

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高級中等學校組 植物學科

第二名

052103

憑水相鳳—積水鳳梨毛狀體與吸水路徑探討

學校名稱：國立潮州高級中學

作者：	指導老師：
高二 陳依琳	楊勝惠
高二 段佩君	林燈烟

關鍵詞：積水鳳梨、毛狀體、氣孔

## 摘要

本研究主要是觀察積水型鳳梨 (*Neoregelia ampullacea*) 葉子表面氣孔與毛狀體分布密度、氣孔開閉，還有根部及葉子維管束吸水的模式。結果發現此種積水型鳳梨的氣孔只分布在下表皮，主要在晚上開啟，然而白天氣孔也有相當比例是打開的，而葉子的毛狀體有兩種型態，分布在下表皮與基部的毛狀體數量不僅較多而且較大型。另外，根部雖然具輸導能力，但是內部出現空洞化，葉表的毛狀體具有輔助吸收水份的功能，水份主要由基部的毛狀體進入至維管束內，再由下而上因打開的氣孔產生蒸散作用的拉力。此外，我們也與另外兩種積水鳳梨(虎斑與火球)做功能性的比較。若能對毛狀體構造更加了解，將可應用於仿生生物學，生產保暖又吸汗的織布或收集水份的工具。

## 壹、研究動機

屏東是鳳梨的著名產地，因為在家政課時需要用鳳梨入菜，在採買過程中了解鳳梨和其他植物的不同處，並且也對此類 CAM 植物充滿好奇；在查了一些相關資料後，發現有一類積水型鳳梨雖然不需要種在土壤裡，但是竟然可以適應乾旱炎熱的環境，和一般藉由土壤吸收水分及礦物質的植物大不相同，令我們感到非常驚嘆！另外，在課本中也介紹了有關植物吸水以及水分在根部運輸的方式，所以希望能進一步探討此種積水型鳳梨如何由葉子進行水份的吸收與運送。

## 貳、研究目的

### 一、目的

- (一) 探討積水型鳳梨氣孔密度與開閉的時間
- (二) 探討積水型鳳梨葉子毛狀體的構造與分布情形
- (三) 探討積水型鳳梨葉子毛狀體吸收水的路徑

### 二、相關資訊

鳳梨科可再細分為三個亞科，分別為地生型鳳梨、積水型鳳梨及空氣型鳳梨，積水鳳梨是多年生單子葉草本植物，它們與大部份的植物不同之處為根系不發達，主要可提供固定作用，可由葉片吸收水及養分，因此，它們不需要長在土中，只要接收點雨水便可生存，在原生雨林環境中，它們多附生或垂掛於樹幹或石頭、甚至於電纜線上。

臺灣的氣候環境適合大部分的積水鳳梨生長，對乾溼的忍受度都很強，無論遮陰或全日照均可生長，相當容易栽培。積水鳳梨是對葉部中心呈桶狀具有儲水作用的鳳梨科植物之通稱，因此其包括的範圍很廣，並不是單指某個屬別(黃等，2013 年)，本實驗物種積水型鳳梨 *Neoregelia ampullacea* 與另外兩種虎斑、火球則都是屬於五彩鳳梨屬。

積水鳳梨根部少有可保存水分的介質可包覆，因此特化出一個特別的儲水機制來收集水分並供給自身使用，積水鳳梨在森林生態上也扮演了一個特殊的角色，它的特化儲水機制是許多生活於雨林樹冠層中的動物的飲水來源，也提供一些蛙類、蟹類生活的場域。此外，積水鳳梨無論葉色或花朵都極具觀賞價值，是極佳的觀賞植物，在生態上或經濟上皆頗具重要價值。

## 參、研究設備與器材

### 一、實驗器材：

培養皿(個)、燒杯(數個)、保鮮膜(一捲)、鑷子(支)、解剖刀、解剖針(支)、刀片(數片)、蓋玻片(數片)、載玻片(數片)、滴管(數支)、手套(數雙)、解剖顯微鏡(一台)、光學複式顯微鏡(一台)、數位顯微鏡(一台)、桌上型掃描式電子顯微鏡、手提電腦、積水型鳳梨(數十株)、指甲油(一罐)、紗布。



*Neoregelia ampullacea*



另外兩種：虎斑 *Neoregelia* ‘Tiger Cub’ (左)與火球 *Neoregelia* ‘Rosy Fireball’ (右)積水鳳梨

### 二、實驗藥品：

甲基藍染劑、優碘、水溶性色素(紅色藍色墨水數瓶)、0.5% safranin O in 50% 酒精、0.1% fast green in 95% 酒精、50% 70% 85% 95% 酒精。

## 肆、研究方法與過程

### 一、探討積水型鳳梨葉子氣孔密度、開閉時間與毛狀體的分布情形

1. 於採集時間點將指甲油反覆厚塗在葉表皮上，每 6 個小時採樣一次。選取三株個體，採樣部位為葉子的葉尖、中間部位與基部。
2. 待指甲油乾後，以解剖刀和鑷子撕取一層細胞之厚度。
3. 置於顯微鏡下觀察，拍照並且計數不同部位，單位面積的毛狀體與氣孔數目，單位面積是指在特定倍率下(100X)的照片影像，長寬各為 1100\*550  $\mu\text{m}$ 。此外，也記錄並比較各個時段氣孔開閉之情形。
4. 每種選取三株鳳梨，取靠近內圈的葉子，以 Motic Images Plus 2.0 軟體量化於顯微鏡 100 倍視野下，在葉子各個部位觀察撕取指甲油所拍攝到的毛狀體之面積大小，每個部位隨機選取 10 個(共 30 個)毛狀體作平均。



### 二、探討積水型鳳梨葉子表面毛狀體的構造

1. 切取積水鳳梨的葉子表皮組織，置於載玻片上，以光學顯微鏡進行毛狀體構造的觀察並拍照。
2. 切取幾小塊積水鳳梨的葉片，置於掃描式顯微鏡的座台上，進行毛狀體的表面細部構造之觀察。

### 三、探討積水型鳳梨根與葉子橫切面的構造

1. 根及葉的橫切面構造之觀察，以水埋玻片及染甲基藍作觀察。
2. 將根及葉橫切薄片之後放入載玻片中，滴一滴碘液作為染劑，蓋上蓋玻片，用水洗去染劑，並在顯微鏡下進行觀察澱粉粒的分布及拍照。
3. 將積水鳳梨葉橫切薄片之後放入 50% 酒精固定 10 分鐘，之後以 0.5% safranin O in 50% 酒精染色 10 分鐘，經過酒精序列脫水後 (50% 70% 85% 95% 酒精，分別浸泡約 2 分鐘)，再以 0.1% fast green in 95% 酒精染色 30 秒，最後放置顯微鏡底下觀察並拍照。

### 四、探討積水型鳳梨根部與葉子吸收水的方式

1. 根部吸水及葉子吸水的比較。

將紅墨水分別吸出 50ml 於燒杯中，加入 50ml 的蒸餾水稀釋 1:1 的比例充分攪拌至均勻)，之後將鳳梨分別放入：

A (紅)只將根浸泡在溶液中。

B (紅)只將葉尖大約 0.5 公分浸泡在溶液中。

2. 切片前處理之測試

先取下一片葉子，再將其用衛生紙以沾吸的方式將顏料擦乾之後再切

3. 切片後處理之測試

將切片置於載玻片上，不滴水並直接蓋上蓋玻片觀察。

## 五、探討積水型鳳梨葉子毛狀體吸收水的路徑

- 1、取一株積水鳳梨，在葉子尖端、中間及葉基部位以浸泡過紅墨水的紗布包著上表皮與下表皮部位，觀察色素吸收情形。
- 2、經過 1-5 小時的時間每小時採樣一次，分別切取包著紅墨水紗布的橫切面，觀察是否有紅墨水出現在維管束內。

## 六、不同積水鳳梨的比較

1. 取其他種積水鳳梨，虎斑(*Neoregelia Tiger Cub*)與火球(*Neoregelia Rosy Fireball*)，觀察其毛狀體型態、面積與數量分布，以及沾紅墨水的紗布放在葉子各個部位的吸收情形。
2. 將虎斑與火球的葉尖、葉中部分葉子剪除，僅剩下葉基部分，並在中間基部，注入 1:4 稀釋之紅墨水 2 毫升，定時觀察其紅墨水吸收之情形，並作葉子橫切以進一步確認維管束內是否有紅墨水進入。

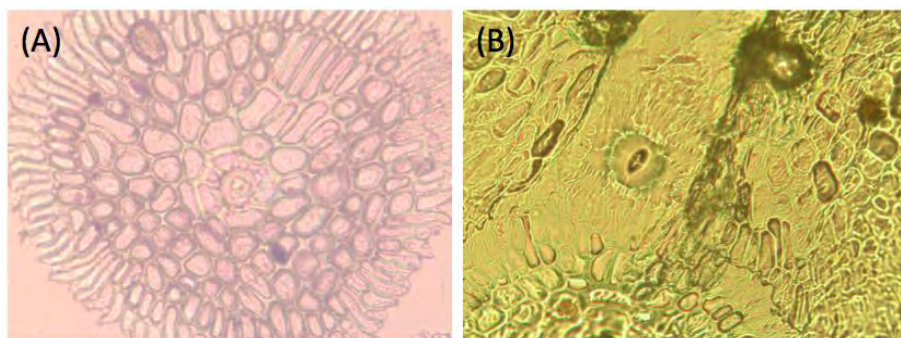




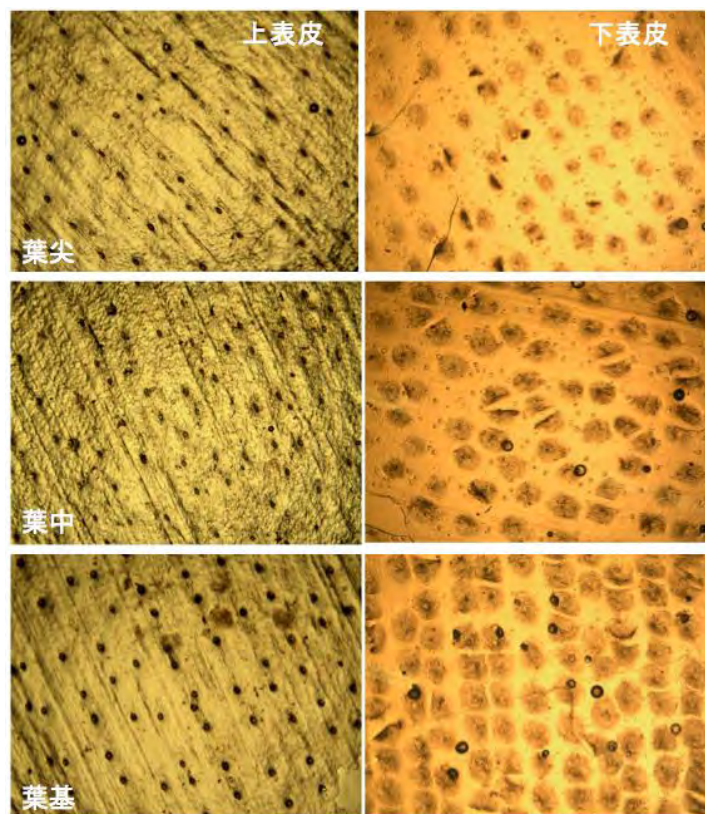
## 伍、研究結果

### 一、探討積水型鳳梨葉子氣孔密度、開閉時間與毛狀體的分布情形

1. 於初步觀察時發現，此種積水鳳梨的葉表背面略呈白色小點是因為散佈著具有鱗片的毛狀體，進一步撕其拓印表皮觀察，可見同時有兩類特化的細胞在表皮上，即毛狀體(A)與氣孔(B)。

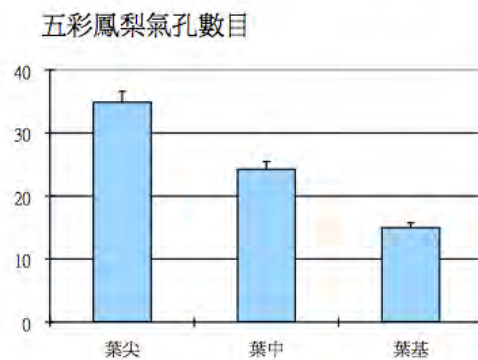
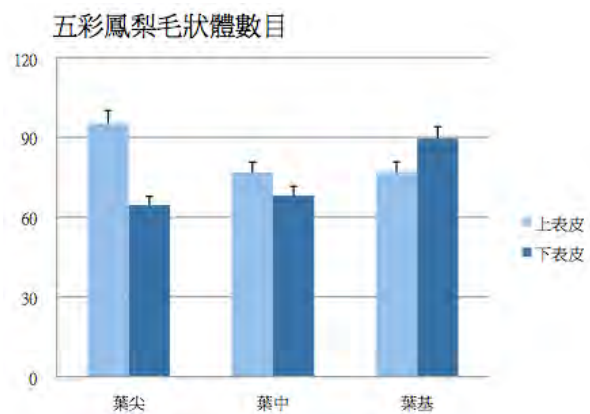


我們用指甲油拓印的方式，撕取葉片各個部位此兩種細胞數量分布的情形。結果發現葉子上下表皮的毛狀體大小有明顯差異，且下表皮鱗片印模較清楚。

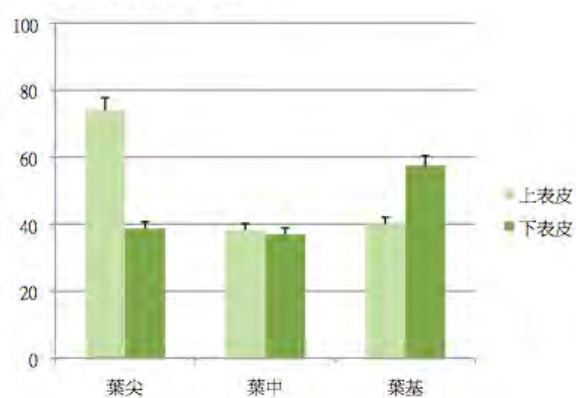




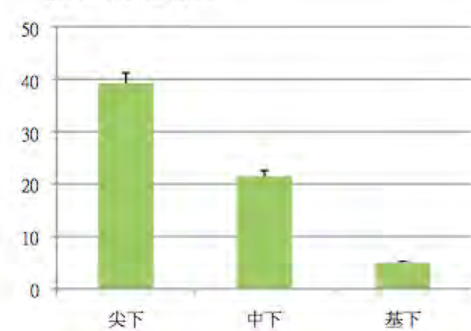
2. 比較三種積水鳳梨，發現在葉尖部位，上表皮之毛狀體較下表皮的單位面積數量較多。此外，在基部位置之毛狀體，則是下表皮單位面積分布數量較高。另外，積水鳳梨葉子上表皮氣孔在葉尖、中間部位與基部位置，單位面積的數量皆為零。而下表皮氣孔在葉尖、中間部位較基部為多。



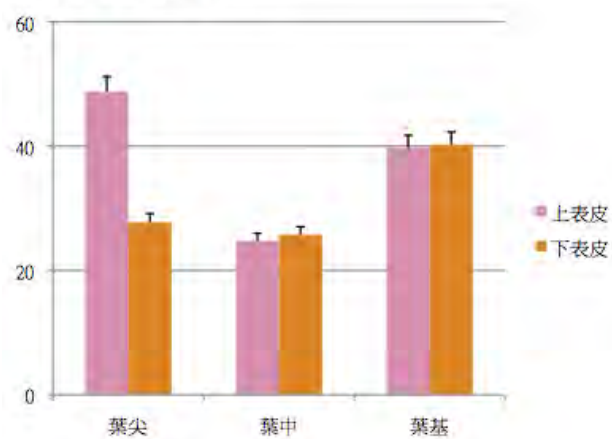
虎斑毛狀體數目



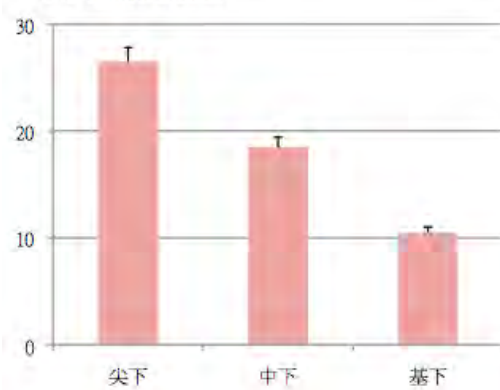
虎斑氣孔數目



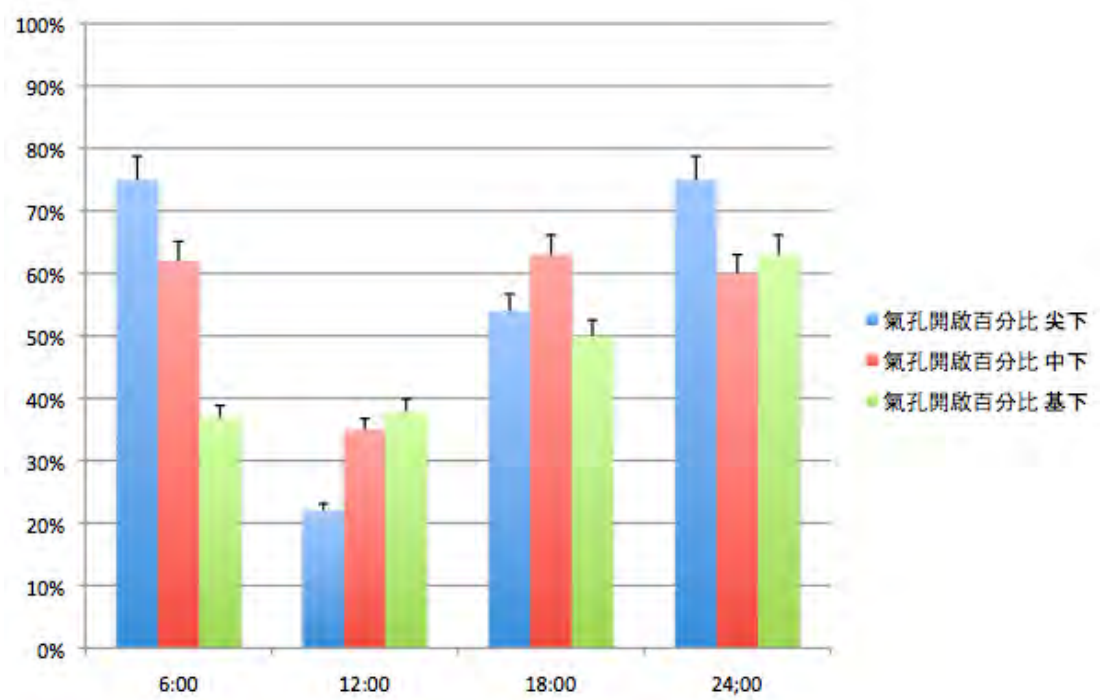
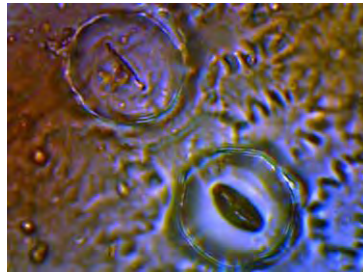
火球毛狀體數目



火球氣孔數目



2. 一天中不同時段的氣孔開閉，每六個小時採樣一次。發現氣孔於午夜 24:00 至清晨 06:00 時為開啟高峰，於白天 12:00 時有較高比例為關閉，應屬於 CAM 植物。下圖右下為氣孔開，左上為氣孔關。

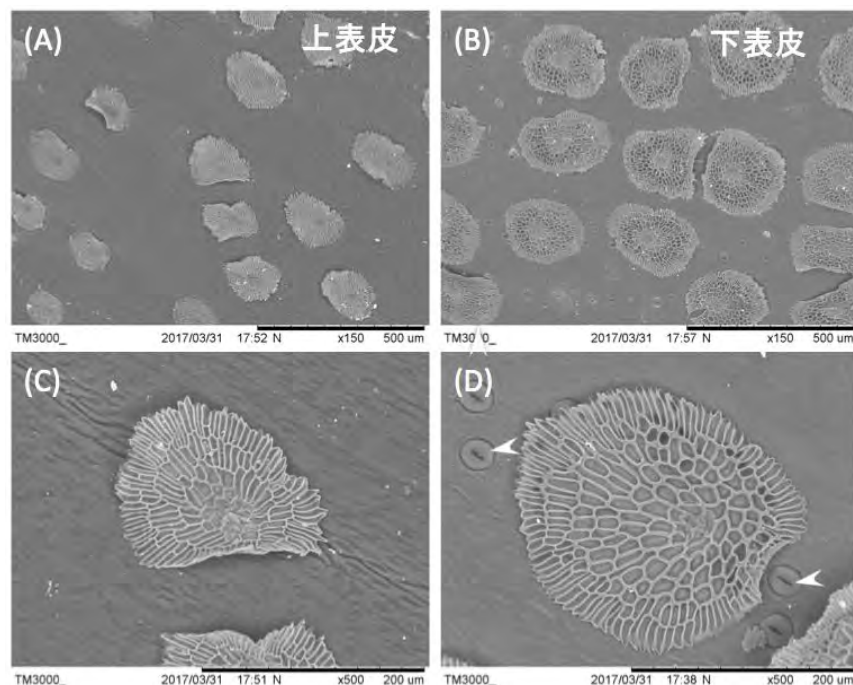


## 二、探討積水型鳳梨葉子毛狀體的構造

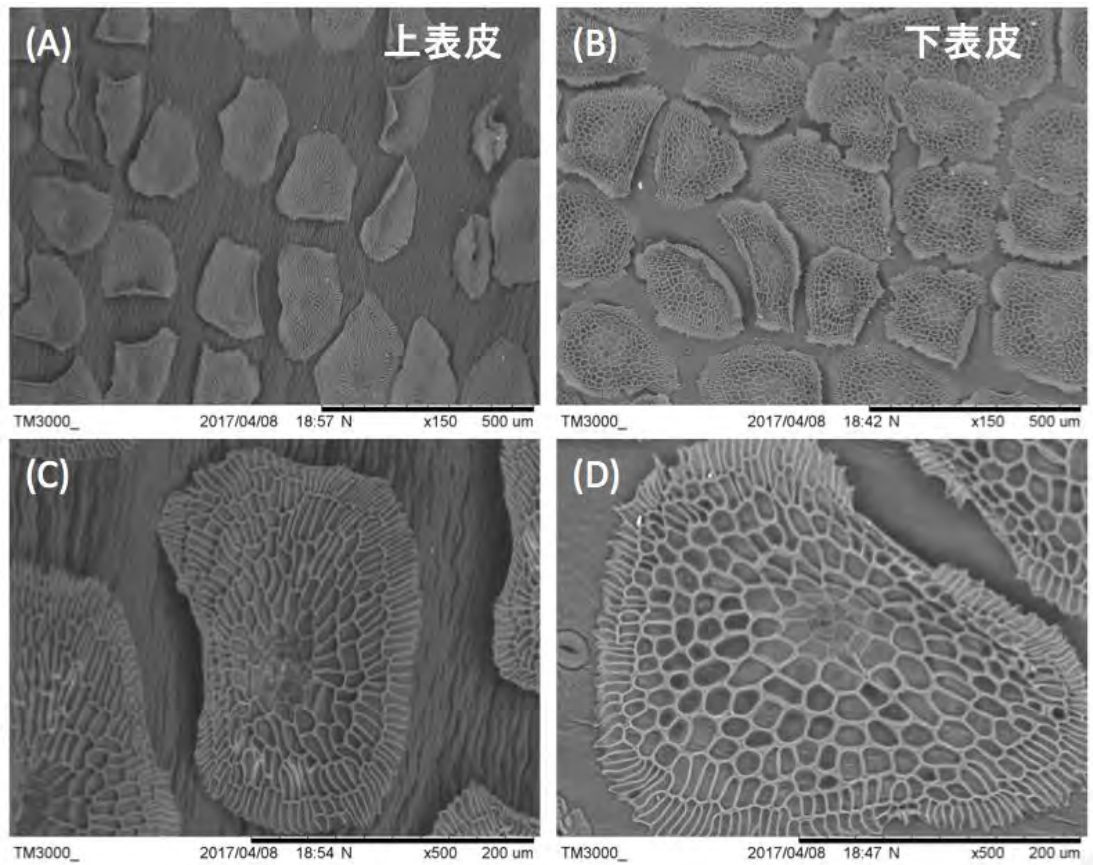
1. 毛狀體從上而下總共可分為三個部分：(A) 外圈由扁平輻射狀鱗片(wing)與多個幾何狀孔紋圍成 (B) 內圈中央盤細胞(central disc cells)與不太對稱的數個細胞

(ring cells)組成 (C) 下層的凹陷細胞(dome cells)。若施以外力，外圈及內圈的部分可能會依程度不同而脫落，僅剩下底部的凹陷細胞。

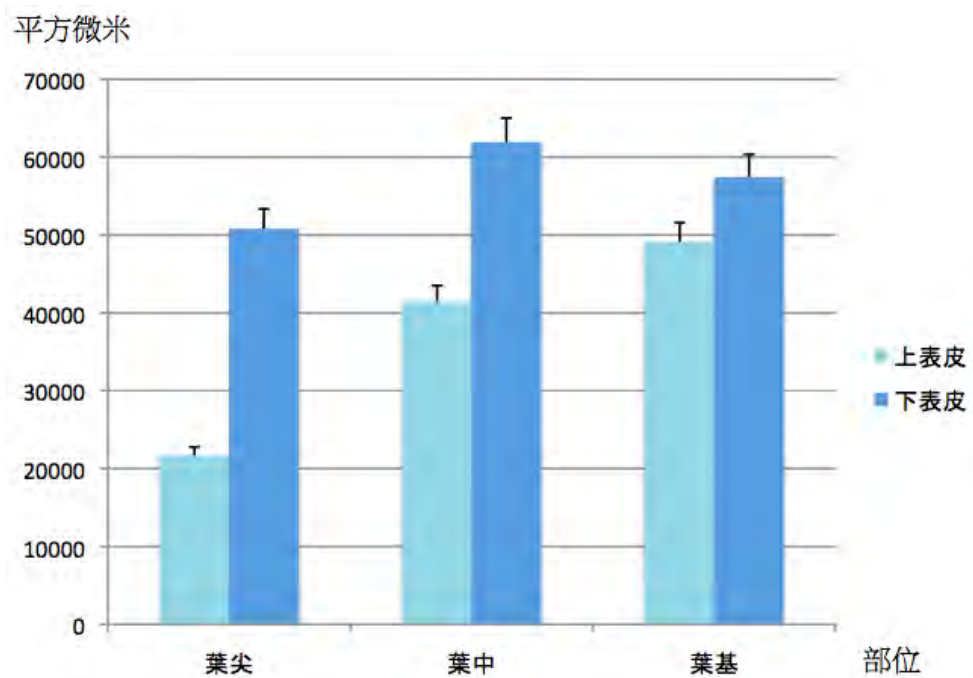
2. 以掃描式電子顯微鏡觀察，可發現毛狀體的分布排列疏鬆，鱗片大多並未互相重疊，上下表皮的毛狀體大小與型態有明顯差異(A-B)，應該是兩種不同型態的毛狀體，下表皮毛狀體較大型，鱗片的紋路為略呈輻射狀排列。中央有不明顯癒合的中央盤細胞圖樣(C-D)，箭頭處是氣孔，此為葉中部位的上下表皮毛狀體。



我們發現位在葉子基部的上下表皮相較於葉中位置，毛狀體更為發達。尤其是下表皮的毛狀體鱗片較大型，重疊性較高，鱗片上的孔紋也較凹陷而明顯。

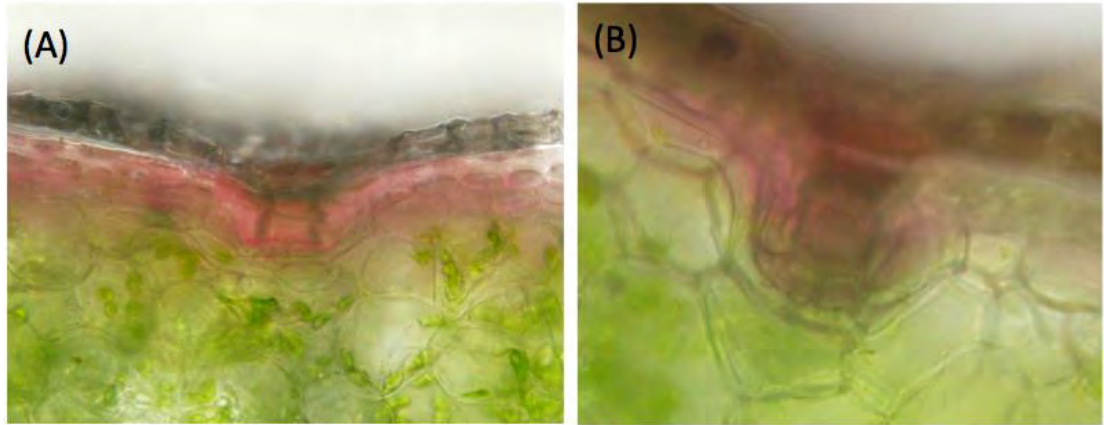


將 *Neoregelia ampullacea* 葉子各部位毛狀體面積做量化的比較圖，發現在葉子下表皮部位較上表皮的面積大。





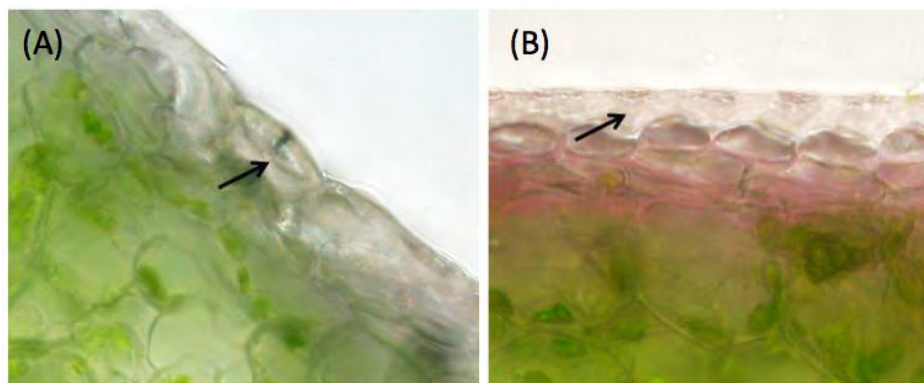
3. 毛狀體的橫切面可見為漏斗型的構造(A)，包含由上而下，依次由大而小有三層細胞，稱為拱頂細胞(dome cells)，兩邊可見還有伴隨漏斗狀傾斜在側邊的細胞(B)。



### 三、葉子的橫切面構造

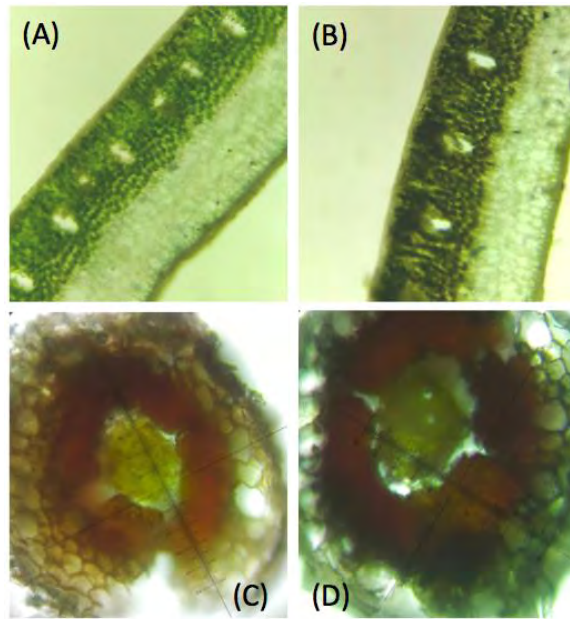
#### 1、葉子的橫切面觀察

上表皮細胞的下方，是透明的葉肉帶，下方葉肉帶才具有較密集的綠色葉綠體與具有氣孔於下表皮(箭頭所指, A)。此外，表皮細胞外有厚角質層(箭頭所指, B)。



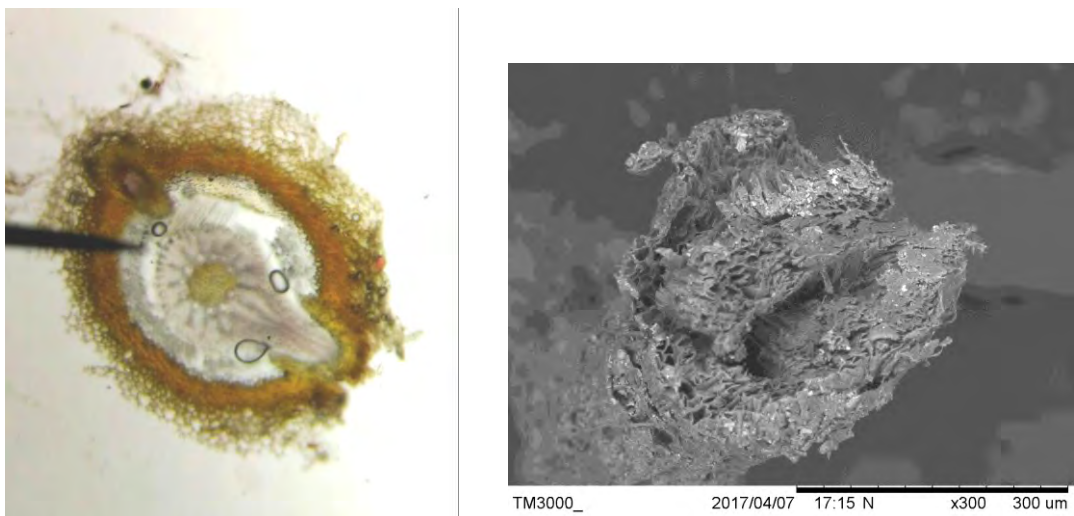
2. 染碘液之後，發現在葉子的葉肉地帶，主要是在葉尖與葉中部分，出現許多紫黑色的澱粉粒(B)，此處也是葉綠體分布較密集之處，顯示光合作用的產物

醣類，就近儲藏於此，然而也發現在葉基部位澱粉粒較少，另外，根部也有局部此種現象，顯示韌皮部仍有運送醣類到根部的功能(D)。



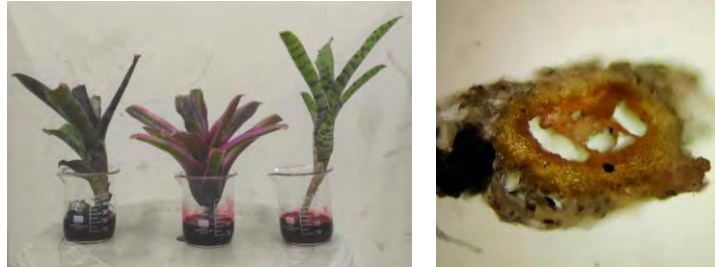
#### 四、根部的構造與吸收水份的路徑

1. 此種單子葉的根為細小、質地乾燥堅硬的鬚根，次生根有加粗的厚壁細胞生成，且內皮細胞似乎已經退化，取而代之的是環狀的空洞與中間一小部分的髓與維管束(左圖為無染色之水埋玻片橫切面，右圖為 SEM 橫切面)。





2. 根部經過浸泡紅墨水 2-5 小時，發現根部的厚壁細胞及中間部位的導管細胞皆具有色素，葉子基部切片中維管束也有吸收染料，顯示根部仍具有吸收水份功能。

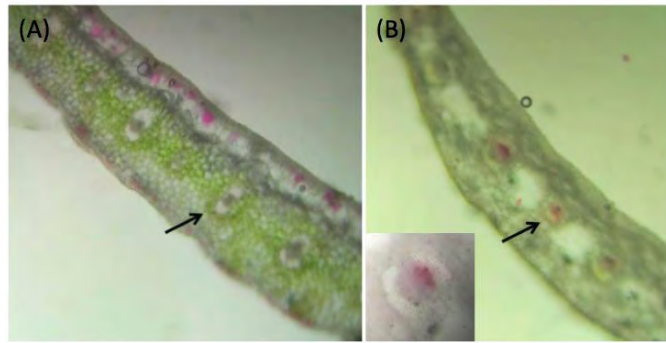


## 五、葉子毛狀體的吸收水份的路徑

1、以葉尖 0.5 公分沾吸紅色素，發現色素不會藉由毛細現象染紅上下表皮(下圖左)。直接以紅墨水滴注在葉子基部後則會染紅葉基上表皮，接著再使其他葉子基部與根部繼續變紅而吸收紅墨水。

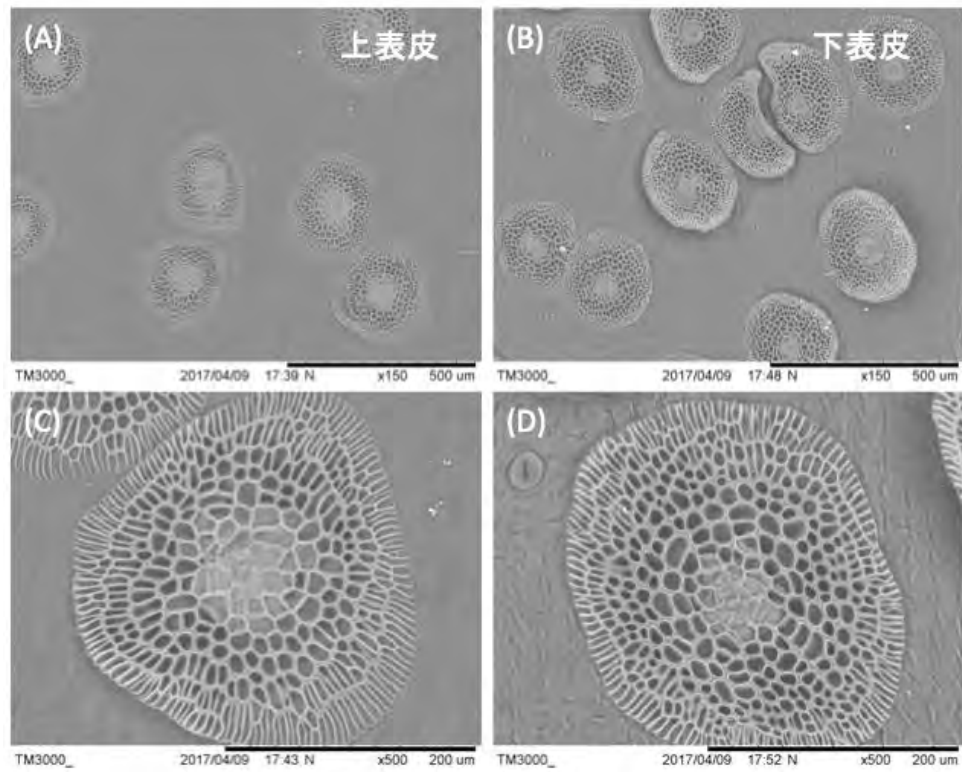


2. 在白天將葉片，包括上表皮與下表皮的葉尖、葉中與葉基部分，分別以紗布沾滴紅墨水之後(如上圖右)，每小時將葉片橫切，結果發現短時間內 (1-2 小時) 紅色墨水位在表皮與透明葉肉附近，未進入維管束內(A)。約經過 3 小時後，只有在葉基部分的處理，可在維管束內可見到明顯的紅色墨水。經過觀察切片，可在維管束中觀察到紅色染劑出現，與局部放大維管束的木質部(B)(表皮部位的粉紅色為葉子原本具有的花青素)。

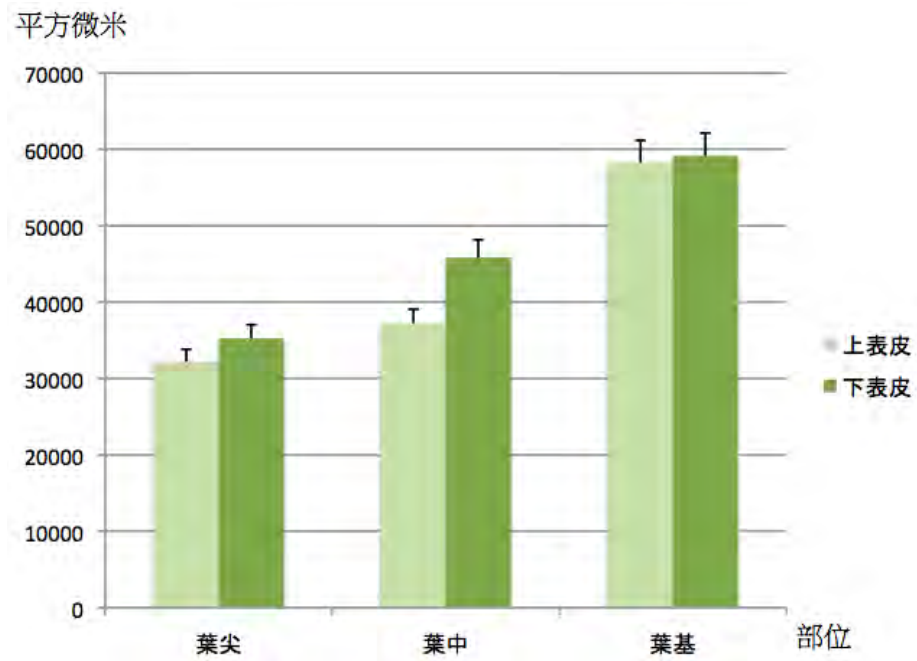


## 六、不同積水鳳梨的比較

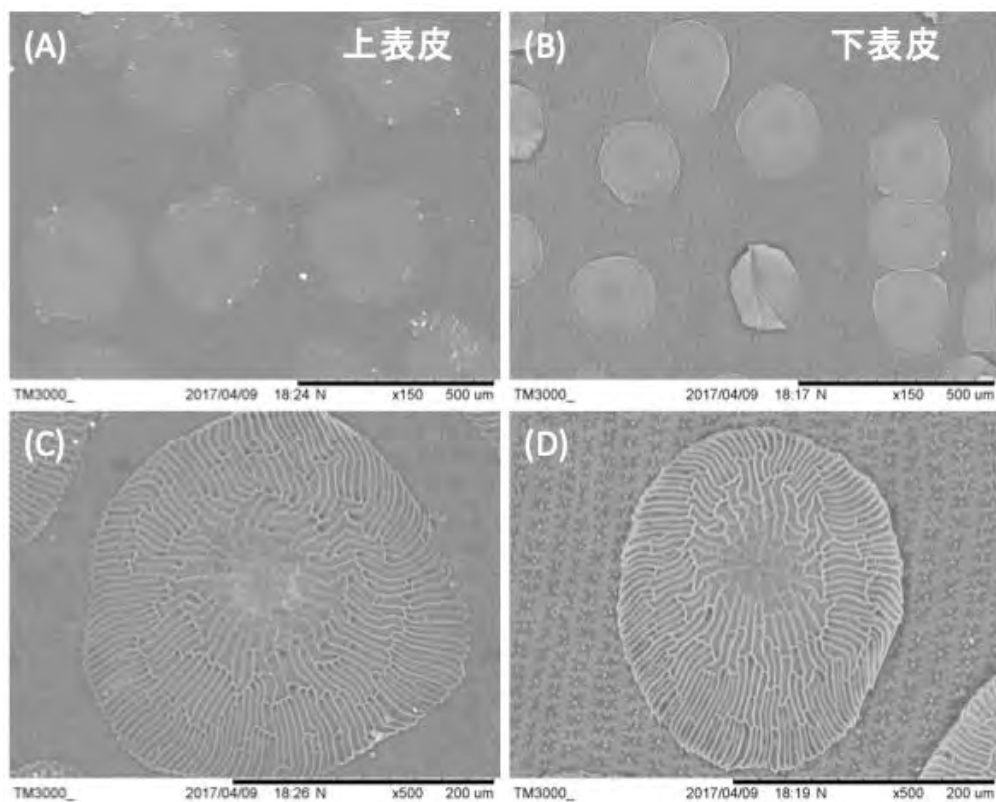
### 1.虎斑葉基上下表皮毛狀體的型態比較



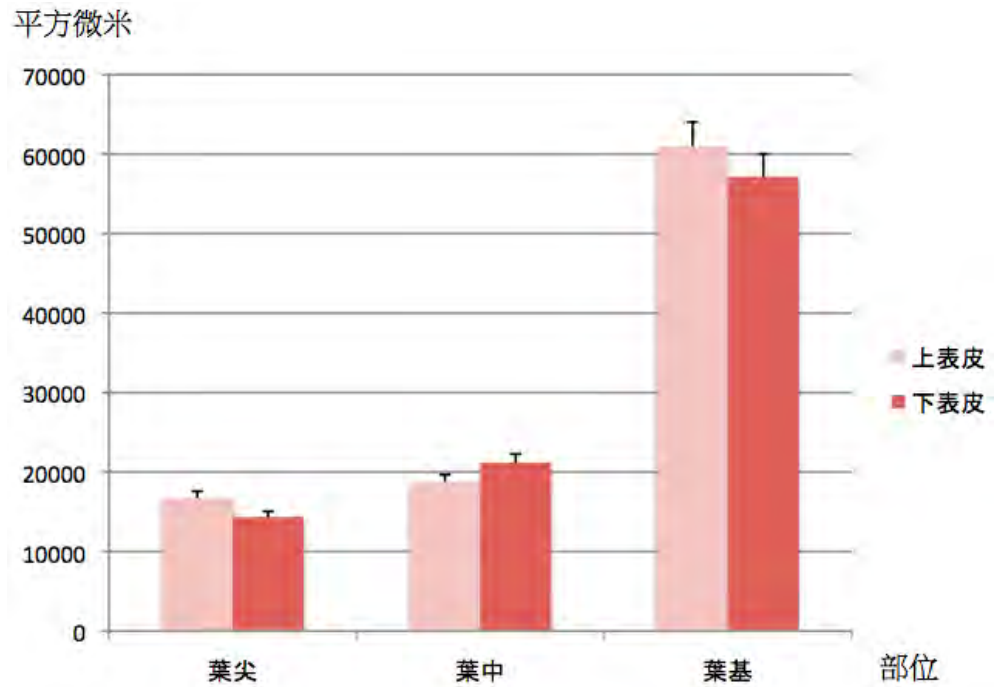
將虎斑葉子各部位毛狀體面積做量化的比較圖，發現在葉基部位面積最大。



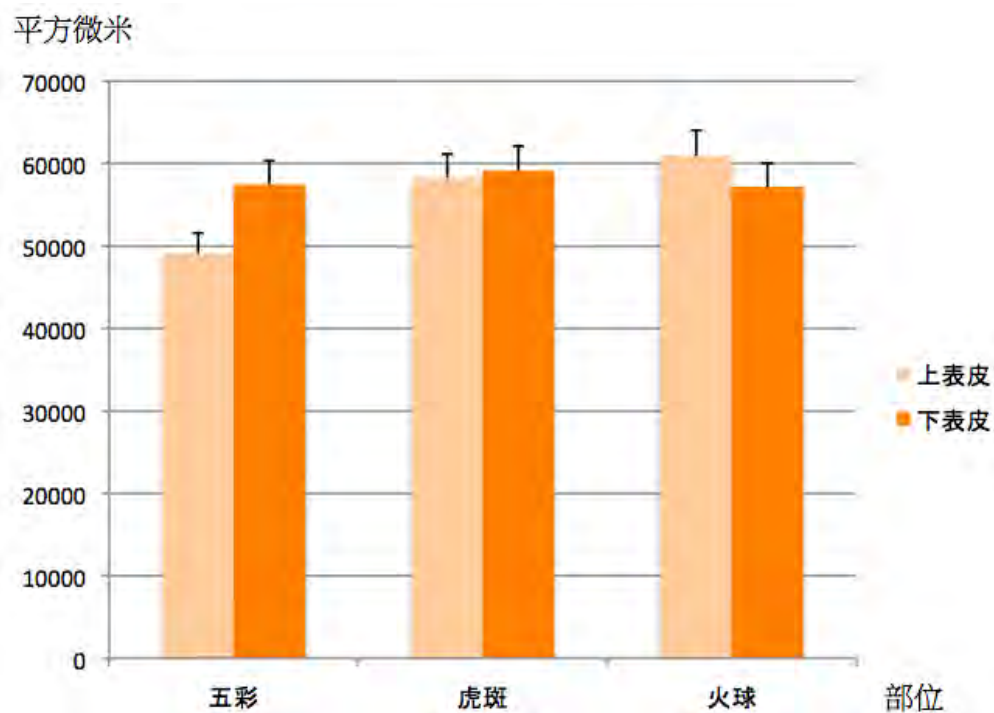
## 2. 火球葉基上下表皮毛狀體的型態比較



將火球葉子各部位毛狀體面積做量化的比較圖，發現在葉基部位面積最大。

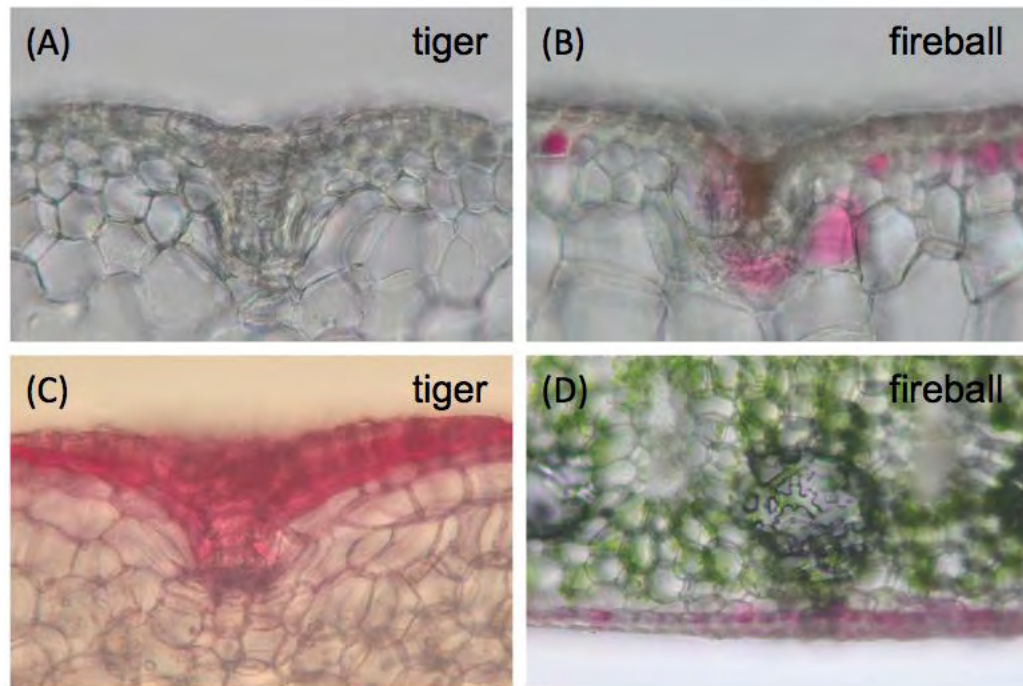


三種積水鳳梨葉基部位，上下表皮毛狀體面積之比較情形。

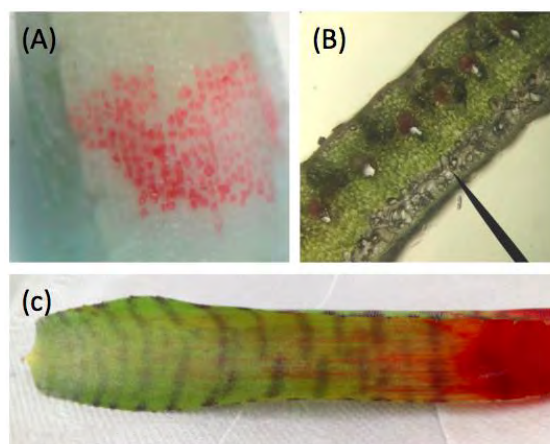




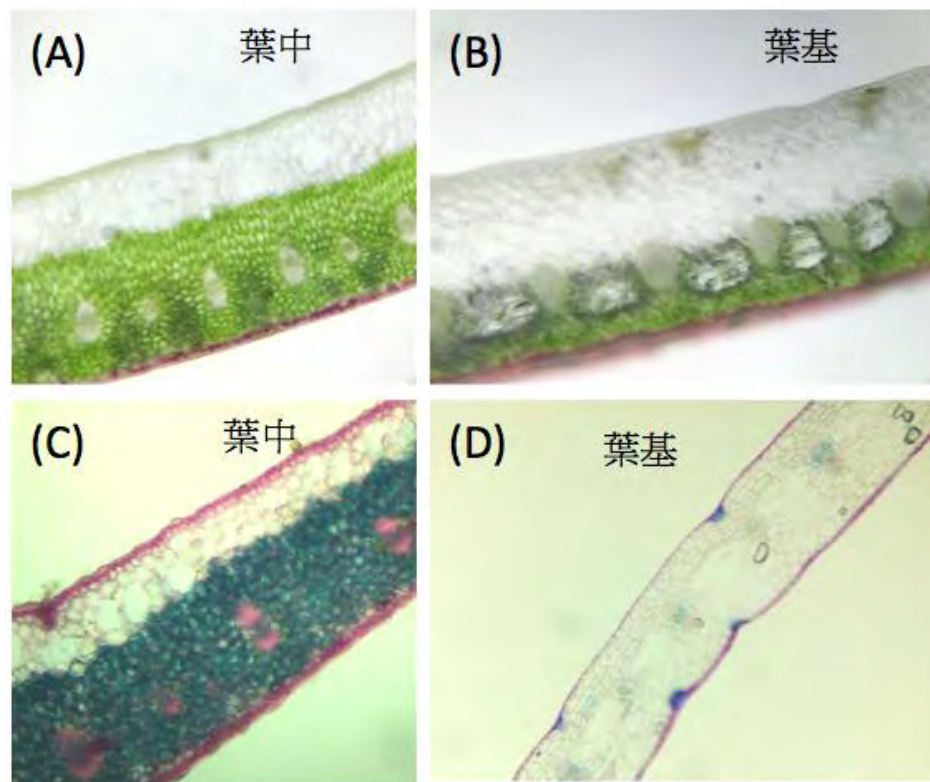
3. 虎斑與火球毛狀體的橫切面構造，C 圖中染成的紅色部位為虎斑葉基毛狀體染番紅(safranin)和固綠(fast green)的結果，D 圖為紅球葉中靠近下表皮的氣室。



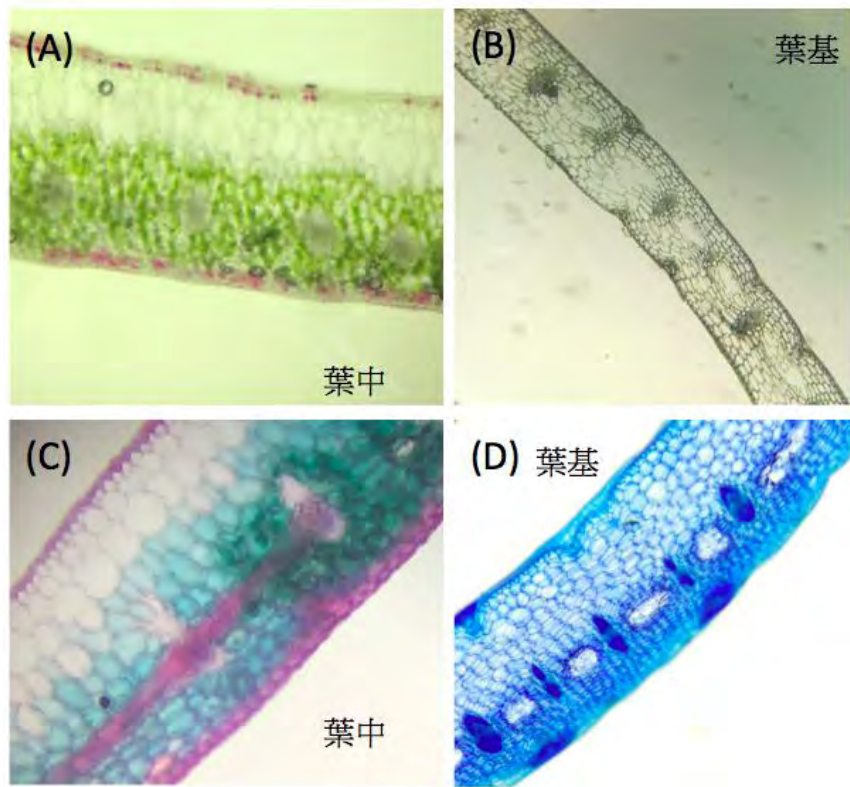
4.在白天將虎斑與火球葉片，包括上表皮與下表皮的葉尖、葉中與葉基部分，分別以紗布沾滴紅墨水之後(此為稀釋 1:2 濃度)，每小時將葉片橫切，結果發現約經過 2 小時後，只有在虎斑葉基部分的處理，經過觀察切片可在維管束內可見到明顯的紅色墨水(B)。圖 A 為剛沾染墨水毛狀體表面吸收的情形，圖 C 則為經過長時間的吸收。火球則在 5 個小時的觀察中未有紅墨水進入。



5. 虎斑積水鳳梨染番紅(safranin)和固綠(fast green)的結果顯示(C、D)，除了維管束的厚壁細胞外，葉中上下表皮細胞的角質層部位與毛狀體的杯狀構造，皆有細胞壁加厚的現象(C)，番紅可以染植物次生細胞壁(如木質化、木栓化的組織)，如 C、D 圖中染成的紅色部位。另外，也發現在葉基的上下表皮較無次生細胞壁的成份，且有較明顯的氣室分布(圖 B、D)。未染色處理的 A、B 圖中粉紅色為表皮中具有的花青素顏色。

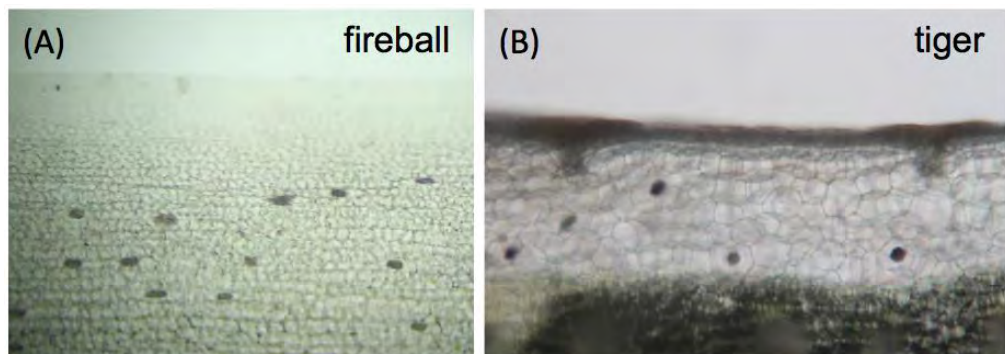


火球積水鳳梨染番紅(safranin)和固綠(fast green)的結果顯示(C)，除了維管束的厚壁細胞外，葉中上下表皮細胞的角質層部位與毛狀體的杯狀構造，皆有細胞壁加厚的現象(C)，如 C 圖中染成的紅色部位。另外，葉基部位的甲基藍染色觀察，發現在葉基有較大的氣室分布(D)。未染色處理的 A、B 圖中粉紅色為表皮中具有的花青素顏色。



6. 虎斑與火球葉片上表皮透明葉肉帶，不需染色即可見許多顆粒狀的結晶物。

A 圖為直接觀察火球特別薄的葉緣，B 圖則為虎斑葉子橫切面。



7. 將虎斑與火球的葉尖、葉中部分葉子剪除，以減少葉子蒸散作用的影響，僅剩下杯狀葉基部分，並在中間基部，注入稀釋紅墨水 2 毫升，每小時作葉子橫切觀察維管束內是否有紅墨水進入。



品種	1小時	2小時	3小時	4小時	5小時	6小時
虎斑	內圈有紅墨水	中圈有紅墨水	外圈有紅墨水	--	--	--
火球	X	X	內圈有紅墨水	中圈有紅墨水	中圈有紅墨水	外圈有紅墨水

結果顯示，虎斑較火球在葉基吸收水份快很多，紅墨水稀釋的濃度(此為稀釋 1:4 濃度)也會影響到水份進入維管束的時間，導致虎斑在第一個小時即有吸收紅墨水。此外，由內圈吸收後會依次逐漸往中圈、外圈吸收紅墨水。

## 陸、討論

### 一、氣孔及毛狀體的分布密度與氣孔開閉情形

1. 在塗指甲油的採樣過程，可能因為植物葉表之毛狀體鱗片覆蓋，尤其是基部位置毛狀體數量較多，而使得氣孔被估算到的數目呈現較少。
2. 在表皮細胞的觀察發現，此種積水型鳳梨葉子基部之毛狀體數量遠多於葉子中間部位之毛狀體，且毛狀體面積也較大，推測該部分可能有較強之吸水功能，在基部的水份進入維管束之後，位於葉尖與葉中有較多的氣孔數量，也能有利於水份在木質部的向上運輸。
3. 此類 CAM 植物，氣孔主要在夜間打開，產生水份的蒸散作用，可能成為促進水份進入維管束中的主因。但根據我們的實驗觀察，在白天氣孔也不是全部關閉，仍有為數不少比例的氣孔是打開的，推測可能是為了白天光反應的氧氣釋放或是仍可維持小部分水份的蒸散作用。
4. 有研究認為毛狀體有另一功能為減少強光的傷害，生長在沙漠高溫少雨溫差大的環境下，蠟質的鱗毛可反射掉光線，達到降溫的效果 (Pierce et al. 2001, Pierce 2007)。此種 *Neoregelia ampullacea* 毛狀體的鱗毛有兩型，葉尖、葉中部位上下表皮的型態與葉基部位出現明顯差異性，我們推測較小型毛狀體可能退化為使表面較為光滑，或是能阻擋強光或降溫，有助於其適應雨林中炎熱多雨的環境，另外，在能產生積水的最內圈葉子之葉基部分，有較大型發達的毛狀體，則可能保留其吸收水份的功能。

## 二、葉子毛狀體的吸收水份的路徑

1. 積水鳳梨的根部雖然已經有空洞與退化現象，缺乏完整的維管束等構造，主要僅剩厚壁細胞用來支撐植物體，但實驗中根部的紅墨水能被吸收至葉子，可見仍具有木質部的水份運輸，然而可能因根壓不足而導致速率較為緩慢。此外，根部與葉基具儲存澱粉的功能，顯示根部仍具有韌皮部的養分輸導功能。

2. 我們發現在上下表皮雖然都有分布不少的毛狀體，但是在上下表皮外面也有覆蓋厚角質層，因此在葉尖或葉中部位，可能為阻擋紅墨水較進入維管束的主因，至於在葉基部位，尤其是葉鞘位置有較薄的角質層、表皮與葉肉，使水份更容易自發達的毛狀體進入。然而，火球基部的毛狀體鱗片顯得較為扁薄而無深孔紋，此種毛狀體退化的跡象可能為其進行吸水功能較慢的主要原因。

3. 積水鳳梨能在葉子基部長時間儲存水份而不會發生缺氧造成組織腐敗，可能與葉基部位有較大型的氣室有關，且可以向上連通至葉尖氣室，或許這也是葉尖與葉中氣孔數量較多，並維持一定比例氣孔為打開的緣故。此外，推測此處的毛狀體也可能提供消耗能量的主動運輸，以協助積水中無機鹽類的吸收，並累積較高的滲透壓進而有助於葉基部位水份的滲透吸收。

4. 通常 CAM(景天酸代謝)植物通常為肉質葉，具有大型液胞，儲存光合作用的中間產物，可見水份對他們的生理功能相當重要。此類積水鳳梨葉子較薄而強韌，橫切面靠近上表皮處具有特殊的透明葉肉帶，除了儲水功能之外，也發現具有許多結晶狀顆粒，可能有暫存代謝的中間產物與累積滲透壓的作用，其分子運作的機制，有待進一步的探討。

## 柒、結論

一、陸生植物要適應陸地乾旱的環境，需要由根來吸收水份與礦物質，但積水型鳳梨卻能利用積水葉基的發達毛狀體，來協助水份的收集與輸送，毛狀體的特殊構造似葉表的小漏斗，能暫時儲存滲入的水份，進入維管束組織的運輸與毛狀體分布的密度、面積及氣孔的數量與開閉時間是有密切關係。

二、積水鳳梨基部長期積存水份卻不會缺氧腐爛，主要與葉子基部具有大型氣室連通葉中與葉尖，可以由上層葉子持續提供氧氣。另外，此部位較缺乏角質層或次生細胞壁的構造可能也是吸收功能較佳的原因。

三、積水鳳梨在葉尖、葉中表皮分布的較小型毛狀體，可能吸收水份的功能已有退化，而與防曬或防止水份散失有關。

四、未來展望：積水鳳梨能利用葉子特化的表皮細胞—毛狀體，適應生長的環境，儲存與吸收降雨中的水份和無機鹽，輔助根吸水的功能，其奧妙的構造與生理運作機制值得我們繼續探究。

## 捌、參考資料

黃世恩、魏聖崇、廖清波、張正桓、陳學文、黃俊杉。2013 年，積水鳳梨之簡介。種苗科技專訊 No.83 15-18。

51 屆科展作品說明書，國中組生活與應用科學佳作，空氣中的海綿寶寶—絲蘿吸水特性的研究與應用。

52 屆科展作品說明書，高中組生物科，鳳水輪流轉—鳳梨科植物獲取水份之方式。

53 屆科展作品說明書，高中組生物科，鳳生水起—鳳梨吸水量及吸水速率的探討。

56 屆科展作品說明書，高中組生物科，鳳言鳳語—空氣鳳梨毛狀體與吸收路徑探討。

Stefano M, Papini A, Brighigna L. 2008. A new quantitative classification of ecological types in the bromeliad genus *Tillandsia* (Bromeliaceae) based on trichomes. Rev. Biol. Trop. 56, 191-203.

Pierce S. 2007. The jeweled armor of *Tillandsia*—Multifaceted or elongated trichomes provide photoprotection. Aliso 23, 44-52.

Pierce S, Maxwell K, Griffiths H, Klaus W. 2001. Hydrophobic trichome layers and epicuticular wax powders in Bromeliaceae. American Journal of Botany 88, 1371-1389.

## 【評語】 052103

1. 本研究主要目的在探討積水型鳳梨（*Neoregelia ampullacea*）葉表面氣孔與毛狀體之分布密度、氣孔開閉，及根部及葉子維管束對其吸水的影響。
2. 研究方式較屬於單純性狀及結構之觀察，對毛狀體構造有深入的了解，未來具有可能的應用性。
3. 作者對研究結果之展現與表達能力佳。

作品海報

## 摘要

本研究主要是觀察積水型鳳梨 (*Neoregelia ampullacea* hybrid) 葉子表面氣孔與毛狀體分布密度、氣孔開閉，還有根部及葉子維管束吸水的模式。結果發現此種積水型鳳梨的氣孔只分布在下表皮，主要在晚上開啟，然而白天氣孔也有相當比例是打開的，而葉子的毛狀體有兩種型態，分布在下表皮與基部的毛狀體數量不僅較多而且較大型。另外，根部雖然缺乏輸導能力，內部出現空洞化，但是葉表的毛狀體具有輔助吸收水份的功能，水份主要由基部的毛狀體進入至維管束內，再由下而上因打開的氣孔產生蒸散作用的拉力。此外，我們也與另外兩種積水鳳梨(虎斑與火球)做功能性的比較。若能對毛狀體構造更加了解，將可應用於仿生生物學，生產保暖又吸汗的織布或自動化供水系統的工具。

## 壹、研究動機

屏東是鳳梨的著名產地，因為在家政課時需要用鳳梨入菜，在採買過程中了解鳳梨和其他植物的不同處，並且也對這類CAM植物充滿好奇；在查了一些相關資料後，發現有一類積水型鳳梨雖然不需要種在土壤裡，但是竟然可以適應乾旱炎熱的環境，和一般藉由土壤吸收水分及礦物質的植物大不相同，令我們感到非常驚嘆！另外，在課本中也介紹了有關植物吸水以及水分在根部運輸的方式，所以希望能進一步探討此種積水型鳳梨如何由葉子進行水份的吸收與運送。

## 貳、研究目的

- (一) 探討積水型鳳梨氣孔密度與開閉的時間
- (二) 探討積水型鳳梨葉子毛狀體的構造與分布情形
- (三) 探討積水型鳳梨葉子毛狀體吸收水的路徑
- (四) 比較不同積水鳳梨吸水速率的差異性

## 參、研究背景資料

鳳梨科可再細分為三個亞科，分別為地生型鳳梨、積水型鳳梨及空氣型鳳梨，積水鳳梨是多年生單子葉草本植物，它們與大部份的植物不同之處為根系不發達，主要可提供固定作用，可由葉片吸收水及養分，因此，它們不需要長在土中，只要接收點雨水便可生存，在原生雨林環境中，它們多附生或垂掛於樹幹或石頭、甚至於電纜線上。臺灣的氣候環境適合大部分的積水鳳梨生長，對乾溼的忍受度都很強，無論遮陰或全日照均可生長，相當容易栽培。積水鳳梨是對葉部中心呈桶狀具有儲水作用的鳳梨科植物之通稱，因此其包括的範圍很廣，並不是單指某個屬別(黃等，2013年)，本實驗物種積水型鳳梨 *Neoregelia ampullacea* hybrid則是屬於五彩鳳梨屬。

積水鳳梨特化出一個特別的儲水機制來收集水分並供給自身使用，積水鳳梨在森林生態上也扮演了一個特殊的角色，它的特化儲水機制是許多生活於雨林樹冠層中的動物的飲水來源，也提供一些蛙類、蟹類生活的場域。此外，積水鳳梨無論葉色或花朵都極具觀賞價值，是極佳的觀賞植物，在生態上或經濟上皆頗具重要價值。

## 肆、研究過程或方法



## 伍、研究結果

**第一部分:** 探討積水型鳳梨葉子氣孔密度、開閉時間與毛狀體的分布情形

1. 於初步觀察時發現，此種積水鳳梨的葉背面略呈白色是小點是因為散佈著具有鱗片的毛狀體，進一步撕其表皮觀察，可見同時有兩類特化的細胞在表皮上，即毛狀體(A)與氣孔(B) (圖1-1)。
2. 我們用指甲油拓印的方式，撕取葉片各個部位此兩種細胞數量分布的情形。結果發現葉子上下表皮的毛狀體大小有明顯差異，且下表皮鱗片印模較清楚 (圖1-2)。

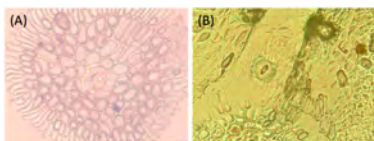


圖1-1



圖1-3B

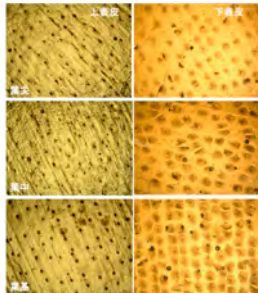


圖1-2

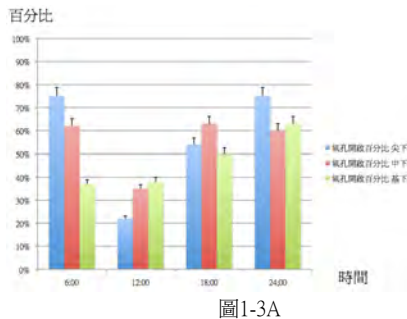
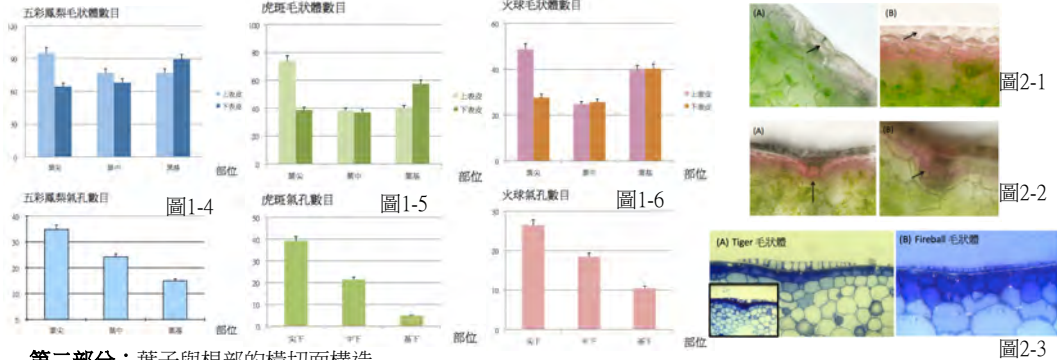


圖1-3A

3. 一天中不同時段的氣孔開閉，每六個小時採樣一次。發現氣孔於午夜24:00至清晨06:00時為開啟高峰，於白天12:00時有較高比例為關閉，應屬於CAM植物 (圖1-3A)。圖右下為氣孔開，左上為氣孔閉 (圖1-3B)。

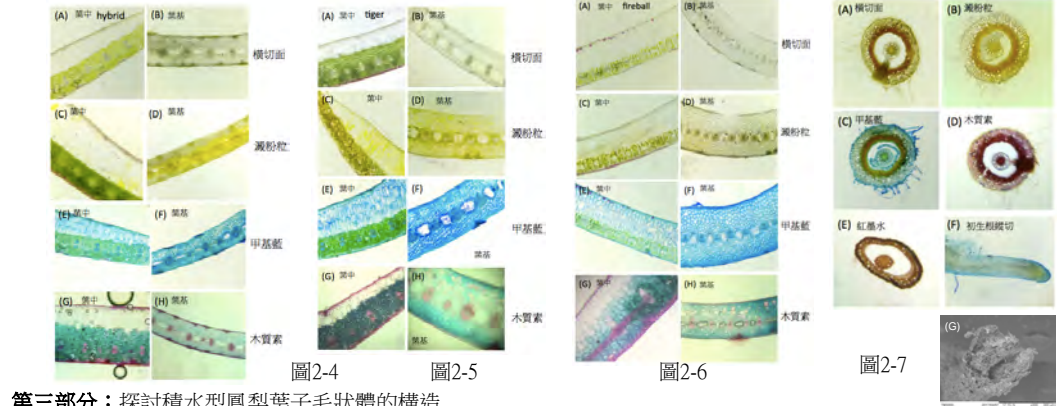


4. 比較三種積水鳳梨，發現在葉尖部位，上表皮之毛狀體較下表皮的單位面積數量多。此外，在基部位置之毛狀體，則是下表皮單位面積分布數量較高。另外，積水鳳梨葉子上表皮氣孔在葉尖、中間部位與基部位置，單位面積的數量皆為零。而下表皮氣孔在葉尖、中間部位較基部為多(圖1-4~1-6)。



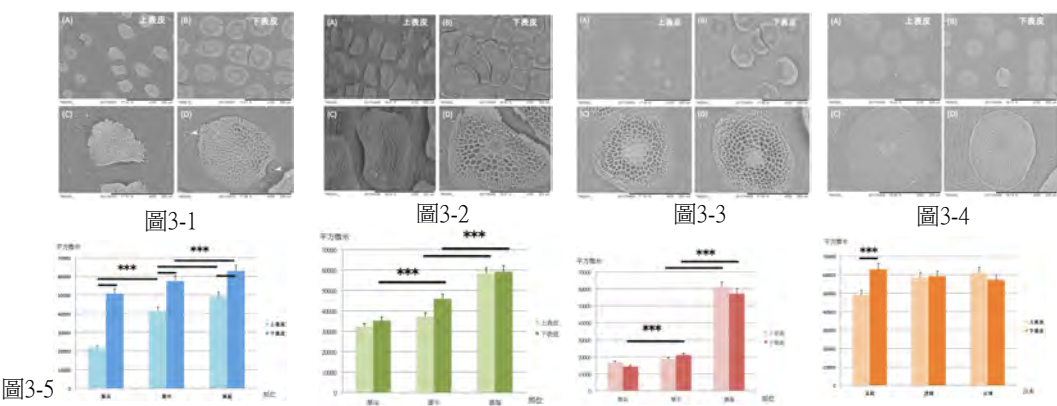
**第二部分：葉子與根部的橫切面構造**

1. 上表皮細胞的下方，是透明的葉肉帶，下方葉肉帶才具有較密集的綠色葉綠體與具有氣孔於下表皮(箭頭所指, A)。此外，表皮細胞外有厚角質層(箭頭所指, B) 圖2-1。毛狀體的橫切面可見為漏斗型的構造(A)，包含由上而下，依次由大而有小三層細胞，稱為拱頂細胞(dome cells)，兩邊可見還有伴隨漏斗狀傾斜在側邊的細胞(B) (圖2-2)。虎斑與火球毛狀體的樹脂包埋切片(圖2-3)。
2. 染碘液之後，發現在葉子的葉肉地帶，主要是在葉尖與葉中部分，出現許多紫黑色的澱粉粒(C)，此處也是葉綠體分布較密集之處，顯示光合作用的產物醣類，就近儲藏於此，然而在葉基(D)與根部澱粉粒較少或無，顯示韌皮部缺乏運送醣類到根部的功能(圖2-7B)。
3. 染番紅和固綠的結果顯示，除了維管束的厚壁細胞外，葉中上下表皮細胞的角質層部位與毛狀體的杯狀構造，皆有細胞壁加厚的現象，如圖中染成的紅色部位，在葉基的上下表皮則較無次生細胞壁的成份。(圖2-4~2-6G, H)。
4. 根部經過浸泡紅墨水2-5小時，發現根部的厚壁細胞及中間部位的導管細胞皆具有色素，葉子基部切片中維管束則無吸收染料，顯示根部不具有吸收水份功能(圖2-7E)。



**第三部分：探討積水鳳梨葉子毛狀體的構造**

1. 以掃描式電子顯微鏡觀察，可發現毛狀體的分布排列疏鬆，鱗片大多並未互相重疊，上下表皮的毛狀體大小與型態有明顯差異(圖3-1A-B)，應該是兩種不同型態的毛狀體，下表皮的毛狀體較大型，鱗片的紋路為略呈輻射狀排列。中央有不明顯癒合的中央盤細胞圖樣(圖3-1C-D)，箭頭處是氣孔，此為葉中部位的上下表皮毛狀體(圖3-1)。
2. 我們發現位在葉子的葉鞘上下表皮相較於葉中位置，毛狀體更為發達。尤其是下表皮的毛狀體鱗片較大型，重疊性較高，鱗片上的孔紋也較凹陷而明顯(圖3-2)。
3. 虎斑與火球葉基上下表皮毛狀體的型態比較(圖3-3、圖3-4)
4. 毛狀體面積經過量化後的結果(圖3-5~3-8)。T-test,  $p < 0.001$ , \*\*\*。



**第四部分：不同積水鳳梨吸水速率的比較**

1. 經過5小時後，只有在虎斑 (圖4-1F)與hybrid (圖4-2B)葉基部分的處理，經過觀察切片可在維管束內可見到明顯的紅色墨水。
2. 將虎斑與火球的葉尖、葉中部分葉子剪除，以減少葉子蒸散作用的影響，僅剩下杯狀葉基部分，並在中間基部，注入稀釋紅墨水2毫升，每小時作葉子橫切觀察維管束內是否有紅墨水進入。結果顯示，虎斑較火球在葉基吸收水份快很多，紅墨水稀釋的濃度(此為稀釋1:4濃度)也會影響到水份進入維管束的時間，導致虎斑在第一個小時即有吸收紅墨水。此外，由內圈吸收後會依次逐漸往中圈、外圈吸收紅墨水 (圖4-3)。

3. 虎斑與火球基部積水量比較，發現虎斑的植株較高，積水高度也較高，另外，火球雖然較矮，積水高度較低，但是積水寬度較寬，使得總積水體積（洋菜凍體積）兩者並無顯著差異。然而積水產生的水柱壓力，與水柱高度成正比，可能也是植株高度較高的虎斑，積水高度也較高，能夠造成水份較易進入的原因（圖4-4）。  
4. 虎斑與火球基部積水量與時間之變化比較，若以5 ml 為起始積水量，經過一星期的觀察記錄，發現水份的消耗速率在1-3天為高峰期，則可能受到此時積水壓較大的影響。另外，虎斑的儲水量維持較多，可能與其口徑較小，水份蒸散較少有關（圖4-5）。

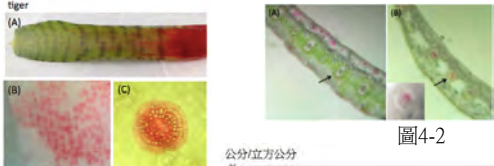


圖4-2

品種	1小時	2小時	3小時	4小時	5小時	6小時
虎斑	內圈有紅墨水	中圈有紅墨水	外圈有紅墨水	--	--	--
火球	X	X	內圈有紅墨水	中圈有紅墨水	中圈有紅墨水	外圈有紅墨水

圖4-3

圖4-1

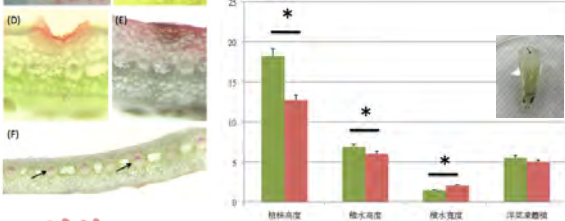


圖4-4

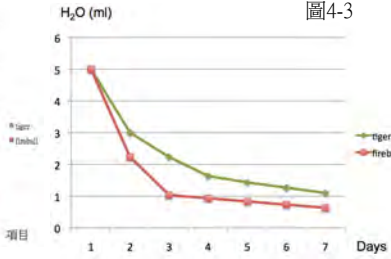


圖4-5

## 陸、討論

一、氣孔及毛狀體的分布密度與氣孔開閉情形

1. 在表皮細胞的觀察發現，此種積水型鳳梨**葉子基部之毛狀體數量遠多於葉子中間部位之毛狀體，且毛狀體面積也較大**，推測該部分可能有較強之吸水功能，在基部的水份進入維管束之後，位於葉尖與葉中有較多的氣孔數量，也能有利於水份在木質部的向上運輸。  
2. 此類CAM(景天酸代謝)植物，氣孔主要在夜間打開，產生水份的蒸散作用，可能成為促進水份進入維管束中的主因。但根據我們的實驗觀察，在白天氣孔也不是全部關閉，仍有為數不少比例的氣孔是打開的，推測可能是為了白天光反應的氧氣釋放或是仍可維持小部分水份的蒸散作用，以利水份的向上運輸。  
3. 有研究認為毛狀體有另一功能為減少強光的傷害，生長在沙漠高溫少雨溫差大的環境下，蠟質的鱗毛可反射掉光線，達到降溫的效果 (Pierce et al. 2001, Pierce 2007)。此種 *Neoregelia ampullacea* hybrid毛狀體的鱗毛有兩型，葉尖、葉中部位上下表皮的型態與葉基部位出現明顯差異性，我們推測較小型毛狀體可能退化為使表面較為光滑，或是能阻擋強光或降溫，有助於其適應雨林中炎熱多雨的環境，另外，在能產生**積水的最內圈葉子之葉基，尤其是葉鞘部分，有較大型發達孔紋型態的毛狀體**，則可能保留其吸收水份的功能。

二、葉子毛狀體的吸收水份的路徑

1. 積水鳳梨的根部已經有空洞與退化現象，缺乏完整的維管束等構造，主要僅剩厚壁細胞用來支撐植物體，實驗中根部的木質部雖可吸水，但紅墨水無法被運輸至葉子，因此缺少水份吸收功能，然而另一方面可能也因此造成根壓不足，而導致植物體水份輸送速率較為緩慢。此外，根部與葉基缺乏儲存澱粉的功能，顯示根部也不具有韌皮部的養分輸導功能。  
2. 我們發現在上下表皮雖然都有分布不少的毛狀體，但是在上下表皮外面也有覆蓋厚角質層，因此在葉尖或葉中部位，可能為阻擋紅墨水較進入維管束的主因，至於在葉基部位，尤其是**葉鞘位置有較薄的角質層、表皮與葉肉，使水份更容易自發達的毛狀體進入**。然而，火球基部的毛狀體鱗片顯得較為扁薄而無深孔紋，此種毛狀體退化的跡象可能為其進行吸水功能較慢的主要原因。  
3. 積水鳳梨能在葉子基部長時間儲存水份而不會發生缺氧造成組織腐敗，可能與**葉鞘部位有較大型的氣室**有關，且可以向上連通至葉尖氣室，或許這也是葉尖與葉中氣孔數量較多，並維持一定比例氣孔為打開的緣故。此外，推測此處的毛狀體也可能提供消耗能量的主動運輸，以協助積水中無機鹽類的吸收，並累積較高的滲透壓進而有助於葉基部位水份的滲透吸收。  
4. 我們發現在葉基直接注入紅墨水，不論有沒有剪掉上層葉子（以去除蒸散作用的影響），吸水速率高於單片葉子沾紅墨水的速率，因此推測此種植物水份的輸送，除了蒸散作用、毛細現象之外，**積水產生的積水壓可能取代缺乏根壓的影響，而有助於水份的進入植物**。此外，虎斑較火球的積水時間長，主要可能是因為虎斑的積水半徑小、管徑長，可以有效減緩水柱的蒸散作用。

## 柒、結論

一、陸生植物要適應陸地乾旱的環境，需要由根來吸收水份與礦物質，但積水型鳳梨卻能利用積水葉基的發達毛狀體，來協助水份的收集與輸送，毛狀體的特殊構造似葉表的小漏斗，能暫時儲存滲入的水份，進入維管束組織的運輸與**毛狀體分布的密度、面積、型態、積水高度、寬度、氣孔的數量與開閉時間**(影響蒸散作用)等因子是有密切關係。  
二、積水鳳梨在葉尖、葉中表皮分布的較小型毛狀體，可能吸收水份的功能已有退化，而與防曬或防止水份散失有關。  
三、積水鳳梨基部長期積存水份卻不會缺氧腐爛，主要與葉鞘部位特化具有大型氣室連通葉中與葉尖，可以由上層葉子持續提供氧氣。此部位較缺乏角質層或次生細胞壁的構造可能也是吸收功能較佳的原因。另外，基部積水產生的積水壓，可能可以取代根壓的作用，以促進水份的進入植物體。  
四、未來展望：積水鳳梨能利用葉子特化的表皮細胞—毛狀體，適應生長的环境，儲存與吸收降雨中的水份和無機鹽，輔助根吸水的功能，其奧妙的構造、生理運作機制與應用潛力值得我們繼續探究。

## 捌、參考資料

- 黃世恩、魏聖崇、廖清波、張正桓、陳學文、黃俊杉。2013年，積水鳳梨之簡介。種苗科技專訊 No.83 15-18
- 51屆科展作品說明書，國中組生活與應用科學佳作，空氣中的海綿寶實—絲藻吸水特性的研究與應用
- 52屆科展作品說明書，高中組生物科，風水輪流轉—鳳梨科植物獲取水份之方式。
- 53屆科展作品說明書，高中組生物科，風生水起—鳳梨吸水量及吸水速率的探討。
- 56屆科展作品說明書，高中組生物科，風言風語—空氣鳳梨毛狀體與吸收路徑探討。
- Stefano M, Papini A, Brighigna L. 2008. A new quantitative classification of ecological types in the bromeliad genus *Tillandsia* (Bromeliaceae) based on trichomes. Rev. Biol. Trop. 56, 191-203.
- Pierce S. 2007. The jeweled armor of *Tillandsia*—Multifaceted or elongated trichomes provide photoprotection. Aliso 23, 44-52.
- Pierce S, Maxwell K, Griffiths H, Klaus W. 2001. Hydrophobic trichome layers and epicuticular wax powders in Bromeliaceae. American Journal of Botany 88, 1371-1389.