1M 的蔗糖液

### (三)感覺毛數量與捕蟲葉閉合的關係

步驟:

- 1.選定一盆捕蠅草，將一片捕蟲葉，觸碰其中一根感覺毛(圖五)2 次，模擬捕蟲時的過程，用碼表記錄從碰觸感覺毛到閉合所需時間，作為對照組。
- 2.同一盆捕蠅草，另選一捕蟲葉，用鑷子將捕蟲葉上的一根感覺毛拔下(圖六)，再觸碰剩餘感覺毛 2 次，模擬捕蟲時的過程。用碼表記錄從碰觸感覺毛到閉合所需時間。
- 3.同一盆捕蠅草另選捕蟲葉，分別用鑷子拔下 2、3、4、5、6 根感覺毛(每次間隔 2 分鐘)，重複步驟 2.
- 4.另選二盆捕蠅草重複步驟 1--3 兩次，記錄平均結果並分析。



(圖五)感覺毛構造



(圖六) 拔感覺毛

### (四)探討機械刺激對捕蟲葉閉合的影響

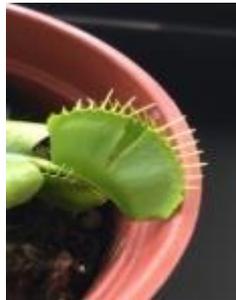
步驟:

1. 選定一盆捕蠅草，在未分離的捕蟲葉上用鑷子 10 秒內任意觸碰 2 根感覺毛，用碼表紀錄從觸碰到閉合所需時間。
2. 同一盆捕蠅草，另選一片捕蟲葉，用解剖針在未分離的捕蟲葉上刺出 0.2cm 的縫隙(圖七)，用碼表記錄從觸碰到閉合所需時間。

3. 同一盆捕蠅草，另選一片捕蟲葉，用解剖刀從未分離的捕蟲葉葉緣處往內切葉至 1/2 處(不切到葉脈) ，用碼表記錄從觸碰到閉合所需時間(圖八)。
4. 同一盆捕蠅草，另選一片捕蟲葉，用解剖刀將捕蟲葉從葉柄基部(與莖相連處)切下，用碼表記錄從觸碰到閉合所需時間(圖九)。
5. 同一盆捕蠅草，另選一片捕蟲葉，用解剖刀從葉柄 1/2 處切下(保留部分葉柄)，用碼表記錄從觸碰到閉合所需時間(圖十)。
6. 同一盆捕蠅草，另選一片捕蟲葉，用解剖刀只切下捕蟲葉(保留葉柄)，用碼表記錄從觸碰到閉合所需時間(圖十一)。
- 7.若實驗 4、5、6 捕蟲葉未閉合，再用解剖針在捕蟲葉上刺出 0.2cm 的縫隙，用碼表記錄從觸碰到閉合所需時間。
8. 另選二盆捕蠅草重複實驗 1-7 二次，記錄平均結果並分析其差異性。
- 9.若實驗 1-7 捕蟲葉有閉合，記錄其閉合後到重新打開所需的天數(時間)。



(圖七)



(圖八)



(圖九)



(圖十)



(圖十一)

## (五)觀察無柄腺的分泌

步驟:

### 1. 捕蟲葉閉合與消化液分泌的探討

- (1).將 3 隻活的白蟻各放至三片捕蟲葉中使閉合，24 小時後打開捕蟲葉，觀察並記錄分泌液。
- (2).用鑷子觸碰感覺毛，使捕蟲葉閉合。24 小時後打開捕蟲葉，觀察並記錄分泌液。
- (3).在未分離的捕蟲葉上用解剖針刺出傷口使閉合，24 小時後觀察並記錄分泌液。
- (4).用解剖刀從葉柄基部(與莖相連處)切下，再用解剖針刺出傷口使閉合，24 小時後觀察並記錄分泌液。
- (5).用解剖刀從葉柄 1/2 處切下(保留部分葉柄)，再用解剖針刺出傷口使閉合，24 小時後觀察並記錄分泌液。
- (6).用解剖刀只切下捕蟲葉(保留葉柄) 使閉合，24 小時後觀察並記錄分泌液。

### 2.閉合後觸碰感覺毛與消化液分泌的探討

步驟:

- (1).剪下 0.5cm 的塑膠管用釣魚線綁住(圖十二)。
- (2).觸碰感覺毛使捕蟲葉閉合後，每間隔 5 秒拉動釣魚線 10 秒(模擬昆蟲的掙扎)，持續 3 分鐘(圖十三)，24 小時打開捕蟲葉，觀察並記錄分泌液。
- (3).重複步驟(1)、(2)，但分別改持續 5 分鐘和 10 分鐘，一樣在 24 小時後打開捕蟲葉，觀察並記錄分泌液。



(圖十二)



(圖十三)

## (六)、探討無柄腺的吸收

分別使用水溶性養分葡萄糖、胺基酸、維生素 B，酯溶性養分甘油、維生素 E 和  $\text{NH}_4\text{OH}$ 、 $\text{KNO}_3$  等搭配紅墨水，觀察無柄腺在捕蟲葉閉合或打開時對不同養分的吸收狀況。

### 1 捕蟲葉閉合無分泌液

- (1).以稀釋 25%紅墨水各 1c.c 分別滴在 3 張濾紙上，再分別將濾紙置於 3 片捕蟲葉上，刻意觸碰感覺毛使捕蟲葉閉合(對照組 圖十四)。分別在 0.5 小時、1 小時、2 小時後，用複式顯微鏡(100X)觀察橫切的部分，拍照並記錄捕蟲葉的葉肉是否呈現紅色(有吸收作用)。
- (2).以稀釋 25%紅墨水各 1c.c 分別滴在濾紙上，同時在滴上 5%的葡萄糖 0.5 c.c，再分別將濾紙置於另外 3 片捕蟲葉上，刻意觸碰感覺毛使捕蟲葉閉合。分別在 0.5 小時、1 小時、2 小時後，用複式顯微鏡(100X)觀察橫切的部分，拍照並記錄捕蟲葉的葉肉是否呈現紅色(有吸收作用)。
- (3). 分別再以胺基酸、維生素 B、甘油、維生素 E 和  $\text{NH}_4\text{OH}$ 、 $\text{KNO}_3$  等，重複步驟(2)。

### 2. 捕蟲葉閉合有分泌液

- (1).刻意觸碰感覺毛使捕蟲葉閉合，捕蟲葉閉合後，每間隔 5 秒拉動釣魚線 10 秒(模擬昆蟲的掙扎)，持續 10 分鐘使捕蟲葉分泌消化液。
- (2).在 3 片捕蟲葉上，用針筒注入稀釋 25%紅墨水 1c.c(對照組)，分別在 0.5 小時、1 小時、2 小時後，用複式顯微鏡(100X)觀察橫切的部分，拍照並記錄捕蟲葉的葉肉是否呈現紅色(有吸收作用)。
- (3).在另外 3 片捕蟲葉上，用針筒注入稀釋 25%紅墨水 1c.c 和 5%的葡萄糖 0.5 c.c，分別在 0.5 小時、1 小時、2 小時後，用複式顯微鏡(100X)觀察橫切的部分，拍照並記錄捕蟲葉的葉肉是否呈現紅色(有吸收作用)。
- (4). 分別再以胺基酸、維生素 B、甘油、維生素 E 和  $\text{NH}_4\text{OH}$ 、 $\text{KNO}_3$  等，重複步驟(3)。

### 3.捕蟲葉未閉合

- (1)以稀釋 25%紅墨水各 1c.c 分別滴在 3 張濾紙上，再分別將濾紙輕置於 3 片捕蟲葉上(對照組 圖十五)，並使捕蟲葉維持張開狀態，分別在 0.5 小時、1 小時、2 小時後，用複式顯微鏡(100X) 觀察橫切的部分，拍照並記錄捕蟲葉的葉肉是否呈現紅色(有吸收作用)。
- (2).以稀釋 25%紅墨水各 1c.c 分別滴在 3 張濾紙上，同時再滴上 5%的葡萄糖 0.5 c.c，分別將濾紙置於 3 片捕蟲葉上。在 0.5 小時、1 小時、2 小時後，用複式顯微鏡(100X)觀察橫切的部分，拍照並記錄捕蟲葉的葉肉是否呈現紅色(有吸收作用)。
- (3). 分別再以胺基酸、維生素 B、甘油、維生素 E 和  $\text{NH}_4\text{OH}$ 、 $\text{KNO}_3$  等，重複步驟(2)。



(圖十四) 捕蟲葉閉合

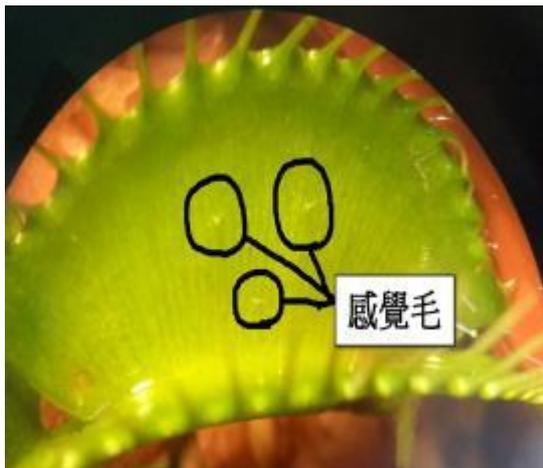


(圖十五) 捕蟲葉未閉合

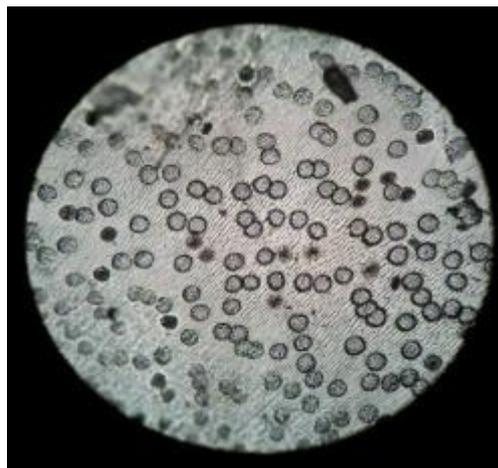
## 伍.研究結果

### (一)捕蠅草的捕蟲葉上下表皮的構造差異

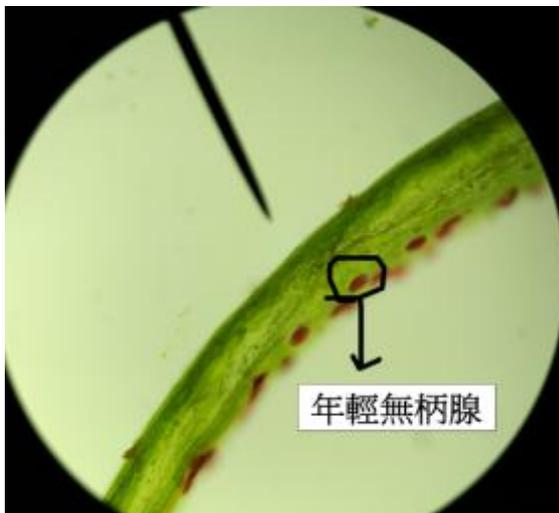
在解剖顯微鏡(1×10)下,可以看見感覺毛有3到5對,集中在上表皮中間區域(圖十六),下表皮則無感覺毛的分布。上表皮(圖十七)可以看見表皮細胞和無柄腺(下表皮無此構造)。無柄腺集中在捕蟲葉的中間區域,其次是葉尖,數量最少是在葉柄基部(附件表一)。無柄腺呈紅色(圖十八),老化或捕蟲葉從葉柄分離後,無柄腺顏色會逐漸退去(圖十九)



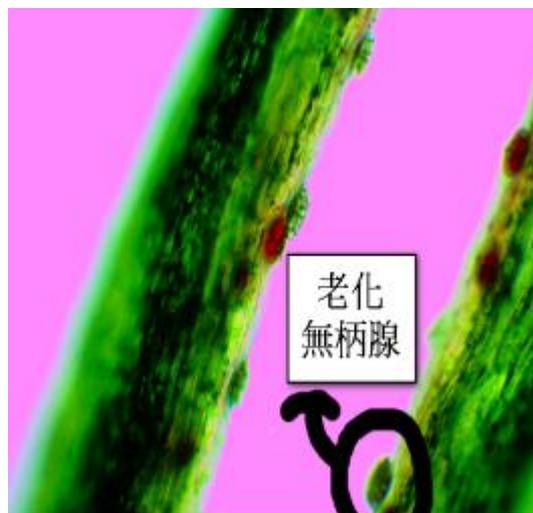
(圖十六) 上表皮



(圖十七) 上表皮

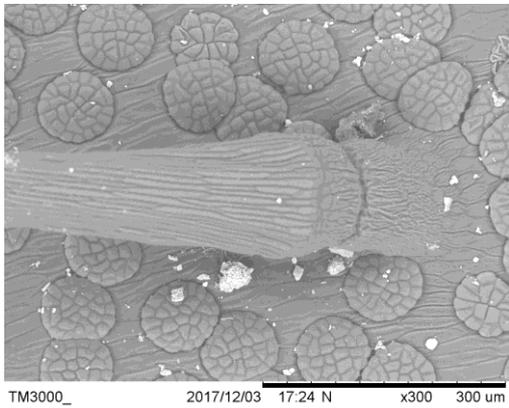


(圖十八)

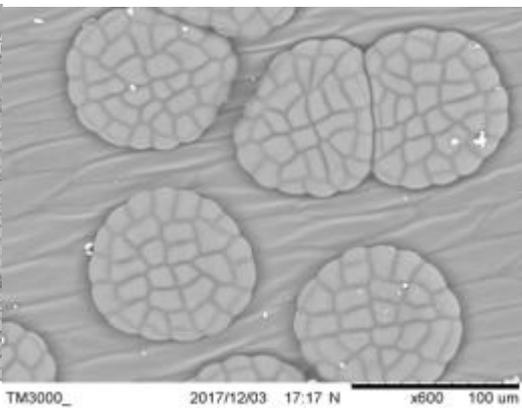


(圖十九)

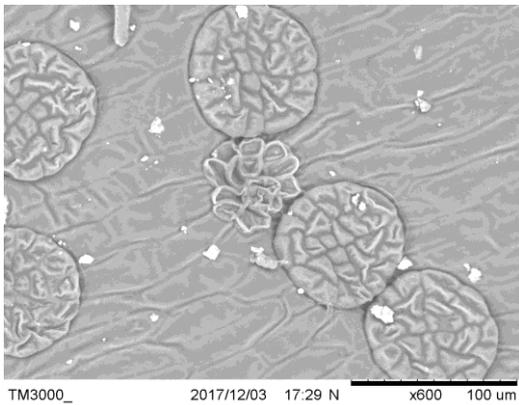
在掃描式電子顯微鏡下，可以看見感覺毛附近密布著無柄腺，感覺毛是連接在葉片的凸起結構上，中間有區隔(圖二十)。而無柄腺是由一群細胞，以類環狀排列而成(圖二十一)，老化的無柄腺，細胞會萎縮、變形而失去功能(圖二十二)。在樹脂包埋切片中可見無柄腺在外部有兩層細胞構造，內部有兩層約四個細胞的構造嵌入上表皮(圖二十三)。且上表皮(內側)細胞的細胞壁比下表皮(外側)細胞壁有特別增厚(圖二十四)。



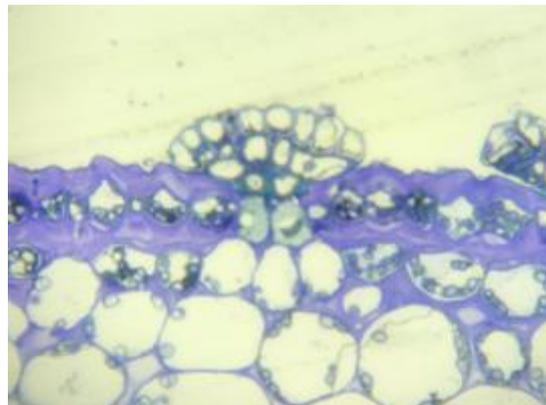
(圖二十)



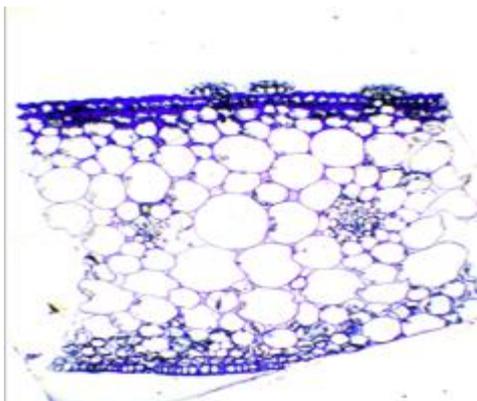
(圖二十一)



(圖二十二)



(圖二十三)



(圖二十四)

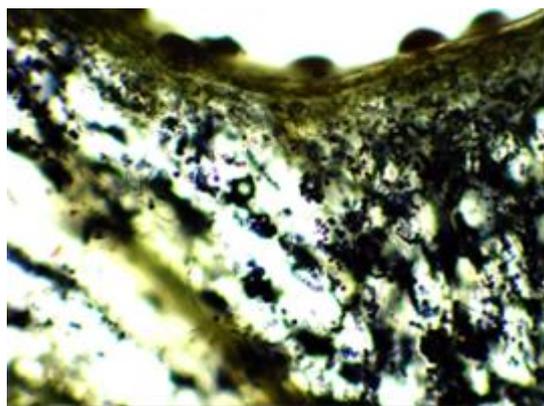


(圖二十五)

下表皮(圖二十五)有表皮細胞、保衛細胞、和輻射狀的顆粒構造(trichomes)，上表皮則無後二者。保衛細胞和輻射狀顆粒構造的分布，也集中在捕蟲葉的中間區域，其次是葉尖，數量最少是在葉柄基部。保衛細胞的氣孔是光合作用及蒸散作用時，氣體進出的通道。而輻射狀的顆粒構造(trichomes)，在捕蟲葉閉合期間，可降低下表皮所受的光害。用複式顯微鏡(100X)觀察橫切後的構造，發現捕蟲葉的葉肉並沒有發達的光合作用細胞，只有在靠近上下表皮附近的細胞有較多葉綠體行光合作用，葉肉中間充塞著大量透明的薄壁細胞(圖二十六)，經碘液染色後，可看到藍色的澱粉粒，分布在細胞的邊緣(圖二十七)。



(圖二十六)



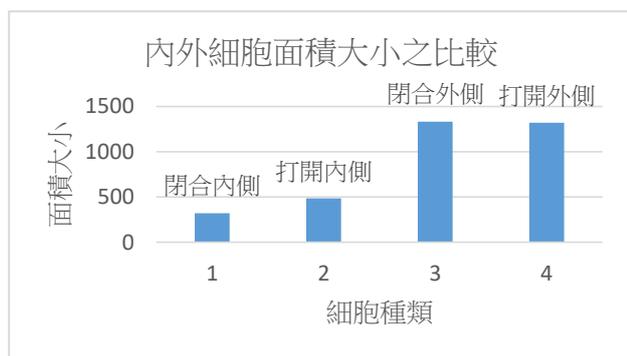
(圖二十七) 染色後

## (二)捕蟲葉陷阱的設計原理

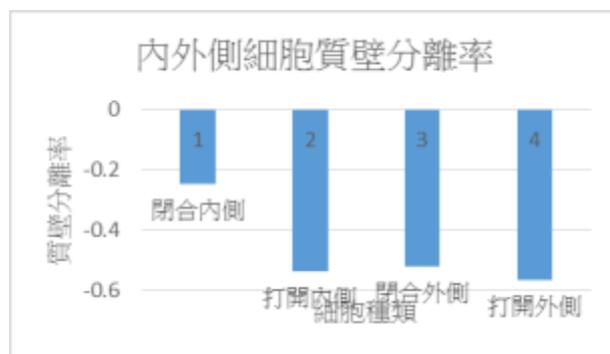
由捕蟲葉的葉脈基部橫切(複式顯微鏡 100X) 測得捕蟲葉閉合或打開時的內、外側液胞面積(附表二、三)再由放在 1M 蔗糖液與對照組的液胞面積，計算出捕蟲葉閉合或打開時，內、外側細胞的質壁分離率(附表四、五)。用 t-test 做比較，發現捕蟲葉內側細胞在捕蟲葉打開時面積比捕蟲葉關閉時還要大( $P < 0.01$  圖二十八)，有非常顯著差異(附表六)。而外側細胞不管在開或閉合時，二者的面積( $P > 0.05$ )並沒有差異(附表六)。

對照組捕蟲葉打開時，外側細胞的面積大於內側細胞的面積( $0.05 < P < 0.01$ )，有顯著差異(附表七)。而捕蟲葉關閉時外側細胞的面積更大於內側細胞的面積( $P < 0.01$ )，有非常顯著差異(附表七)。若以質壁分離率來分析，外側細胞無論在捕蟲葉開或關時，質壁分離率都比內側細胞大( $P < 0.001$  圖二十九)，有極顯著差異(附表八)，代表外側細胞的膨壓無論在捕蟲葉開或關時，都比內側細胞膨壓大。而內側細胞的質壁分離率，捕蟲葉打開時大於捕蟲葉關閉時( $P$

<0.001)，有極顯著差異(附表九)。代表內側細胞的膨壓在捕蟲葉打開時，大於捕蟲葉關閉時的膨壓。而不管捕蟲葉是打開還是關閉，外側細胞的質壁分離率並無差異( $P>0.05$ )，可見得捕蟲葉不管是處於打開或關閉的狀態，外側細胞都維持一定的膨壓(附表九)。



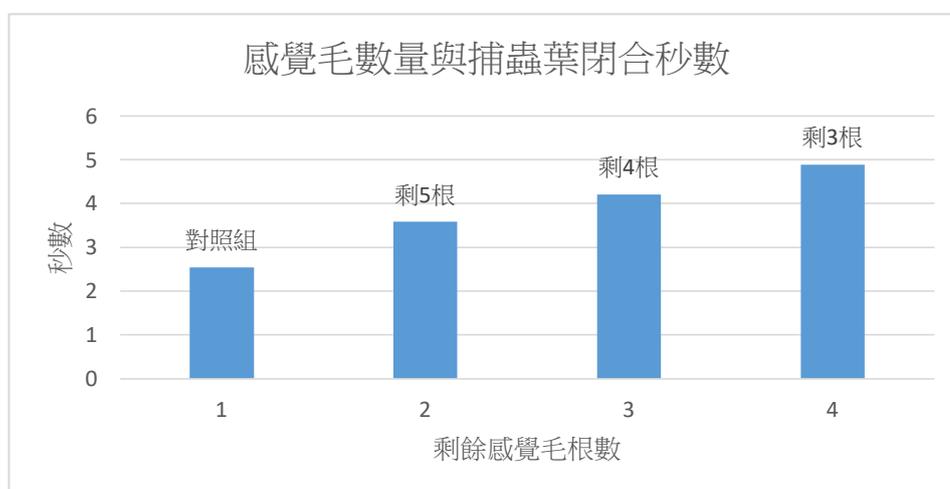
(圖二十八)



(圖二十九)

### (三)感覺毛數量與捕蠅草閉合的關係

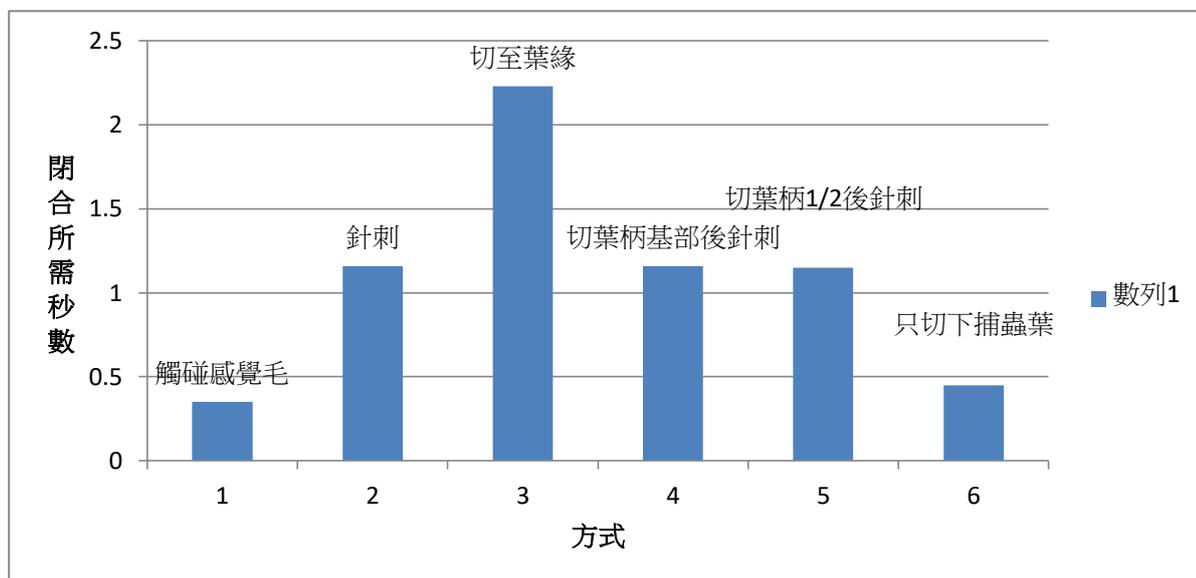
拔除部分感覺毛後，短時間再碰觸剩餘的感覺毛，這時捕蟲葉的閉合速度有差異(附表十)，對照組(6根感覺毛)的閉合速度最快，與剩5根( $p<0.01$ )、剩4根( $p<0.001$ )、剩3根( $p<0.001$ )有非常顯著差異或極顯著差異(圖三十)。而剩5根感覺毛的捕蟲葉，短時間再碰觸剩餘的感覺毛，閉合速度又比剩4根( $p<0.05$ )、剩3根( $p<0.01$ )的快，有顯著差異或非常顯著差異。剩4根感覺毛的捕蟲葉，短時間再碰觸剩餘的感覺毛，閉合速度又比剩3根( $p<0.01$ )的快，有非常顯著差異(附表十一)。但剩下2根、1根或完全拔除感覺毛的捕蟲葉，有些短時間再碰觸剩餘的感覺毛，也不閉合。另有一部分則在未碰觸剩餘的感覺時已閉合，所以失敗。



(圖三十)

#### (四)機械刺激與傷口對捕蟲葉閉合的影響

捕蟲葉在未分離的狀態下，不論是觸碰感覺毛、針刺或是切至葉緣都會閉合，但閉合時間有差別(附表十二)，觸碰感覺毛平均是 0.35 秒，比針刺 1.16 秒( $P < 0.001$ )及切至葉緣 2.23 秒( $P < 0.001$ )反應快，都有非常顯著差異。而針刺 1.16 秒又比切至葉緣 2.23 秒( $P < 0.001$ )反應快，有非常顯著差異(附表十三)。而在分離的狀態下，只有在切下捕蟲葉基部的方式有閉合(附表十二)，閉合平均是 0.45 秒。其餘切下葉柄基部和葉柄 1/2 處的捕蟲葉，均未閉合。但用針刺後，二者皆有閉合，而二者之間的閉合時間，並無顯著差異( $P > 0.05$ )(附表十四)。但只切下捕蟲葉基部的閉合時間，比切下葉柄基部的捕蟲葉 1.15 秒( $P < 0.001$ )，和切下葉柄 1/2 處的捕蟲葉 1.16 秒( $P < 0.001$ )快，有非常顯著差異(附表十四)。整體來看，機械刺激會使捕蟲葉閉合。碰觸感覺毛和直接切下捕蟲葉的閉合時間最快，其次是針刺的反應，而閉合最慢的則是切到葉緣的組別(圖三十一)。



(圖三十一)

至於捕蟲葉在閉合後重新打開的時間，在未分離的狀態下，只觸碰感覺毛的捕蟲葉閉合後 11 小時後打開，切至葉緣的捕蟲葉閉合後 9 個小時後打開。而只切下捕蟲葉的閉合後就不再打開，至於用針刺的捕蟲葉，不管捕蟲葉有沒有分離，閉合後就不再打開(附表十五)。

## (五)觀察無柄腺的分泌

實驗(五)-1 中，不管是用生物或機械性的刺激使捕蟲葉閉合，隔天打開捕蟲葉，皆無分泌液，而且白蟻甚至逃亡成功。但模擬昆蟲掙扎的實驗(五)-2，在連續掙扎 10 分鐘的捕蟲葉中，隔天打開發現有黏液，而連續掙扎 3 分鐘、5 分鐘的捕蟲葉中仍然沒有黏液。

## (六)、無柄腺的吸收路徑

實驗結果(圖三十二)無柄腺不管在捕蟲葉閉合有分泌液、閉合沒有分泌液或不閉合也沒有分泌液下，皆不吸收純紅墨水、葡萄糖和維生素 B (圖三十三--三十五)，但都會吸收胺基酸、甘油、維生素 E、氨水和硝酸鉀，使葉肉呈現紅色 (圖三十六--五十)。

	1	2	3	4	5	6	7	8
處理	紅墨水	紅+葡萄糖	紅+ VitB	紅+胺基酸	紅+甘油	紅+ VitE	紅+NH <sub>4</sub> OH	紅+KNO <sub>3</sub>
閉合 無分泌液	✗ (圖三十三)	✗ (圖三十四)	✗ (圖三十五)	✓ (圖三十六)	✓ (圖三十七)	✓ (圖三十八)	✓ (圖三十九)	✓ (圖四十)
閉合 有分泌液	✗	✗	✗	✓ (圖四十一)	✓ (圖四十二)	✓ (圖四十三)	✓ (圖四十四)	✓ (圖四十五)
打開	✗	✗	✗	✓ (圖四十六)	✓ (圖四十七)	✓ (圖四十八)	✓ (圖四十九)	✓ (圖五十)

(圖三十二)



(圖三十三)紅墨水



(圖三十四)葡萄糖



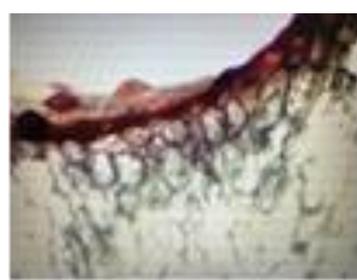
(圖三十五) Vit B



(圖三十六) 胺基酸(無)



(圖三十七)甘油(無)



(圖三十八) Vit E(無)



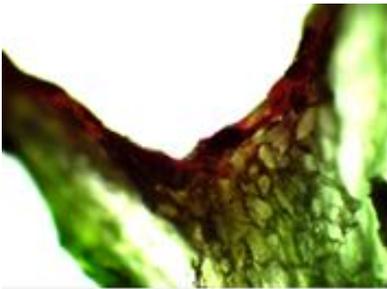
(圖三十九)NH<sub>4</sub>OH(無)



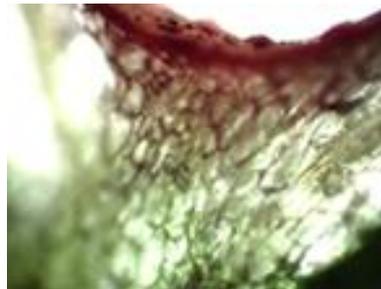
(圖四十) KNO<sub>3</sub> (無)



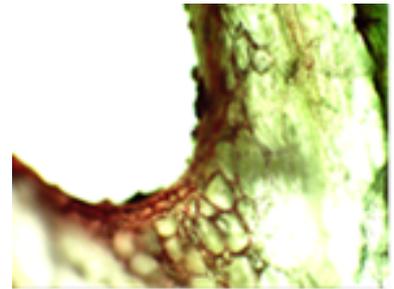
(圖四十一) 胺基酸(有)



(圖四十二)甘油(有)



(圖四十三) *Vit E*(有)



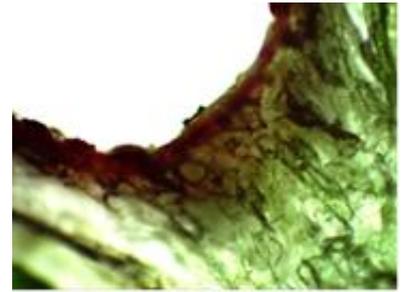
(圖四十四)NH<sub>4</sub>OH (有)



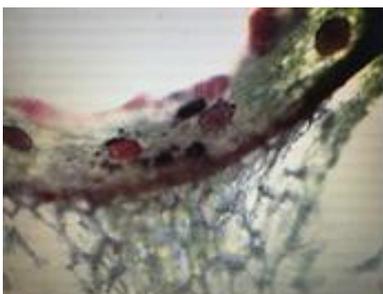
(圖四十五) KNO<sub>3</sub>(有)



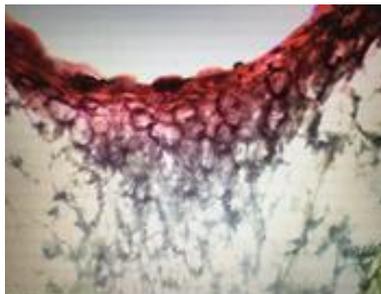
(圖四十六) 胺基酸(開)



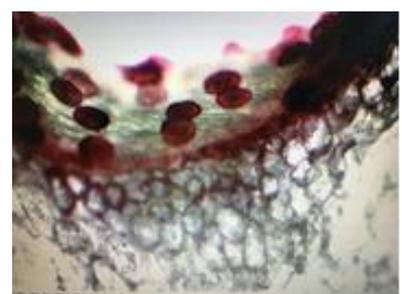
(圖四十七) 甘油(開)



(圖四十八) *Vit E*(開)



(圖四十九) NH<sub>4</sub>OH(開)



(圖五十) KNO<sub>3</sub>(開)

## 陸、 討論

一、從實驗一的樹脂包埋切片來看，捕蟲葉上表皮(內側)細胞的細胞壁，比下表皮(外側)細胞的細胞壁明顯加厚，其功能除了在捕捉昆蟲後，可協助捕蟲葉支撐昆蟲重量外，同時也因二側細胞壁的厚薄差異，在內側細胞膨壓減少捕蟲葉閉合的同時，造成捕蟲葉往內「翹曲」現象，可以形成一個像「胃」的構造(圖五十一)，用來容納並消化獵物。



(圖五十一)

二、從實驗二的質壁分離率數據來分析，不管處在開或閉的狀態，捕蟲葉外側細胞一直都維持在高膨壓下(質壁分離率比內側細胞大)，使捕蟲葉由外往內閉合。當捕蟲葉要撐開時，是將內側細胞膨壓加大，把葉「用力」撐開後設計成「陷阱」的模式(圖五十二)，這時的外側細胞處於高「位能」狀態(類似捕獸夾 圖五十三)，再以感覺毛做為機關卡榫。當昆蟲碰觸感覺毛(機關卡榫)時，內側細胞的膨壓迅速降低，而處於高「位能」的外側細胞，瞬間把儲存的「位能」轉成「動能」，快速的完成捕蟲「運動」(圖五十四、五十五)。這與含羞草的閉合不同，含羞草是利用增加葉脈基部外側細胞的膨壓，同時減少葉脈基部內側細胞的膨壓，「緩緩」閉合(圖五十六)。



(圖五十二)



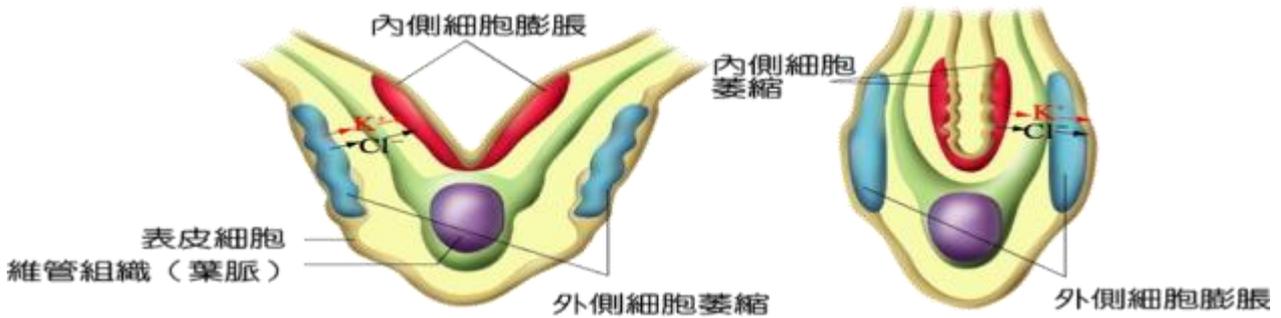
(圖五十三)



(圖五十四)



(圖五十五)



(圖五十六) 含羞草的閉合模式

三、捕蟲葉的閉合並非完全來自感覺毛受到刺激所引發，機械性刺激所造成的傷口，也會引發捕蟲葉迅速閉合。而且從實驗三結果分析，直接切下的捕蟲葉就迅速閉合，但從葉柄基部和葉柄 1/2 處切下的捕蟲葉不會閉合，用針刺葉柄也不會閉合，直到用針刺捕蟲葉才閉合。推論捕蟲機制精密的搭配結構，與捕蟲葉以外(葉柄、莖、根)的構造，沒有直接相關。而短時間 (30 分鐘內) 拔除感覺毛後，剩餘感覺毛的數量與捕蟲葉閉合時間有負相關，只剩一根、二根和沒有感覺毛的捕蟲葉甚至不閉合。

四、雖然捕蟲葉上內側細胞，短時間(10 秒)若有來自任何感覺毛的 2 次刺激，就會使捕蟲葉迅速閉合。但是，如果在捕蟲葉上噴灑茉莉酮的物質(Escalante-Perez et al 2011)，即使只碰觸感覺毛一次，也會使捕蟲葉迅速閉合。這也說明，機械刺激造成的傷口所釋出的茉莉酸，也可以引發捕蟲葉迅速閉合，而且跟有無碰觸感覺毛無關。

五、從實驗五的結果分析，我們認為捕蟲閉合運動和消化液的分泌是二條不同的路徑。捕蟲葉閉合與消化液的分泌並沒有相關，而是閉合後，與感覺毛是否有持續再被碰觸有相關。掙扎時間越久，感覺毛被碰觸的次數越多，分泌液也越多。所以被捕獲的昆蟲，只要在一定的時間內，沒有再碰觸感覺毛，捕蟲葉就會再次打開，昆蟲可以平安逃亡。

六、從實驗六我們發現，酯溶性小分子養分甘油、維生素 E 都可以由簡單擴散進入無柄腺，但是水溶性養分葡萄糖、維生素 B 無柄腺不吸收，只吸收含氮的胺基酸和  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_3^-$  離子。推測無柄腺除了胺基酸的載體蛋白外，也擁有和根部類似的  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{NO}_3^-$  的離子通道，而且養分的吸收與消化液的分泌以及捕蟲葉的開閉皆無關。

## 柒、結論

一、捕蟲葉的閉合是利用捕蟲葉基部外側細胞的高位能瞬間轉成動能的彈力，快速的完成捕蟲「運動」。並運用二側表皮細胞細胞壁的厚薄差異，造成捕蟲葉的「翹曲」現象，形成一個像「胃」的構造，用來消化獵物。

二、捕蟲葉剩餘感覺毛的數量與捕蟲葉閉合所需的時間有負相關。

三、消化液的分泌和捕蟲葉閉合運動是二條不同的路徑。

四、無柄腺除了胺基酸的載體蛋白外，也擁有和根部類似的  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{NO}_3^-$  的離子通道。

五、看似連續的捕蟲、分泌、吸收三個動作，其實是分別有觸發機制，用以提升捕食效率和避免能量的浪費。

## 捌、未來展望

未來可以利用捕蟲葉構造翹曲(warpage)原理，設計智能受激形變材料的仿生服裝，可因不同溫度、壓力或光照的刺激，進行組裝體可逆式的快速形變，達到保護人體的效果。例如選用對溫度敏感的二種材質形塑成件，再組合成產品，未來產品(組裝體)在溫度改變下，就會因翹曲(可逆式)而改變組合產品的結構，達到預期的保溫、或恆壓的效果，可應用於一般服裝、潛水衣，甚至太空衣…等。

## 玖、參考資料及其他、

### 參考資料

- 1.李家維主編 (2005)。高級中學生物(高三教科書)。龍騰文化事業股份有限公司。
- 2.陳依琳 (2017) 憑水相逢—積水鳳梨毛狀體與吸水路徑套討 57 屆 科展作品說明書
- 3.張修華(2015) 閉月羞「草」---植物會痛嗎? 小論文 1051114 梯次
- 4.何晰儒(2018) 別以為植物吃素 ---食蟲植物的秘密 小論文 1070315 梯次
- 5.Yoe Forterre1, ..etc (2005) How the Venus flytrap snaps NATURE VOL 433 27  
JANUARY
- 6.John J. Hutchens, Jr. and James O. Luken (2009) Prey capture in the Venus flytrap: collection or selection? Botany 87: 1007 - 1010
- 7 · Escalante-Perez et al (2011) A specil pair of phytohormones controls excitability ,slow closure,and external stomach formation in the Venus flytrap PNAS September vol. 108 no.37 15493
8. Eva Botkin-Kowacki Staff writer (2016) Venus flytraps can count, scientists say.  
, Christian Science Monitor, 08827729, 1/21/2016

## 拾、附件

附表一：在各區隨機拍照 3 次，記錄無柄腺的

	1	2	3
第一次	26	45	26
第二次	31	46	40
第三次	23	45	22
平均	26.6666	45.3333	29.3333

附表二：捕蟲葉閉合時內外側細胞的面積

	對照組	1M 蔗糖
內側 1	323.16	245.98
內側 2	326.35	243.42
內側 3	324.02	244.39
內側平均	324.51	244.5967
外側 1	1208.89	574.49
外側 2	1327.78	584.52
外側 3	1435.84	557.91
外側平均	1330.17	572.3067

附表三：捕蟲葉打開時內外側細胞的面積

	對照組	1M 蔗糖
內側 1	515.09	300.53
內側 2	472.12	271.68
內側 3	464.21	264.35
內側平均	483.8067	278.8533333
外側 1	1078.42	500.77
外側 2	1768.12	880.42
外側 3	1199.56	576.12
外側平均	1316.7	652.4366667

附表四：捕蟲葉閉合時內外側細胞的質壁分離率(1M 蔗糖)

	內側	外側
細胞 1	-0.238829063	-0.524778929
細胞 2	-0.2541136816	-0.559776469
細胞 3	-0.2457564348	-0.611439993
平均	-0.24623306	-0.565331797

附表五：捕蟲葉打開時內外側細胞的質壁分離率(1M 蔗糖)

	內側	外側
細胞 1	-0.4165485643	-0.5356447395
細胞 2	-0.4245530797	-0.5020586838
細胞 3	-0.4305379031	-0.5197238988
平均	--0.423879849	-0.519142441

附表六:對照組內、外側細胞面積在開、閉時的差異

對照組面積	內側	外側
閉	0.004753	0.458757675
開		

附表七: 對照組打開及關閉時時，內側、外側細胞面積的差異

對照組面積	內側	外側
閉	0.002132126	
開	0.027354852	

附表八:比較捕蟲葉關閉及打開時，內側、外側細胞質壁分離率的差異

對照組質壁分離率	內側	外側
閉	0.000236617	
開	0.000821848	

附表九:比較捕蟲葉內側外側細胞在開、閉時，質壁分離率的差異

對照組質壁分離率	內側	外側
閉	0.00000772597	0.162002527
開		

附表十:感覺毛數量與捕蟲葉閉合的關係

	對照組	剩 5 根	剩 4 根	剩 3 根	剩 2 根	剩 1 根	剩 0 根
第 1 盆	2.24	3.90	4.40	4.92	未閉合	失敗	失敗
第 2 盆	2.46	3.52	4.02	4.65	未閉合	失敗	未閉合
第 3 盆	2.92	3.32	4.18	5.00	失敗	未閉合	未閉合
平均	2.54	3.58	4.20	4.89			

附表十一:感覺毛數量與捕蟲葉閉合時間 t-test

	對照組	剩 5 根	剩 4 根	剩 3 根
對照組		0.008358	0.000955	0.0002579
剩 5 根			0.018839	0.001556
剩 4 根				0.006333
剩 3 根				

附表十二: 機械刺激與捕蟲葉閉合時間

未分離				分離		
方式	觸碰感覺毛 1	針刺 2	切至葉緣 3	葉柄基部	葉柄 1/2 處	只切下捕蟲葉 6
第一盆	0.27 秒	1.12 秒	2.20 秒	未閉合	未閉合	0.43 秒
第二盆	0.40 秒	1.19 秒	2.24 秒			0.47 秒
第三盆	0.38 秒	1.17 秒	2.25 秒	針刺後 4	針刺後 5	0.45 秒
平均	0.35 秒	1.16 秒	2.23 秒	1.15	1.16	0.45 秒

附表十三:機械刺激與未分離捕蟲葉閉合時間 T-test

	觸碰感覺毛	針刺	切至葉緣
觸碰感覺毛		0.0000291512	0.0000833865
針刺	0.0000291512		0.0000101326
切至葉緣	0.0000833865	0.0000101326	

附表十四: 機械刺激與分離捕蟲葉閉合時間 T-test

	葉柄基部針刺後	葉柄 1/2 處針刺後	只切下捕蟲葉
葉柄基部針刺後		0.33374609	0.00000167151
葉柄 1/2 處針刺後	0.33374609		0.00000157953
只切下捕蟲葉	0.00000167151	0.00000157953	

附表十五: 機械刺激閉合後再打開的時間

未分離			分離		
觸碰感覺毛	針刺	切至葉緣	葉柄基部	葉柄 1/2 處	只切下捕蟲葉
11 小時	不再打開	9 小時	閉合後 不再打開	閉合後 不再打開	閉合後 不再打開