

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生物科

030307

『蒸』仙!?～探討仙人掌角質層厚度及刺座與蒸散的關係

學校名稱： 臺中市立新光國民中學

作者：	指導老師：
國二 沈沛蓉	蔡逢光
國二 劉芷妍	
國二 黃品蓉	

關鍵詞： 角質層、氣孔、刺座

摘要

本實驗想了解仙人掌角質層厚度和刺座是否對蒸散有影響，結果顯示，刺的長度、數量及密集度與仙人掌的表皮厚度和平均氣孔數有關，刺越長越密集，平均氣孔數越少，表皮厚度越薄。而仙人掌表皮厚度越厚越耐熱，刺越密集越能遮擋光線，可以減少強光的傷害，故刺越密集越耐曬。仙人掌的刺有被紅墨水染色，是由於毛細現象所導致，本實驗中的蒸散量大致呈現有刺大於無刺，而除去刺之後蒸散量下降是由於減少了刺的蒸發量所導致。仙人掌的含水量占其重量 80 %以上，其莖部有大量的海綿狀組織，可能跟仙人掌針對乾燥環境的適應性有關。蒸散量需要考慮表皮的氣孔總數及表皮厚度，有刺的仙人掌蒸散部位會比無刺仙人掌多，故刺越密集蒸散量就越大。

壹、研究動機

仙人掌隨處可見，在路上有時會看到沒有刺的仙人掌，有時又會看到很多刺的仙人掌，看著這些外型千變萬化的仙人掌時，我們產生了一些疑問，他們的外型會不會帶來生長不同的影響？刺的多寡與角質層的厚度和蒸散有何關聯？在好奇心的驅使下，我們上網查了一些外形大不相同的仙人掌，找了分別代表無刺、短刺及長刺共 6 種仙人掌來做實驗，看看不同形式的仙人掌有什麼差異。

貳、研究目的

本研究想了解仙人掌角質層的厚度與刺的多寡是否會影響蒸散，因此我們選用了 6 種外型特色有所差異的仙人掌。觀察各種仙人掌不同特徵所帶來的影響，有三個主要的實驗目的：

一、仙人掌的外觀特徵

- (一)仙人掌刺的型態、數量；刺座型態、數量
- (二)計算仙人掌的表面積、表皮厚度和氣孔分布與數量

二、仙人掌的對高溫的適應

- (一)高溫對仙人掌的影響
- (二)強光照對仙人掌的影響

三、仙人掌的蒸散

- (一)觀察根部維管束的分布及刺有無維管束
- (二)仙人掌氣孔數量對蒸散的影響

四、仙人掌的含水量

- (一)測量仙人掌的濕重及乾重，並估算其含水量

參、研究設備及器材

本實驗採用了 6 種仙人掌，分別為無刺的鸞鳳玉，短刺的 Disco 及玉翁，長刺的千波萬波及金冠。短刺及長刺還可以再細分為刺座稀疏及刺座密集，其中 Disco 及千波萬波為刺座稀疏，玉翁及金冠為刺座密集。



圖 1、實驗使用的仙人掌

a 及 b：鸞鳳玉(*Astrophytum myriostigma*)原產地墨西哥中部高原、c：Disco(*Discocactus buenekeri*)原產地巴西和巴拉圭、d：玉翁(*Mammillaria hahniana*)原產地墨西哥中部高原、e：千波萬波(*Stenocactus multistriatus*)原產地墨西哥中北部、f：金冠(*Ampeliceps coronatus*)原產地南美草原

	
植物生長箱	複式顯微鏡
	
燒杯、剪刀、鑷子	烘箱
	
探針式溫度計	測溫槍

肆、研究步驟

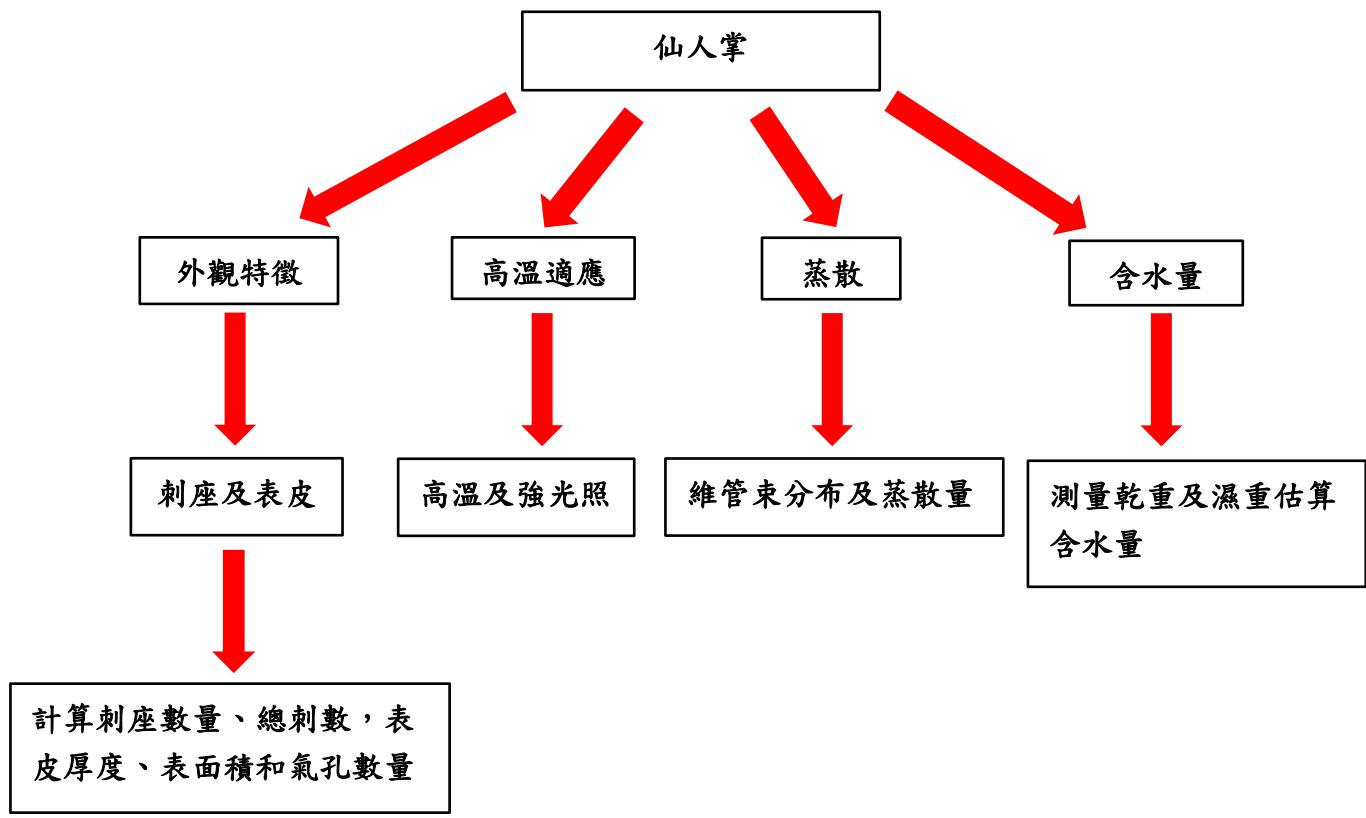


圖 2、實驗流程圖

實驗一-1、仙人掌刺的型態、數量；刺座型態、數量

一、先觀察每顆仙人掌的刺座型態：

- (一) 細數每個刺座有多少刺，包含主要的粗刺及細刺
- (二) 清點所有仙人掌表面的刺座數量以計算整顆仙人掌的總刺數

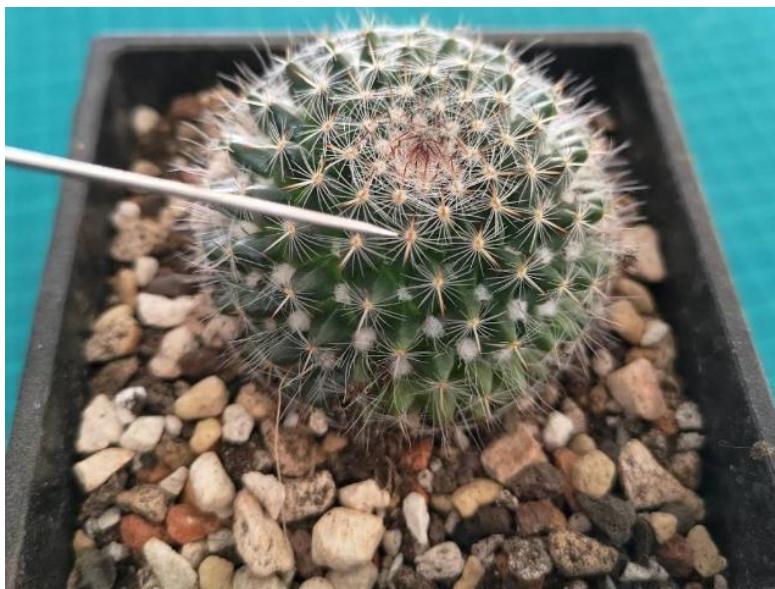


圖 3、仙人掌刺座

實驗一-2、計算仙人掌的表面積、厚度和氣孔分布與數量

一、計算仙人掌表面積

- (一) 將仙人掌表面切成規律的條狀並壓平，計算每片表皮面積並加總
- (二) 每種仙人掌選擇三顆大小相似的個體進行實驗

二、估算仙人掌表皮厚度

- (一) 將仙人掌表皮垂直切成薄片
- (二) 以複式顯微鏡搭配比例尺玻片觀察並測量表皮厚度，每一種仙人掌重複 3 次以上求得平均厚度

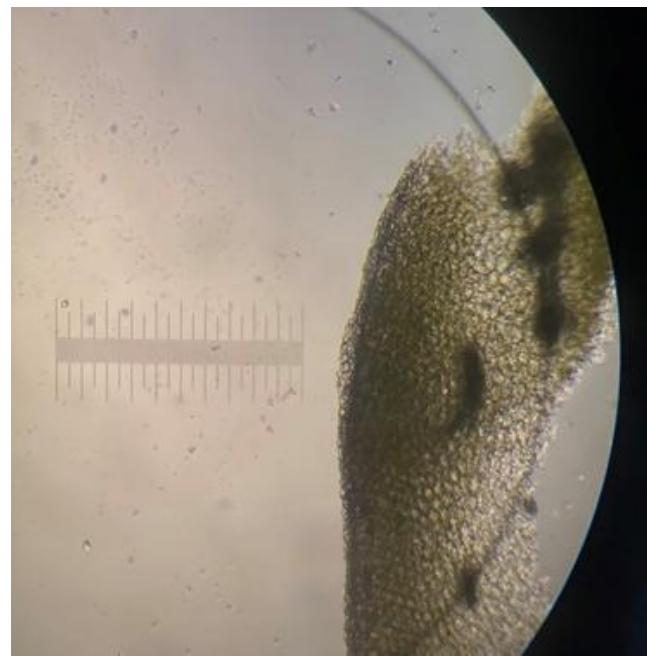


圖 4、測量仙人掌表皮厚度

三、估算氣孔數量

(一) 將仙人掌表皮撕下並裁切成約 1 cm^2 的大小

(二) 利用複式顯微鏡觀察並計算氣孔數量，每種仙人掌重複 3 次

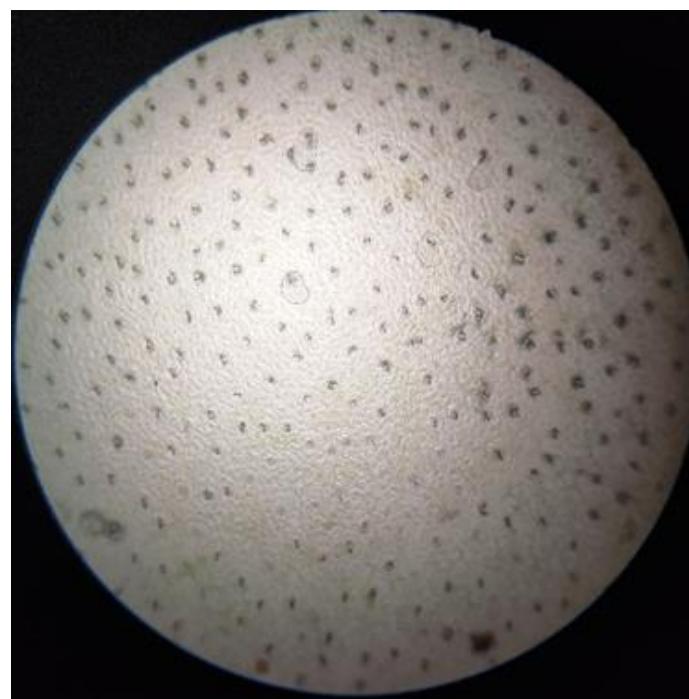


圖 5、仙人掌表皮的氣孔

實驗二-1：高溫對仙人掌的影響

一、以探針式溫度計測量仙人掌的核心溫度，表面溫度以測溫槍測量

二、放置在陽光下曝曬半小時後重複步驟一，再計算內外溫差



圖 6、仙人掌表皮及核心溫度測量

實驗二-2：強光照對仙人掌的影響

將仙人掌置於玻璃缸中，放置於室外曝曬一週，觀察其變化

實驗三-1、觀察根部維管束的分布及刺有無維管束

一、將紅墨水倒入 100 毫升的燒杯中，固定仙人掌在燒杯上並確認底下的根觸及水面，靜置一週

二、用手術刀將根切成薄片，以複式顯微鏡觀察根部紅色部分是否有維管束



圖 7、將仙人掌放入燒杯中吸紅墨水

a：鸞鳳玉(綠)、b：鸞鳳玉(白)、c：Disco、d：玉翁、e：千波萬波、f：金冠

實驗三-2、仙人掌氣孔數量對蒸散的影響

- 一、配置同實驗三-1，燒杯內液體改為清水，放置於戶外，一週後測量燒杯內剩餘的水量
- 二、取刺座密集的玉翁及金冠各 6 棵，其中 3 棵將刺座全部剪除，實驗配置同實驗三-1，一週後測量燒杯內剩餘的水量
- 三、將仙人掌放置戶外，並採用半開放的方式



圖 8、仙人掌蒸散實驗配置

實驗四：仙人掌的含水量

仙人掌先秤重，再放置於烘箱內等到其完全乾燥再進行秤重，求得濕重及乾重之後再評估仙人掌的含水量



圖 9、烘乾的仙人掌

伍、實驗結果與討論

實驗一-1、仙人掌刺的型態、數量；刺座型態、數量



圖 10、仙人掌的刺座及刺

a：鸞鳳玉(綠)、b：鸞鳳玉(白)、c：Disco、d：玉翁、e：千波萬波、f：金冠

表 1、仙人掌刺座數及總刺數

	刺座數	總刺數
鸞鳳玉(綠)	19 ± 3.6	—
鸞鳳玉(白)	20 ± 7.4	—
Disco	50 ± 14.1	704 ± 228.8
玉翁	147 ± 28.8	3515 ± 662.5
千波萬波	36 ± 2	252 ± 14
金冠	188 ± 34.4	1827 ± 429.2

** = $p < 0.01$

仙人掌刺座型態如圖 10，鸞鳳玉表面有刺座(約 20 個，表 1)，但沒有發現刺。Disco 每個刺座約有 14 根刺，刺的型態彼此無差異，玉翁每個刺座約有 24 根刺，其中包含 2 根較粗的刺和 22 根細刺，千波萬波每個刺座有 7 根刺，包含 3 根粗大的刺和 4 根較小的刺，金冠每個刺座約為 10 根刺，型態彼此無差異。

短刺組的 Disco 及玉翁刺座(Disco 約 50 個，玉翁約 147 個)與總刺數(Disco 約 704 根，玉翁約 3516 根)均有顯著差異(表 1)。長刺組的千波萬波及金冠刺座(千波萬波約 36 個，金冠約 188 個)與總刺數(千波萬波約 252 根，金冠約 1827 根)均有顯著差異(表 1)。

實驗一-2、計算仙人掌的表面積、厚度和氣孔分布與數量

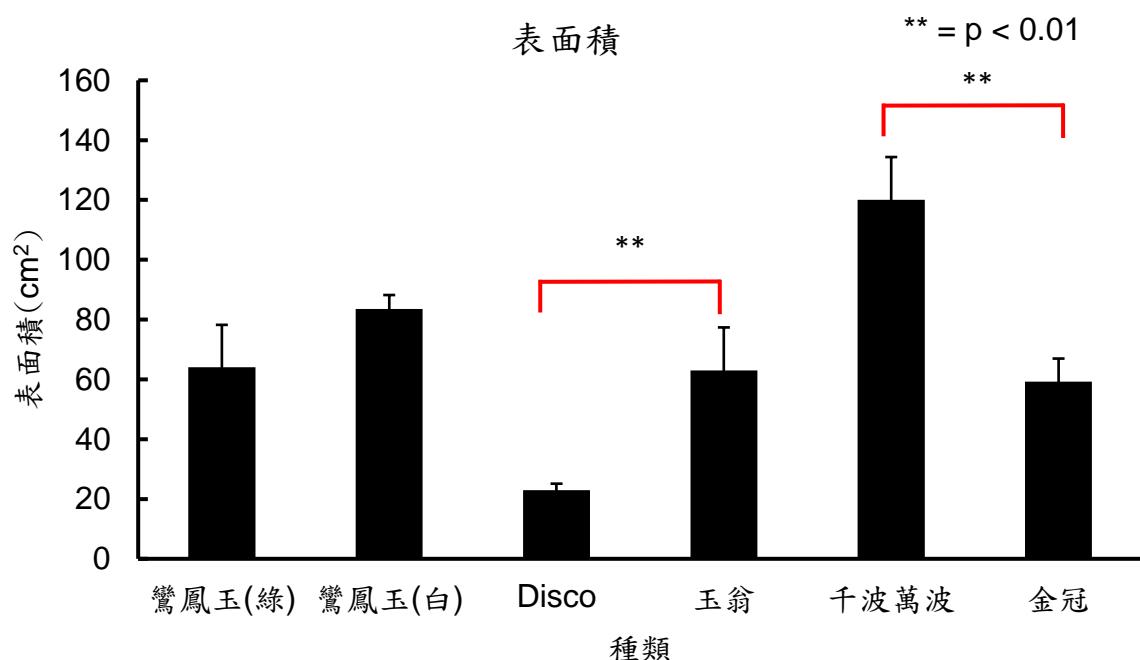


圖 11、仙人掌表面積

$** = p < 0.01$

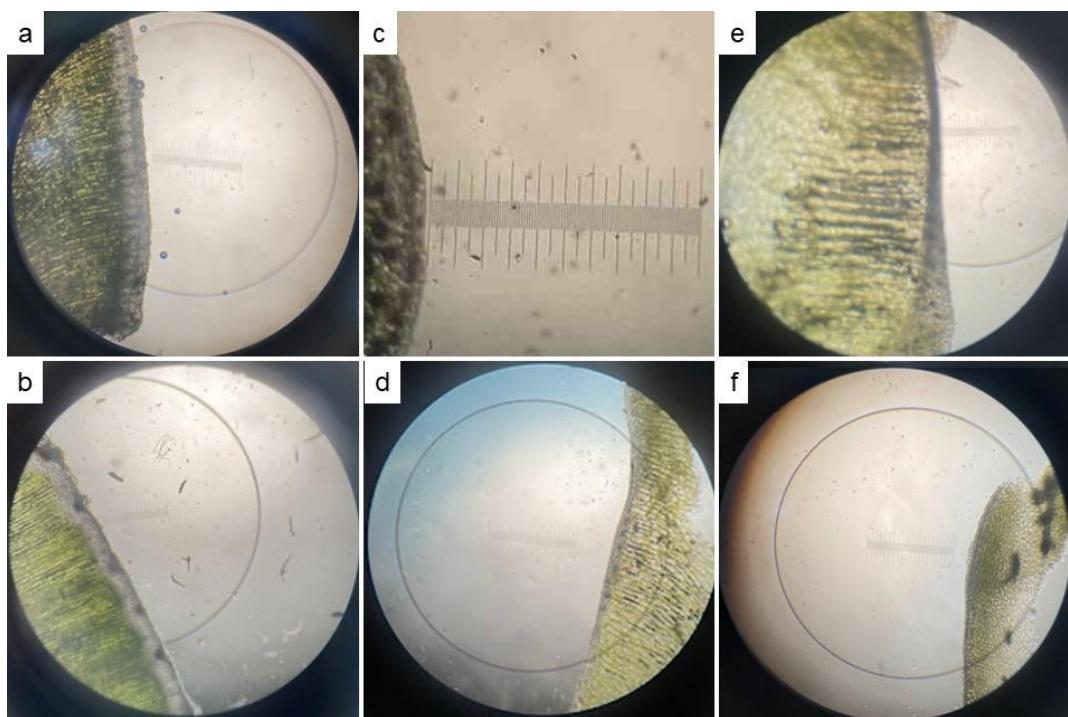


圖 12、仙人掌的表皮厚度展示圖

a：鸞鳳玉(綠)、b：鸞鳳玉(白)、c：Disco、d：玉翁、e：千波萬波、f：金冠

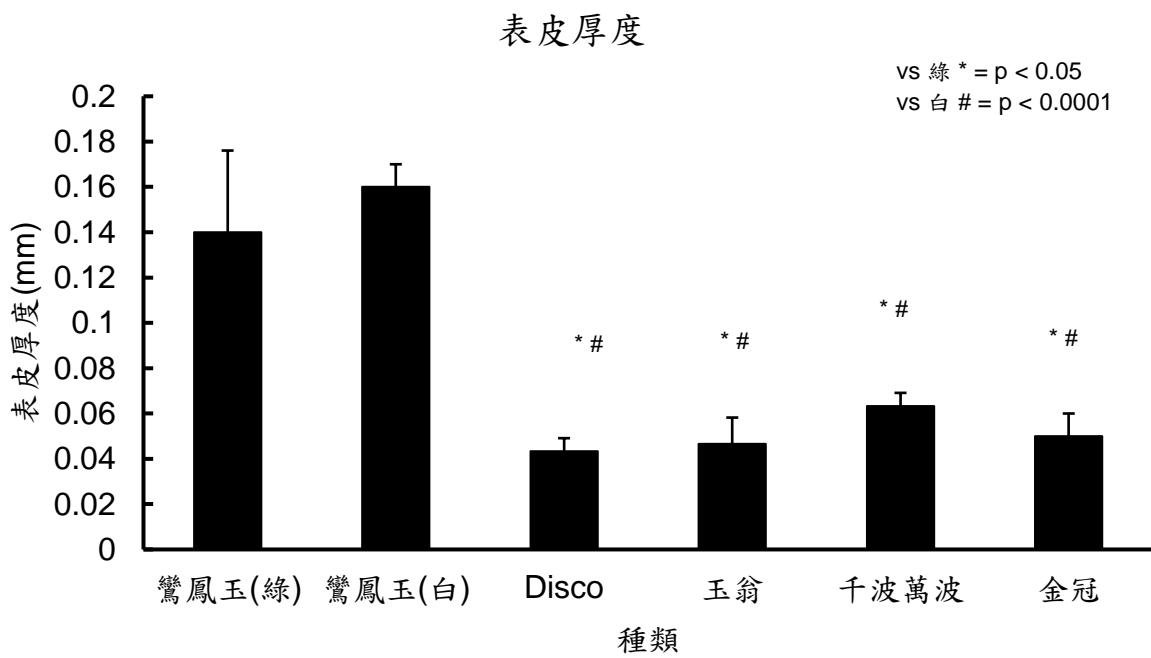


圖 13、仙人掌表皮厚度

* = $p < 0.05$; # = $p < 0.0001$

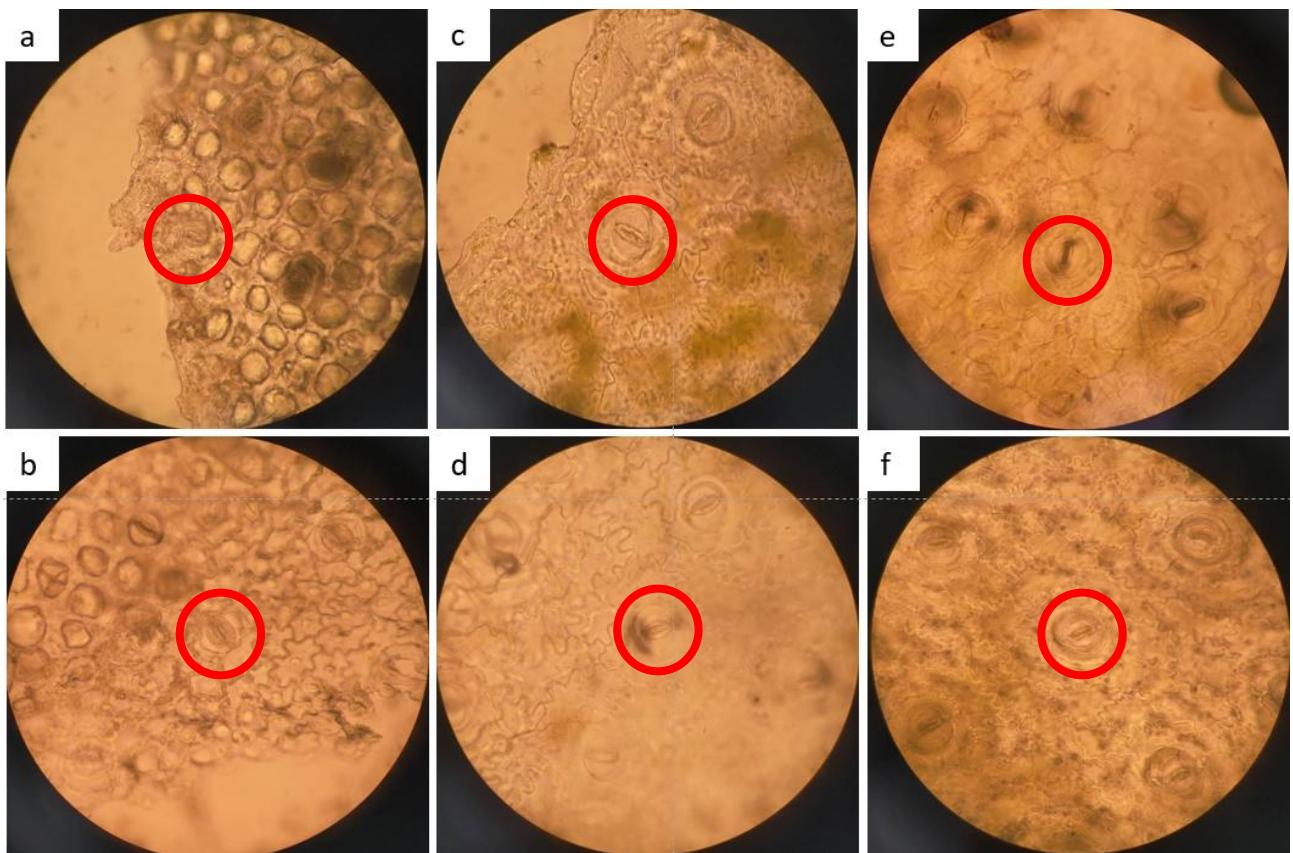


圖 14、仙人掌的氣孔特寫圖，紅圈處為氣孔

a：鷲鳳玉(綠)、b：鷲鳳玉(白)、c：Disco、d：玉翁、e：千波萬波、f：金冠

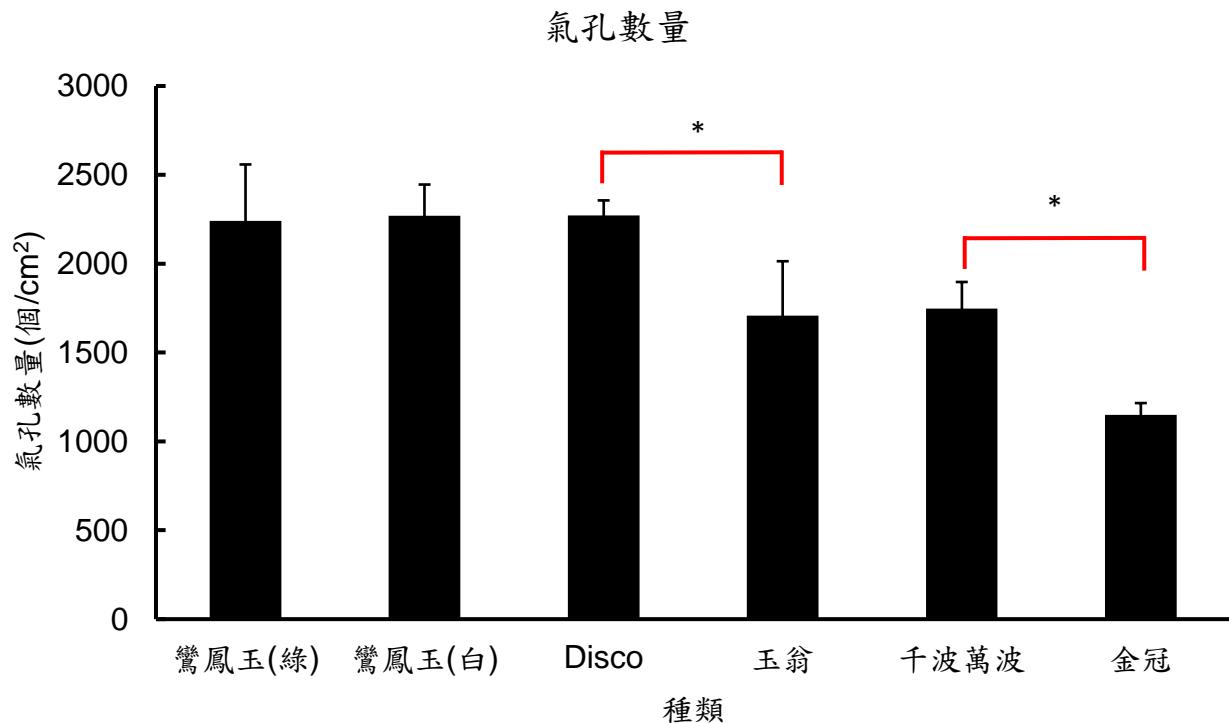


圖 15、仙人掌氣孔數量

* = $p < 0.05$

無刺組的綠色鸚鳳玉表面積約為 64.1 cm^2 ，白色鸚鳳玉約為 83.6 cm^2 ；短刺組的 Disco 約為 23.0 cm^2 ，玉翁約為 63.0 cm^2 ，兩者有顯著差異，但 Disco 個體較小；長刺組的千波萬波約為 120.0 cm^2 ，金冠約為 59.2 cm^2 ，兩者有顯著差異，主因是千波萬波有較多的皺褶，所以表面積會大很多(圖 11)。

無刺的綠色及白色鸚鳳玉表皮厚度較厚(綠色 0.14 mm 、白色 0.16 mm)，均與其他 4 種仙人掌表皮厚度有顯著差異，刺越多越密的仙人掌表皮有變薄的趨勢(圖 13)。

平均氣孔數量以無刺的鸚鳳玉最多(綠色 2241 個 cm^2 ；白色 2270 個/ cm^2)，短刺的 Disco 與玉翁及長刺的千波萬波與金冠平均氣孔數量皆有顯著差異，且刺越多平均氣孔數量越少(圖 15)。

由實驗一結果可知：

一、鸞鳳玉的刺座最少，但並沒有在刺座上發現刺，鸞鳳玉的刺座是它開花的位置(圖 15)；短刺組 Disco 的刺座較為稀疏，玉翁的刺座較為密集；長刺組千波萬波的刺座較為稀疏，金冠的刺座較為密集，是刺座數最多的。

二、長刺組的千波萬波總刺數是有刺仙人掌中最少的，但是刺又粗又大，因此千波萬波刺的表面積是最大的，短刺組的玉翁是仙人掌中總刺數最多的，但因為多為細刺，所以刺的表面積不大。

三、長刺組的千波萬波因表面皺褶較多，因此表面積最大，短刺組的 Disco 因個體最小，因此表面積最小。

四、以表皮厚度而言，無刺組的鸞鳳玉表皮最厚，長刺組的金冠表皮比千波萬波薄，由實驗結果可以得到一個趨勢，仙人掌的刺越多，表皮就越薄。

五、以平均氣孔數而言，鸞鳳玉的氣孔較多，長刺組金冠的氣孔較少。由結果可以得到一個趨勢，仙人掌表面的刺越少，平均氣孔數就會越多。

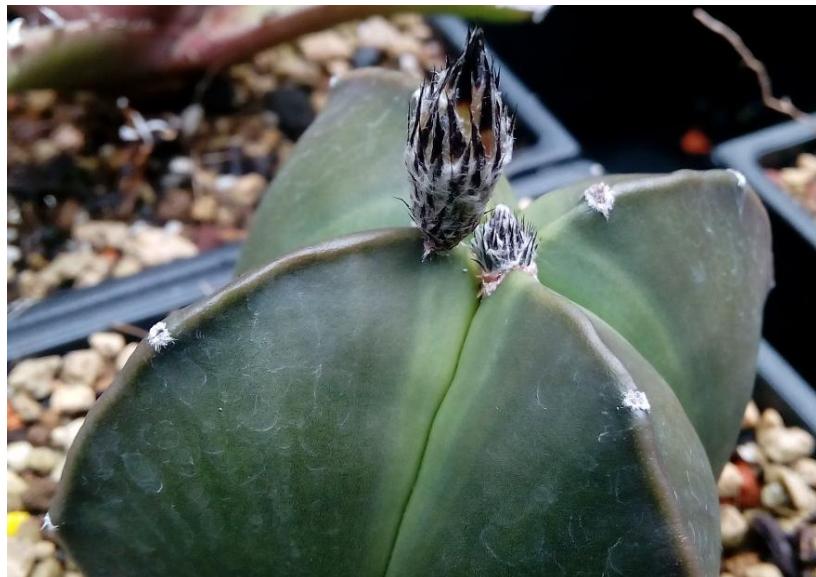


圖 16、鸞鳳玉的刺座與花苞

實驗二-1：高溫對仙人掌的影響

表 2、仙人掌表皮及核心溫度

	室內		室外	
	表皮	核心	表皮	核心
鸞鳳玉(綠)	30.3 ± 0.1	30.5 ± 0.2	43.7 ± 1.1	39.6 ± 0.8
鸞鳳玉(白)	30.3 ± 0.1	30.2 ± 0.3	42.7 ± 0.2	39.2 ± 0.6
Disco	30.2 ± 0.1	29.8 ± 0.2	45.6 ± 0.2	43.7 ± 0.5
玉翁	30.4 ± 0.3	30.2 ± 0.1	42.7 ± 1.1	40.3 ± 0.4
千波萬波	30.2 ± 0.3	30.0 ± 0.2	42.5 ± 0.1	41.5 ± 0.3
金冠	30.2 ± 0.1	30.0 ± 0.2	41.9 ± 0.6	40.6 ± 0.1

室外溫度為中午日曬半小時之後測得

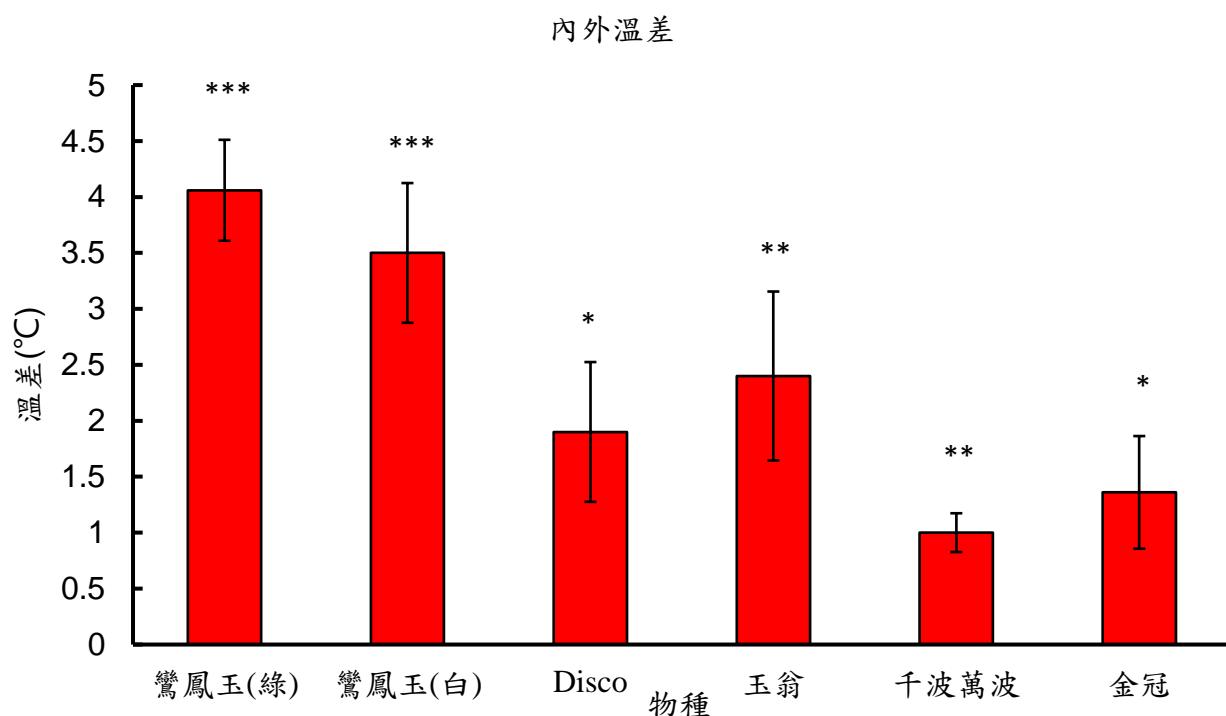


圖 17、仙人掌的內外溫差

* = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$; *** = $p < 0.001$

表 2 為實驗後室內外仙人掌表皮及核心溫度總表，實驗中的 6 種仙人掌在室內環境的表皮及核心溫度差異甚小，幾乎達到一致。中午陽光曝曬半小時之後，6 種仙人掌的表皮溫度皆超過 40 度，但核心溫度與室內的狀況不同。由圖 17 可知，無刺組的綠色鸞鳳玉表皮與核心溫差約為 4°C ，白色鸞鳳玉表皮與核心溫差約為 3.5°C ；短刺組的 Disco 表皮與核心溫差約為 1.9°C ，玉翁表皮與核心溫差約為 2.4°C ，長刺組的千波萬波表皮與核心溫差約為 1°C ，金冠表皮與核心溫差約為 1.36°C 。實驗中的 6 種仙人掌於日照半小時之後內外溫差皆有顯著差異，且刺越密集的仙人掌，內外溫差越小。

實驗二-2：強光照對仙人掌的影響



圖 18、仙人掌強光照一週後的狀況

由左至右由上而下依序為綠色鸞鳳玉、白色鸞鳳玉、Disco、玉翁、千波萬波、金冠

由圖 18 可知，無刺的鸞鳳玉在一週的強光照之下出現相當程度的燒傷狀況，短刺的 Disco 及玉翁，長刺的金冠皆無燒傷的狀況，但是長刺的千波萬波出現頂部燒傷的狀況。

由實驗二可知：

- 一、本實驗中無刺的仙人掌在曝曬半小時之後內外溫差最大，刺較密集的仙人掌內外溫差最小，根據實驗一的結果及熱量傳導的觀點可以推斷，角質層越厚的仙人掌外部熱量較難傳導至內部，表皮越厚可能越耐熱。
- 二、在強光實驗中可發現無刺的仙人掌有明顯的曬傷，而有刺的仙人掌無明顯曬傷，由此可推斷，仙人掌的刺具有遮蔽陽光的效果，可防止仙人掌因為強光照射造成的表皮曬傷。
- 三、千波萬波在強光實驗中有頂部燒傷的狀況，推測跟他的刺較稀疏有關，而同為刺較稀疏的 Disco 並未出現燒傷的狀況，推測與體型及刺的覆蓋範圍有關。

實驗三-1、觀察根部維管束的分布及刺有無維管束



圖 19、玉翁莖的剖面圖

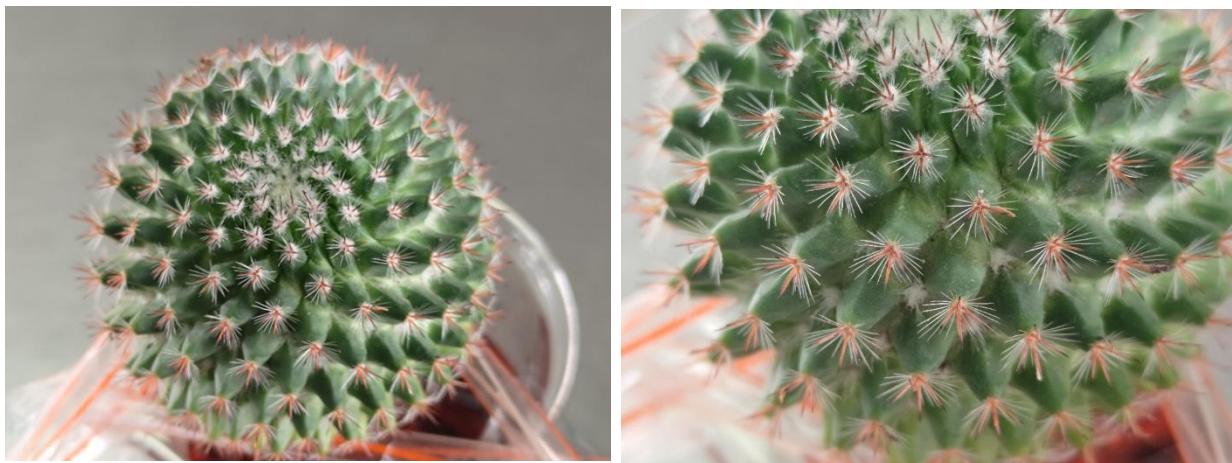


圖 20、被紅墨水染色的刺

由圖 19 可以觀察到從根接到莖部的維管束分布，進一步往上可以發現有些刺被紅墨水染色(圖 20)，因此可以推斷，仙人掌的維管束可能有延伸到刺。

實驗三-2、仙人掌氣孔數量對蒸散的影響

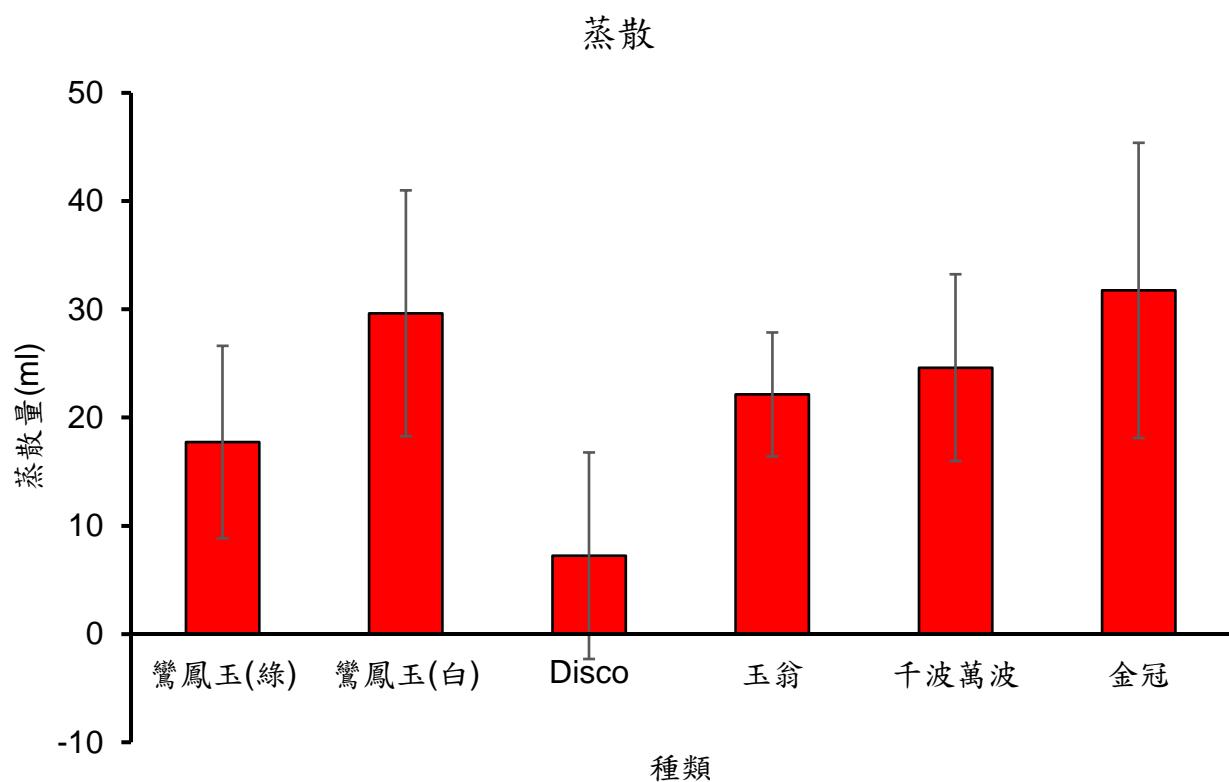


圖 21、仙人掌蒸散量

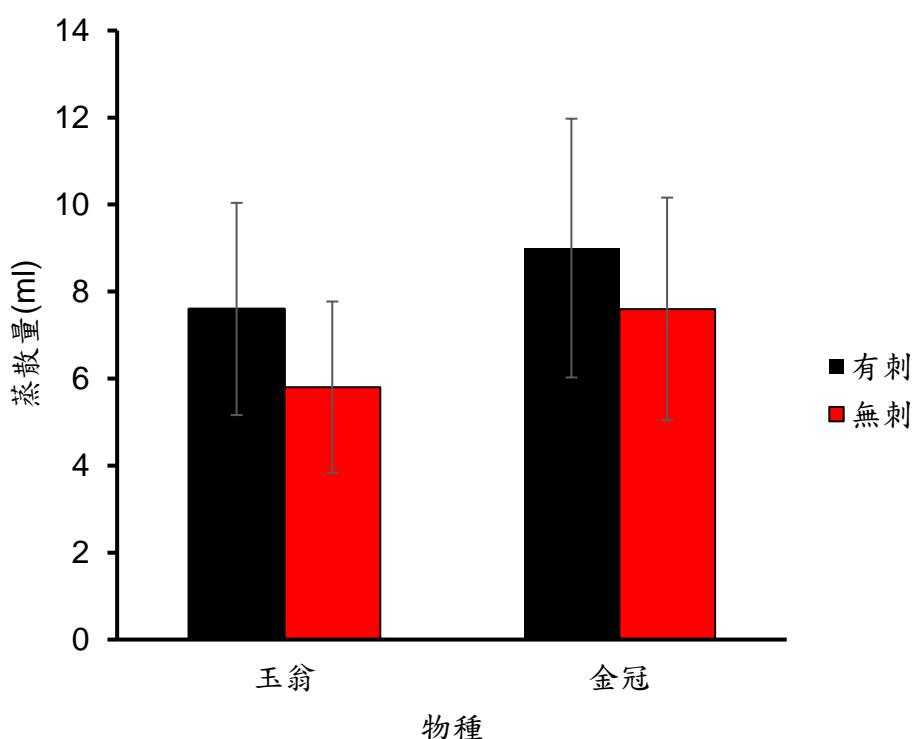


圖 22、玉翁、金冠有刺無刺蒸散量

以蒸散量來說，無刺組綠色鸞鳳玉的蒸散量約為 17.7 ml，白色鸞鳳玉約為 29.6 ml；短刺組 Disco 約為 7.2 ml，玉翁約為 22.1 ml；長刺組的千波萬波約為 24.6 ml，金冠約為 31.7 ml，短刺組 Disco 的蒸散量最少。而刺越密集的仙人掌，蒸散量越多(圖 21)。

同樣是刺座較為密集的玉翁及金冠，將刺去除之後蒸散量都比原本少(圖 22)，原本預期是由於刺上的氣孔所導致，經文獻查詢後發現，仙人掌的刺是死細胞，所以並沒有維管束的分布，也沒有氣孔，而刺上有細微的毛，可形成毛細現象，所以有刺的仙人掌蒸散量變多是因為多了刺的蒸發量。

由實驗三可知：

- 一、紅墨水由根部一路向上延伸，部分仙人掌的刺也有被染色的跡象，因此推測仙人掌的維管束可能有延伸到刺，但經過文獻查詢發現，仙人掌的刺並無維管束分布，刺被染色可能是由於毛細現象所導致。
- 二、整體而言，本實驗的仙人掌蒸散量的趨勢大致呈現有刺大於無刺，而且刺越密集蒸散量越大。
- 三、將刺去除之後蒸散量較原本少，是因為仙人掌的刺上有細微的毛造成毛細現象，水分可以透過仙人掌的刺蒸發，所以有刺的仙人掌除了本身的蒸散量之外，還多了刺的蒸發量。

實驗四：仙人掌的含水量

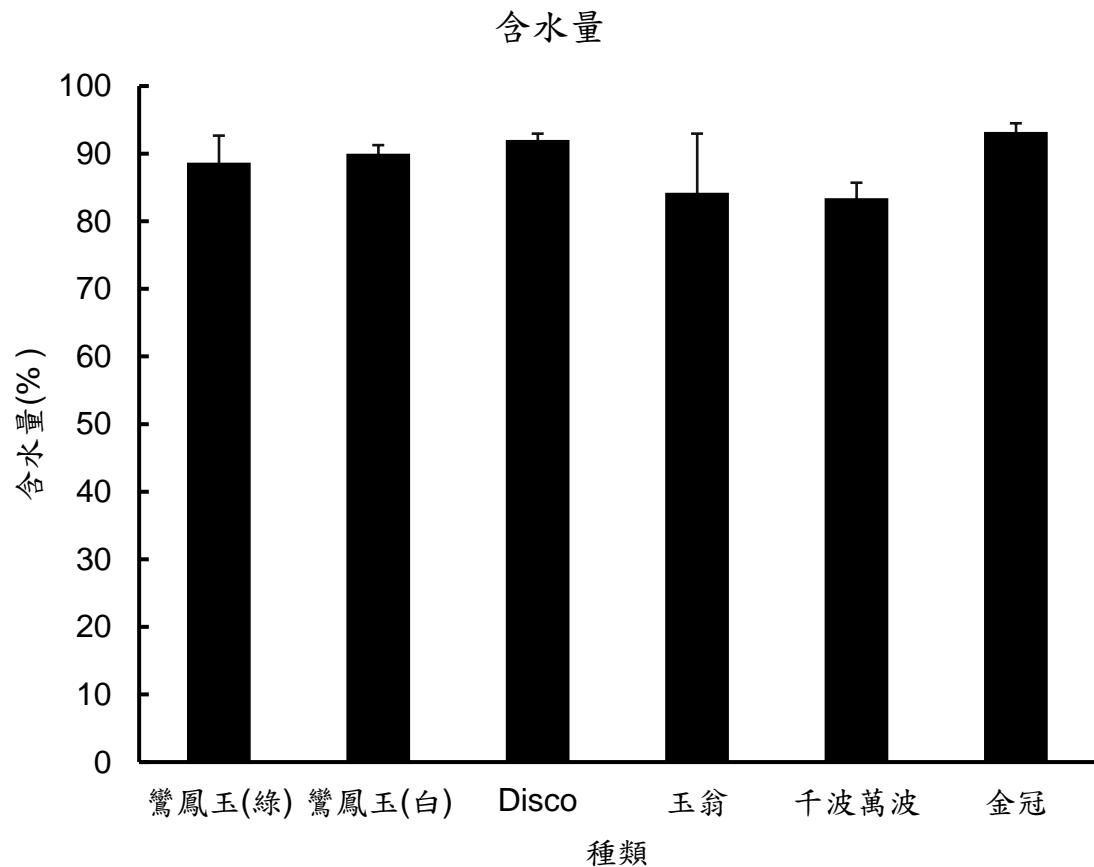


圖 23、仙人掌含水量



圖 24、仙人掌縱剖面

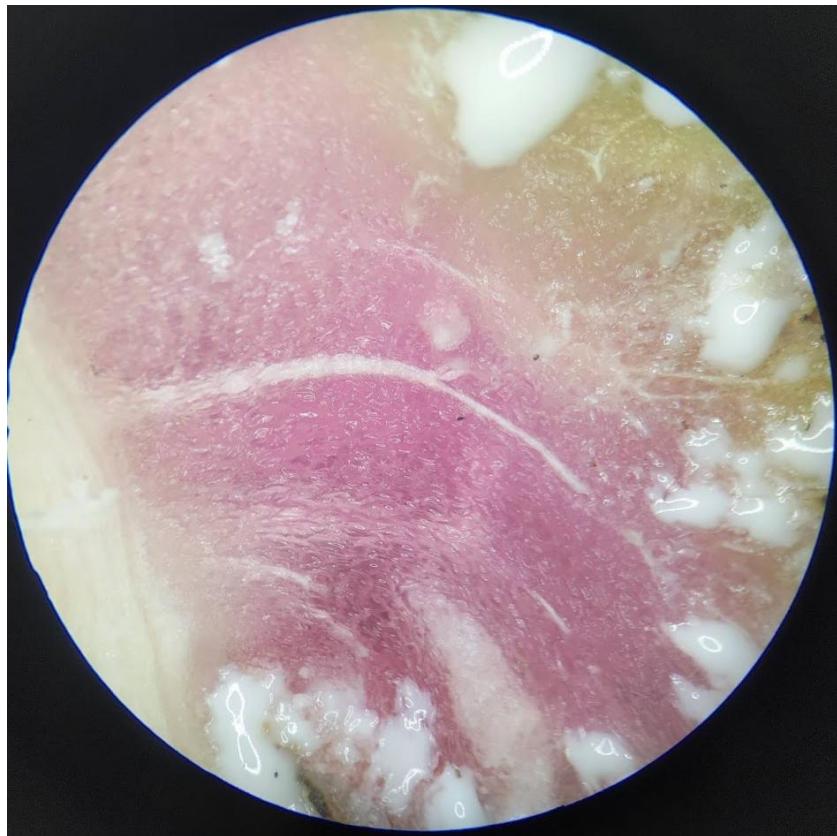


圖 25、仙人掌內部結構(解剖顯微鏡)

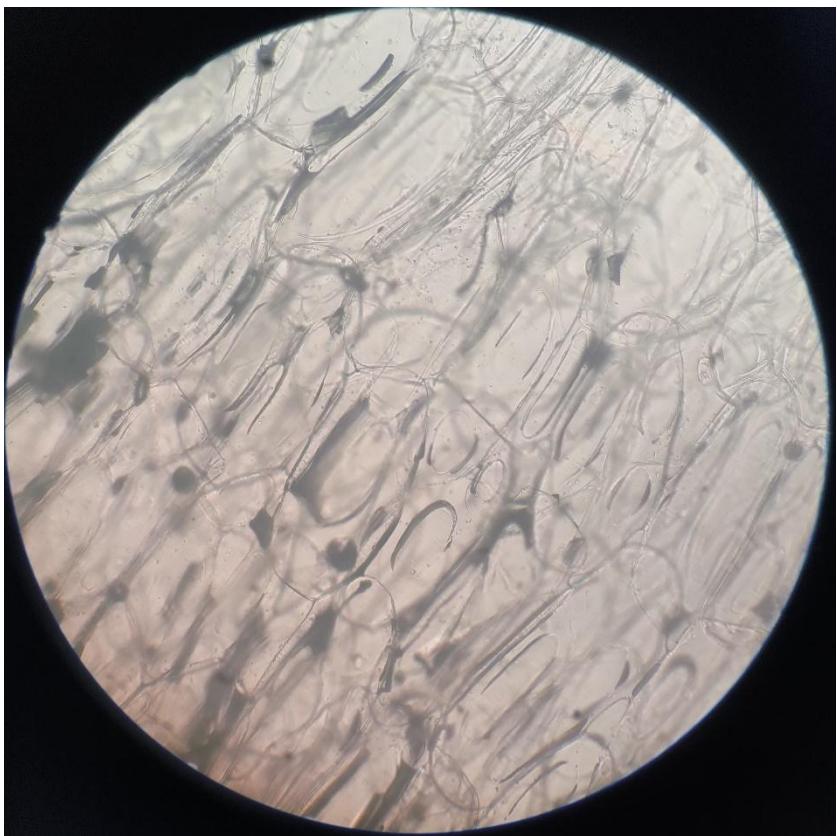


圖 26、仙人掌內部結構(複式顯微鏡)

無刺組的綠色鸞鳳玉含水量約為其重量的 88.7 %，白色鸞鳳玉約 90.0 %；短刺組的 Disco 約 92.0 %，玉翁約 84.2 %；長刺組的千波萬波約 83.4 %，金冠約 93.2 %，每顆仙人掌的含水量均高達 80 %以上(圖 23)。

由圖 24 可知，仙人掌的剖面結構有類似海綿狀的結構，以解剖顯微鏡觀察後可清楚觀察到儲水的組織(圖 25)，再以複式顯微鏡切片觀察之後可發現膨脹的細胞(圖 26)，這與仙人掌有高達 80 %以上含水量有關。

由實驗四可知：

- 一、每種仙人掌的含水量皆高達 80 %，6 種仙人掌間差異並不大，含水量最多的是長刺的金冠(93 %)，兩種鸞鳳玉含水量差不多(綠色 88.7 %、白色 90.0 %)，最少的是千波萬波(83.4 %)。
- 二、仙人掌莖的內部有相當多的海綿狀組織，這些海綿狀組織可以很有效的儲存大量的水，先人掌有如此高的含水量，或許與其適應乾燥環境的生存策略有關。
- 三、本實驗中 6 種仙人掌的含水量差異不大，可能是實驗環境一致所導致，如果是在原生環境應該會有不同的表現。

陸、結論

- 一、實驗結果顯示總刺數越多，表皮厚度就越薄；表面刺越密越長，氣孔數就越少，所以有刺越多越密，表皮就越薄，氣孔就越少的趨勢。
- 二、仙人掌表面積與其型態有關，皺褶越多表面積越大。
- 三、在相同的光照時間下，表皮越厚的仙人掌核心溫度上升越少，以熱量傳遞的觀點來看，表皮越厚熱量傳遞越慢，故推測表皮越厚越耐熱。
- 四、無刺的仙人掌由於缺乏刺的保護，較易在強光照下導致曬傷，刺越密集的仙人掌曬傷程度越低，故推測仙人掌的刺具有阻擋陽光直射的效果。
- 五、部分仙人掌的刺有被染色的跡象，但由於刺是死細胞，故刺的染色來自於毛細現象。同時，水分可以透過刺蒸發，所以導致有刺的仙人掌蒸散量增加。
- 六、本實驗的仙人掌的蒸散量趨勢大致呈現有刺大於無刺。
- 七、仙人掌的含水量相當高，其莖的內部含有大量海綿種組織，這可能與仙人掌的生存環境及生存策略有關。
- 八、表皮的厚度與刺的密集程度有關，推測應該與日照程度有關，刺越多的仙人掌可以擋住較多的光線，故表皮厚度較薄，反之，無刺的仙人掌並無遮蔽物，所以表皮厚度較厚。
- 九、本實驗的結果顯示，蒸散量需要考慮兩個因素，表皮的氣孔總數及表皮厚度，有刺的仙人掌蒸散量會比無刺仙人掌蒸散量多，故刺越密集蒸散量就越大。

柒、參考文獻

一、維基百科，自由的百科全書仙人掌

<https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/%E4%BB%99%E4%BA%BA%E6%8E%8C>

二、植物盆栽綠寶典

<https://plantpots.cc/%E9%87%91%E5%86%A0%E4%BB%99%E4%BA%BA%E6%8E%8C/>

三、多稜玉（千波萬波-多稜球）仙人球介紹與養護

https://duorou.tw/%E5%A4%9A%E7%A8%9C%E7%8E%89%EF%BC%88%E5%8D%83%E6%B3%A2-%E5%A4%9A%E7%A8%9C%E7%90%83%EF%BC%89%E4%BB%99%E4%BA%BA%E7%90%83%E4%BB%8B%E7%B4%B9%E8%88%87%E9%A4%8A%E8%AD%B7/#google_vignette

四、多肉圖鑑：鸞鳳玉

<https://succuland.com.tw/brands-project/astrophytum-myriostigma/>

五、臺北典藏植物園

<https://www.future.url.tw/plant/view/68>

六、百度百科-玉翁

<https://baike.baidu.com/item/%E7%8E%89%E7%BF%81/6085501>

七、植護百科

<https://succuland.com.tw/brands-category/plant-column/qa/>

八、仙人掌 disco：獨特魅力與栽培指南

<https://plantpots.cc/%E4%BB%99%E4%BA%BA%E6%8E%8Cdisco/>

九、多葉仙人掌

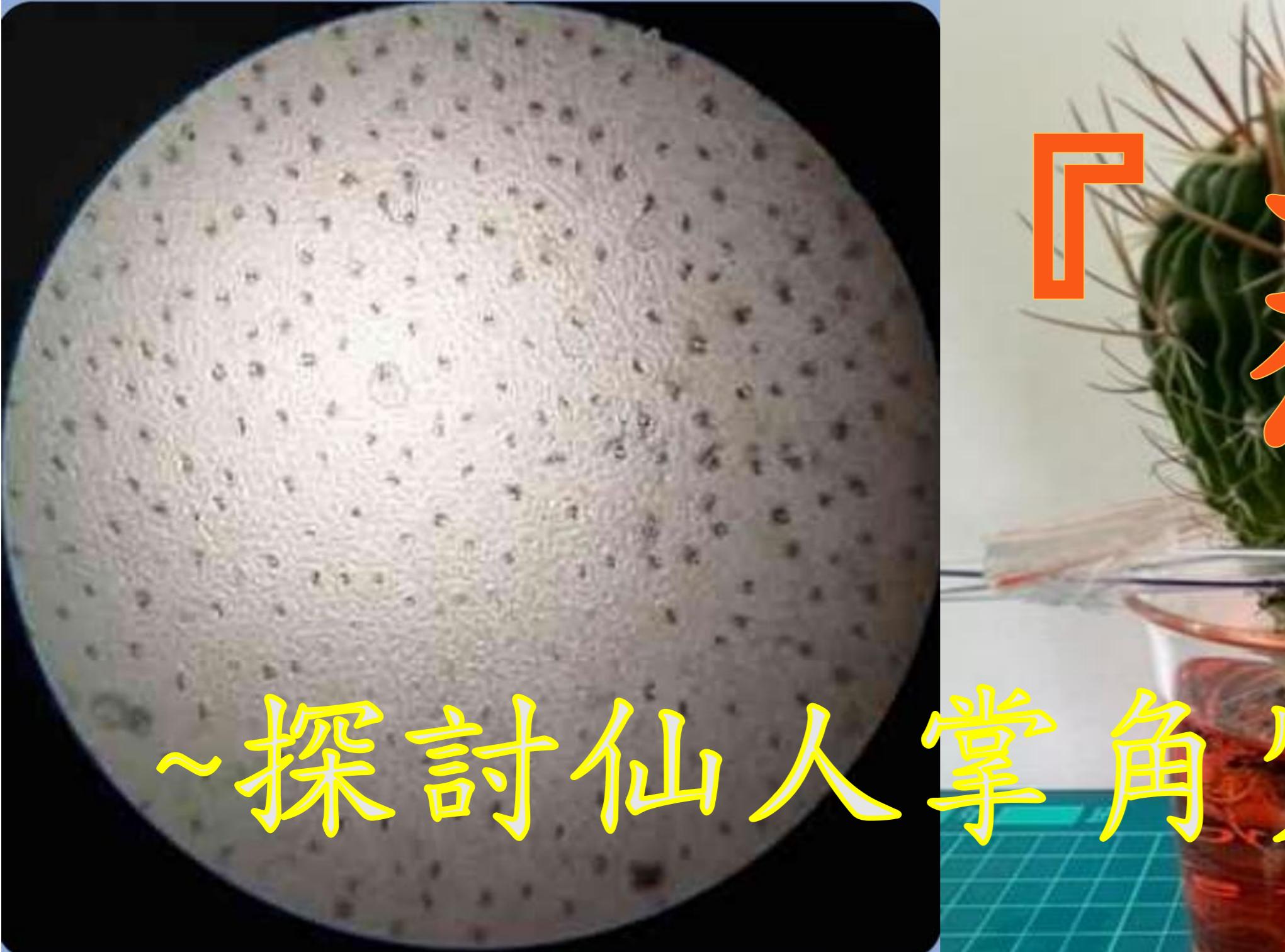
https://www.indefenseofplants.com/blog/tag/spines?utm_source=chatgpt.com

本實驗所有照片及圖片皆由作者親自拍攝及製作

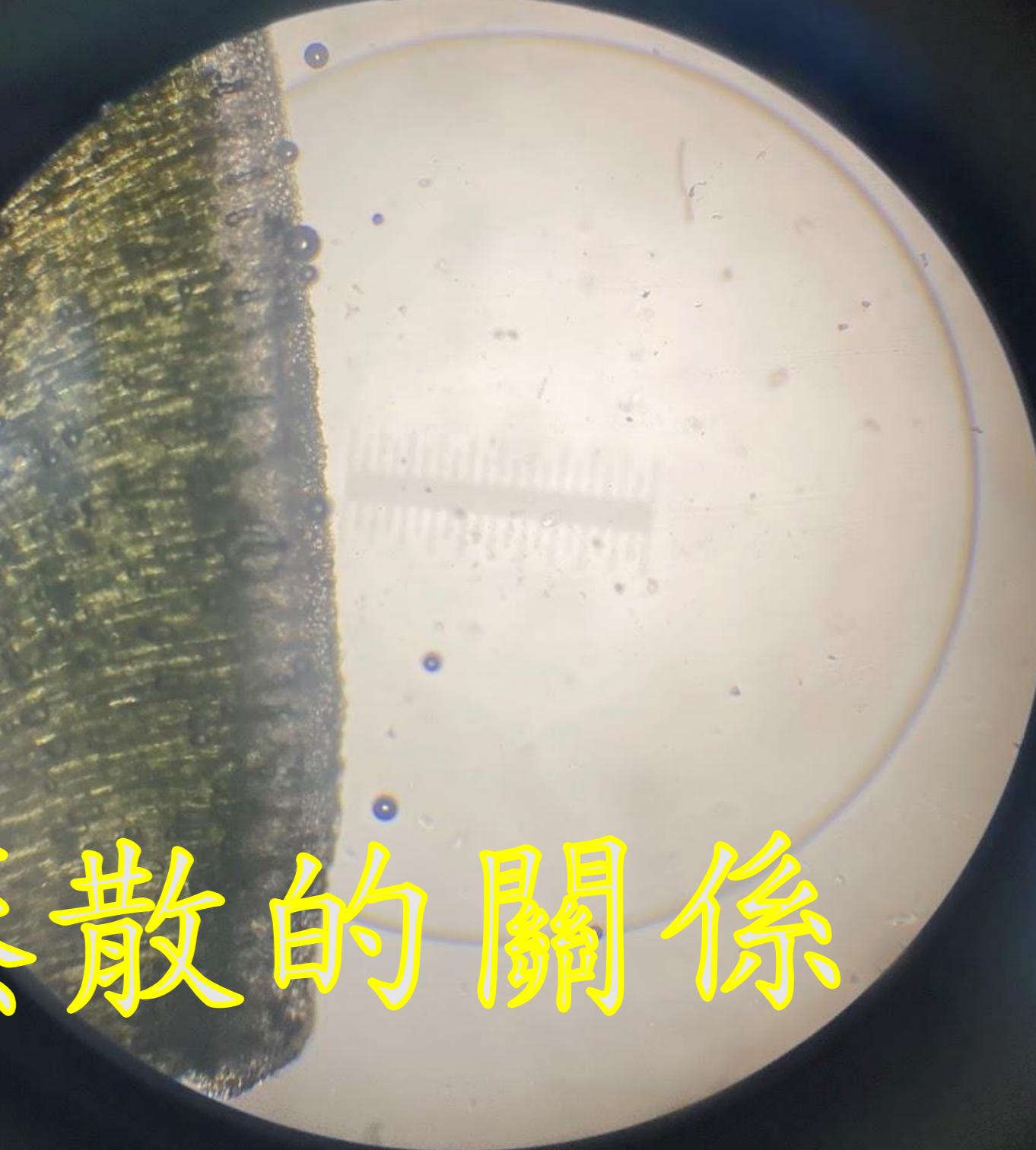
【評語】030307

1. 此研究以仙人掌適應乾燥環境的形態特徵為主題，探討刺的密度與角質層厚度對蒸散作用的影響，選題具生態意義，整體研究設計包含形態測量、顯微觀察與蒸散量評估，具有良好的觀察力。
2. 實驗設計中涵蓋多項變因，並嘗試建立刺與蒸散量間的關聯性，但目前所使用的仙人掌種類較少，限制了對不同物種間變異的綜合評估，建議未來可納入更多品種，並進行迴歸或相關分析以提高數據解析力。
3. 已觀察到刺密度與表皮厚度、氣孔數的負相關趨勢，建議補強實驗控制條件的敘述，尤其是環境因素如溫度、濕度與光照的穩定性控制，避免蒸散數據受到非形態變因干擾。
4. 蒸散量數據呈現具參考性，但部分樣本大小、重量與初始狀態未清楚說明，可能影響結果的比較性，未來應明確說明每組樣品的初始條件，並於圖表中標示樣本數、標準差與顯著性檢定，以提升資料說服力。
5. 研究指出刺的毛細現象可能提升蒸散量，為一值得探討的機制，然該部分應與氣孔蒸散作用加以區分，避免將刺的物理蒸發與植物氣孔調控混為一談，建議於結論中分別討論兩者對總蒸散的貢獻。

作品海報



~探討仙人掌角質層厚度及刺座與蒸散的關係



摘要

本實驗想了解仙人掌角質層厚度和刺座是否對蒸散有影響，結果顯示，刺的長度、數量及密集度與仙人掌的表皮厚度和平均氣孔數有關，刺越長越密集，平均氣孔數越少，表皮厚度越薄。而仙人掌表皮厚度越厚越耐熱，刺越密集越能遮擋光線，可以減少強光的傷害，故刺越密集越耐曬。仙人掌的刺有被紅墨水染色，是由於毛細現象所導致，本實驗中的蒸散量大致呈現有刺大於無刺，而除去刺之後蒸散量下降是由於減少了刺的蒸發量所導致。仙人掌的含水量占其重量80 %以上，其莖部有大量的海綿狀組織，可能跟仙人掌針對乾燥環境的適應性有關。蒸散量需要考慮表皮的氣孔總數及表皮厚度，有刺的仙人掌蒸散部位會比無刺仙人掌多，故刺越密集蒸散量就越大。

壹、研究動機

仙人掌隨處可見，在路上有時會看到沒有刺的仙人掌，有時又會看到很多刺的仙人掌，看著這些外型千變萬化的仙人掌時，我們產生了一些疑問，他們的外型會不會帶來生長不同的影響？刺的多寡與角質層的厚度和蒸散有何關聯？在好奇心的驅使下，我們上網查了一些外形大不相同的仙人掌，找了分別代表無刺、短刺及長刺共6種仙人掌來做實驗，看看不同形式的仙人掌有什麼差異。

貳、研究目的

本研究想了解仙人掌角質層的厚度與刺的多寡是否會影響蒸散，主要的實驗目的有：

一、仙人掌的外部特徵

- (一)仙人掌刺的型態、數量、刺座型態、數量
- (二)計算仙人掌的表面積、厚度和氣孔分布與數量

二、仙人掌的對高溫的適應

- (一)高溫對仙人掌的影響
- (二)強光照對仙人掌的影響

三、仙人掌的蒸散

- (一)觀察根部維管束的分布及刺有無維管束
- (二)仙人掌氣孔數量對蒸散的影響

四、仙人掌的含水量

- (一)測量仙人掌的濕重及乾重，並估算其含水量

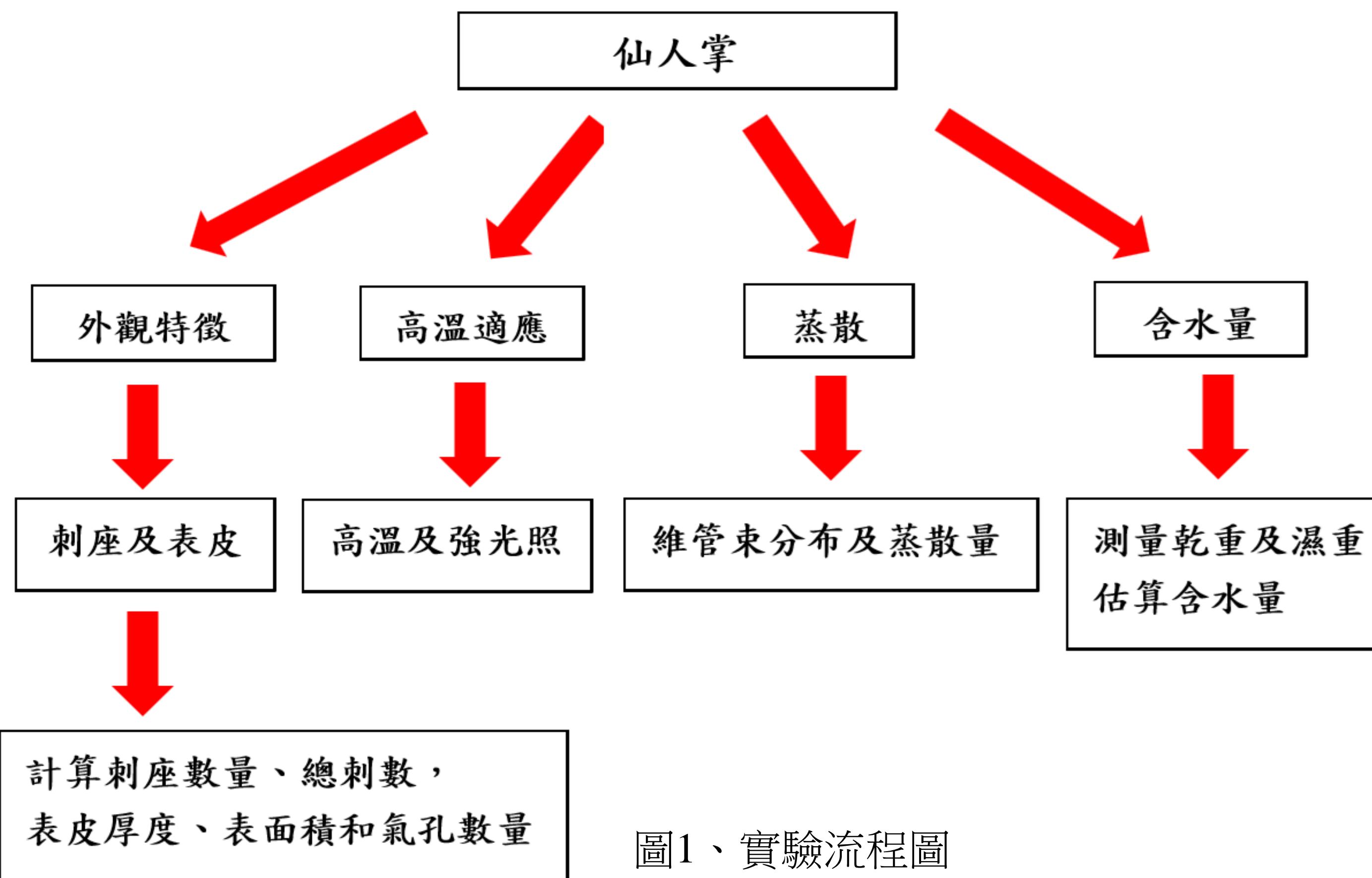


圖1、實驗流程圖

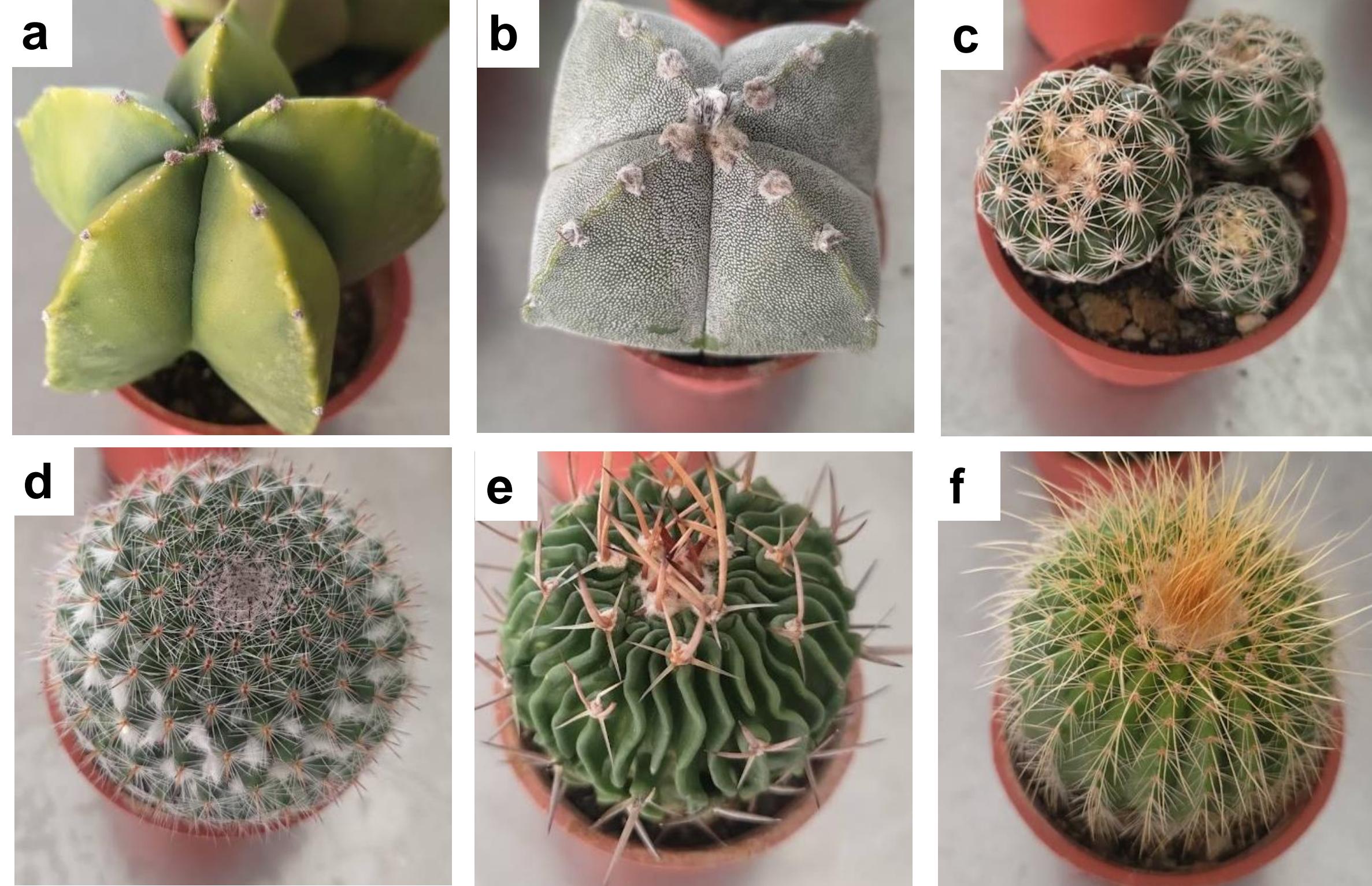


圖2、仙人掌種類

a及b：鸞鳳玉(*Astrophytum myriostigma*)、c：Disco(*Discocactus buenekeri*)、d：玉翁(*Mammillaria hahniana*)、e：千波萬波(*Stenocactus multicostatus*)、f：金冠(*Ampeliceps coronatus*)

參、研究步驟

實驗一

計算仙人掌總刺座數及總刺數；估算仙人掌表面積；將仙人掌表皮切下，測量表皮厚度及氣孔數量。

實驗二

測量仙人掌表皮及核心溫度，放置室外，在測量內外溫差；將仙人掌放置魚缸中，於室外曝曬一週，觀察其變化。

實驗三

放置紅墨水一週後，觀察維管束分布；清水倒入燒杯中，兩天測量一次剩餘的水量；取玉翁及金冠，將刺座剪除，步驟同上，比較有刺無刺的蒸散量。

實驗四

將仙人掌秤重後放置於烘箱內烘乾，求得濕重及乾重之後，估算仙人掌的含水量。

肆、實驗結果與討論

實驗一-1、仙人掌刺的型態、數量；刺座型態、數量



圖3、仙人掌的刺座及刺

a：鸞鳳玉(綠)、b：鸞鳳玉(白)、c：Disco、d：玉翁、e：千波萬波、f：金冠

表1、仙人掌刺座數及總刺數

	刺座數	總刺數
鸞鳳玉(綠)	19 ± 3.6	-
鸞鳳玉(白)	20 ± 7.4	-
Disco	50 ± 14.1	704 ± 228.8
玉翁	147 ± 28.8	3515 ± 662.5
千波萬波	36 ± 2	252 ± 14
金冠	188 ± 34.4	1827 ± 429.2

** = $p < 0.01$

實驗一-2、計算仙人掌的表面積、厚度和氣孔分布與數量

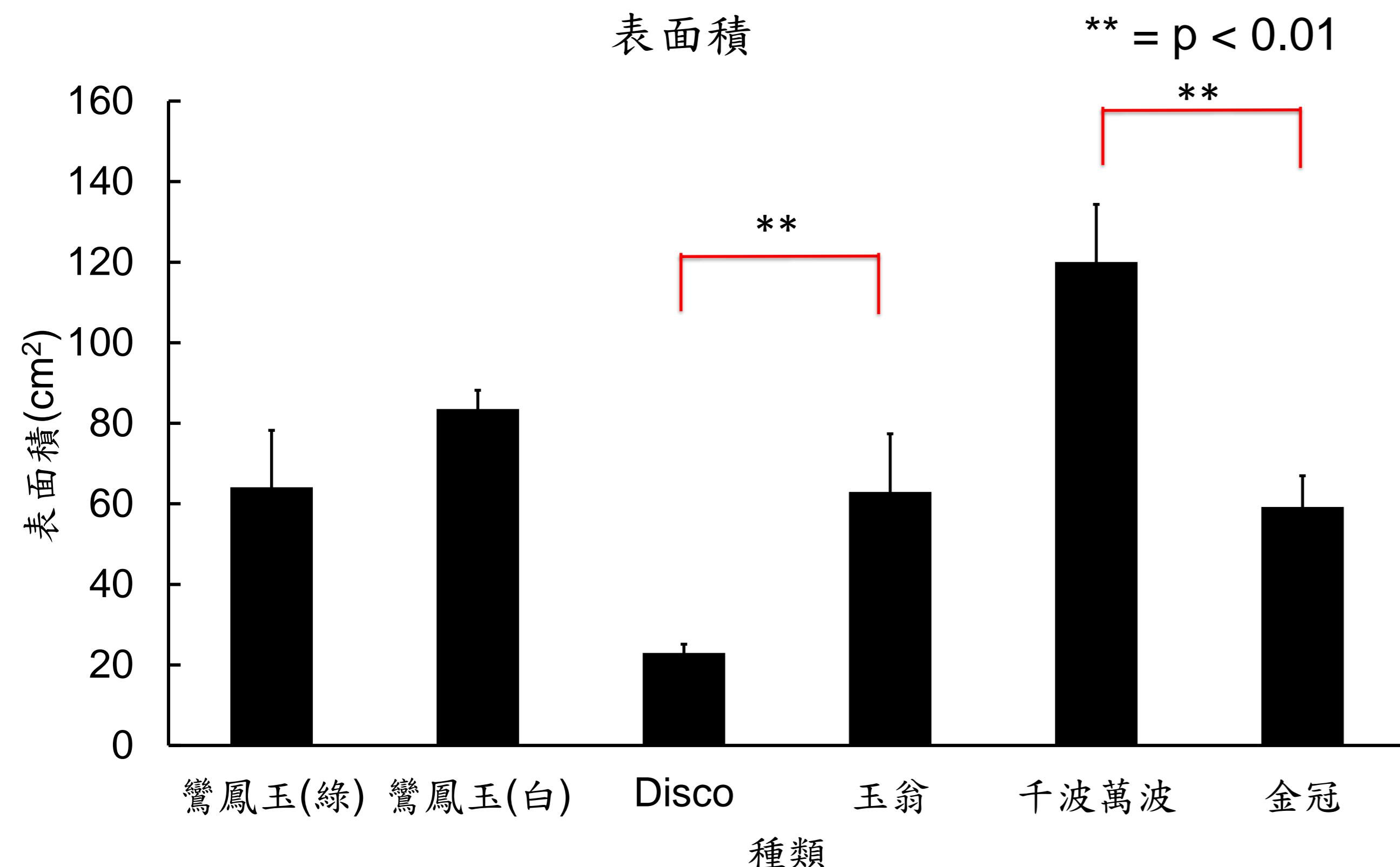


圖4、仙人掌表面積

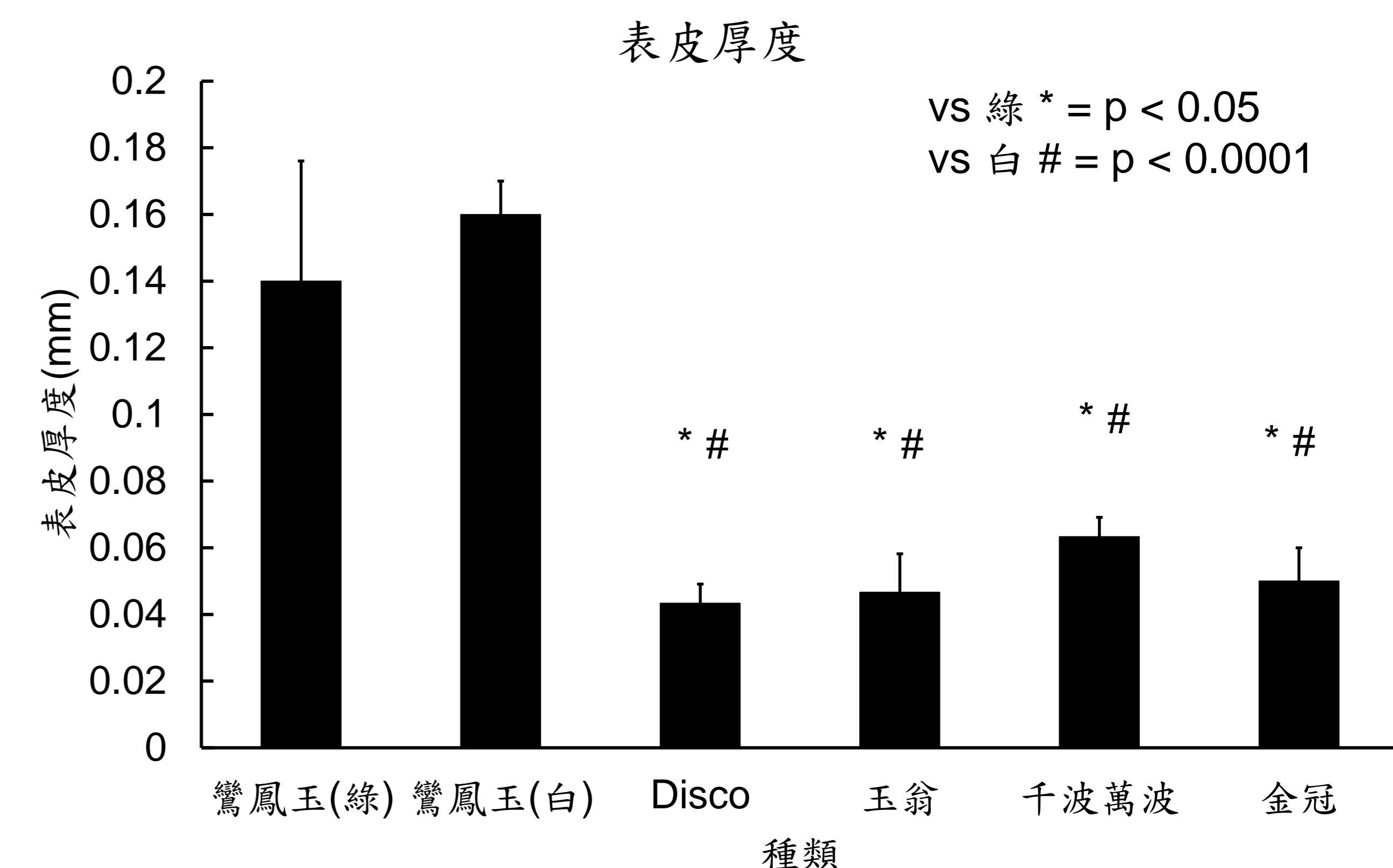


圖5、仙人掌表皮厚度

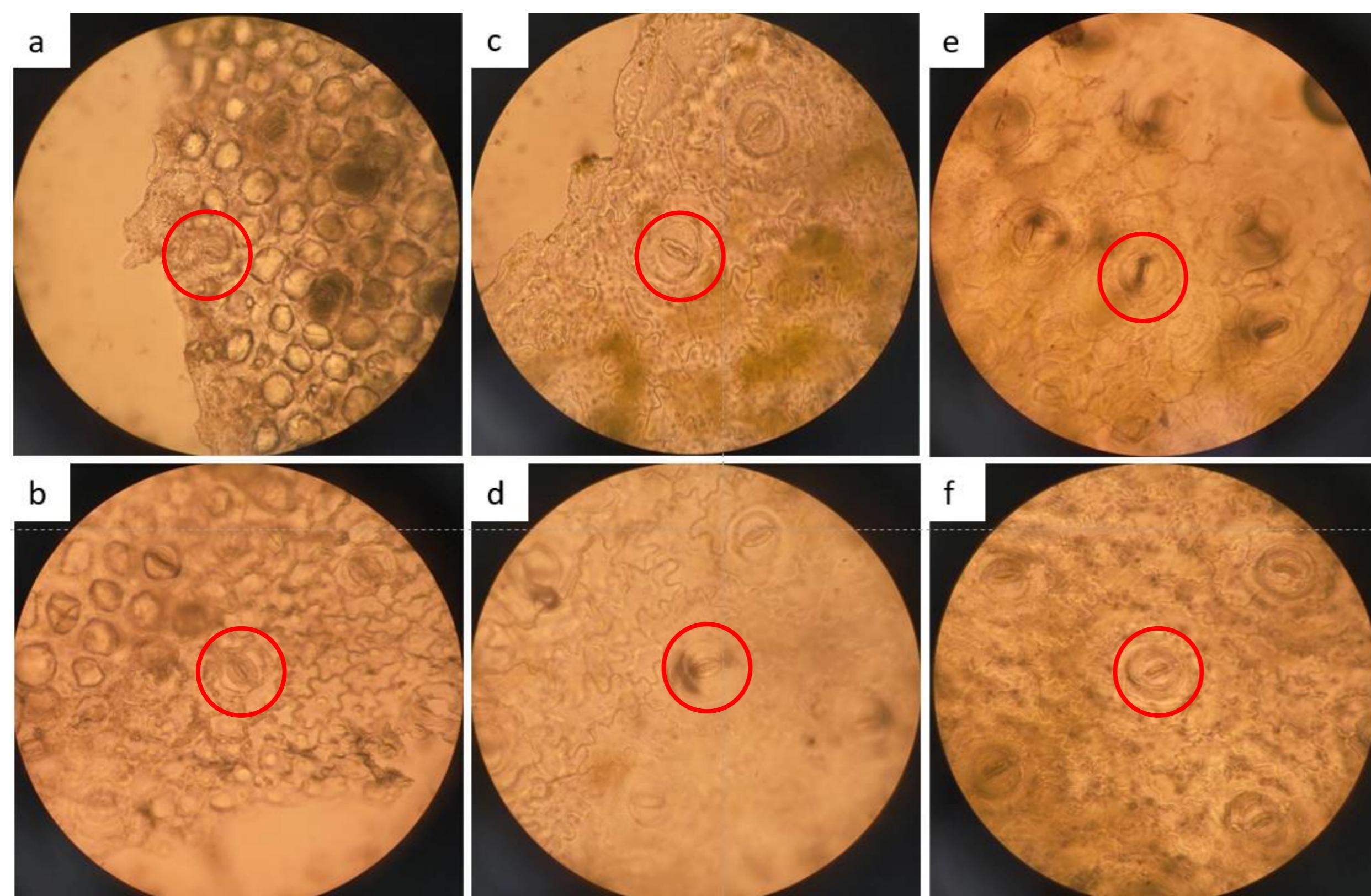


圖6、仙人掌的氣孔特寫圖，紅圈處為氣孔
a：鬢鳳玉(綠)、b：鬢鳳玉(白)、c：Disco、d：玉翁、e：千波萬波、f：金冠

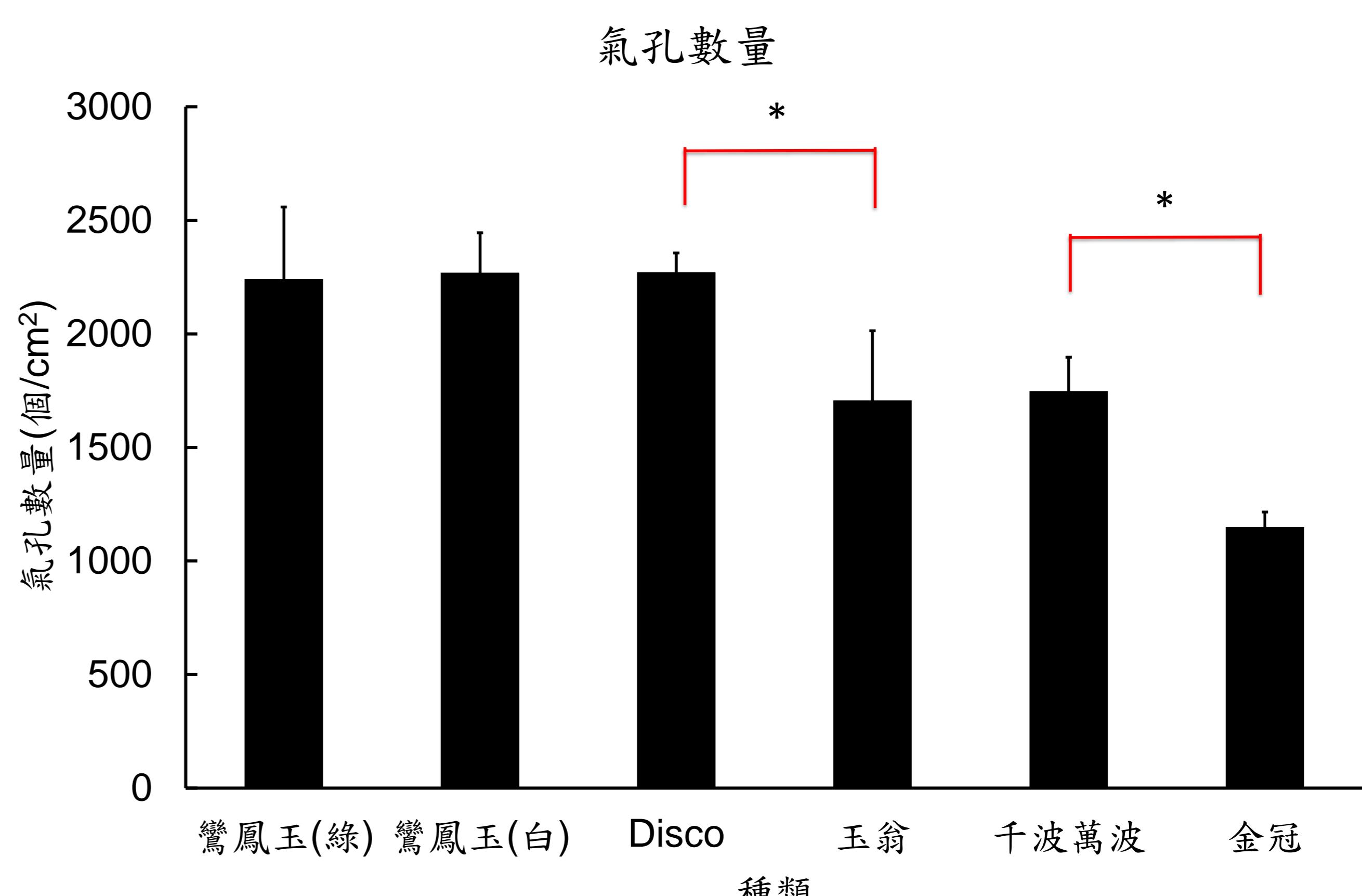


圖7、仙人掌氣孔數量
* = p < 0.05

由實驗一結果可知：

- 一、千波萬波因表面皺褶較多，因此表面積最大，短刺的Disco因個體最小，因此表面積最小。
- 二、就表皮厚度而言，無刺的鬢鳳玉表皮最厚，長刺組金冠表皮比千波萬波薄，由實驗結果可以得到一個趨勢，仙人掌的刺越多，表皮就越薄。
- 三、以平均氣孔數而言，鬢鳳玉的氣孔較多，長刺組金冠的氣孔較少。由結果可以得到一個趨勢，仙人掌表面的刺越少，平均氣孔數就會越多。

實驗二-1：高溫對仙人掌的影響

表2、仙人掌表皮及核心溫度

	室內		室外	
	表皮	核心	表皮	核心
鬢鳳玉(綠)	30.3 ± 0.1	30.5 ± 0.2	43.7 ± 1.1	39.6 ± 0.8
鬢鳳玉(白)	30.3 ± 0.1	30.2 ± 0.3	42.7 ± 0.2	39.2 ± 0.6
Disco	30.2 ± 0.1	29.8 ± 0.2	45.6 ± 0.2	43.7 ± 0.5
玉翁	30.4 ± 0.3	30.2 ± 0.1	42.7 ± 1.1	40.3 ± 0.4
千波萬波	30.2 ± 0.3	30.0 ± 0.2	42.5 ± 0.1	41.5 ± 0.3
金冠	30.2 ± 0.1	30.0 ± 0.2	41.9 ± 0.6	40.6 ± 0.1

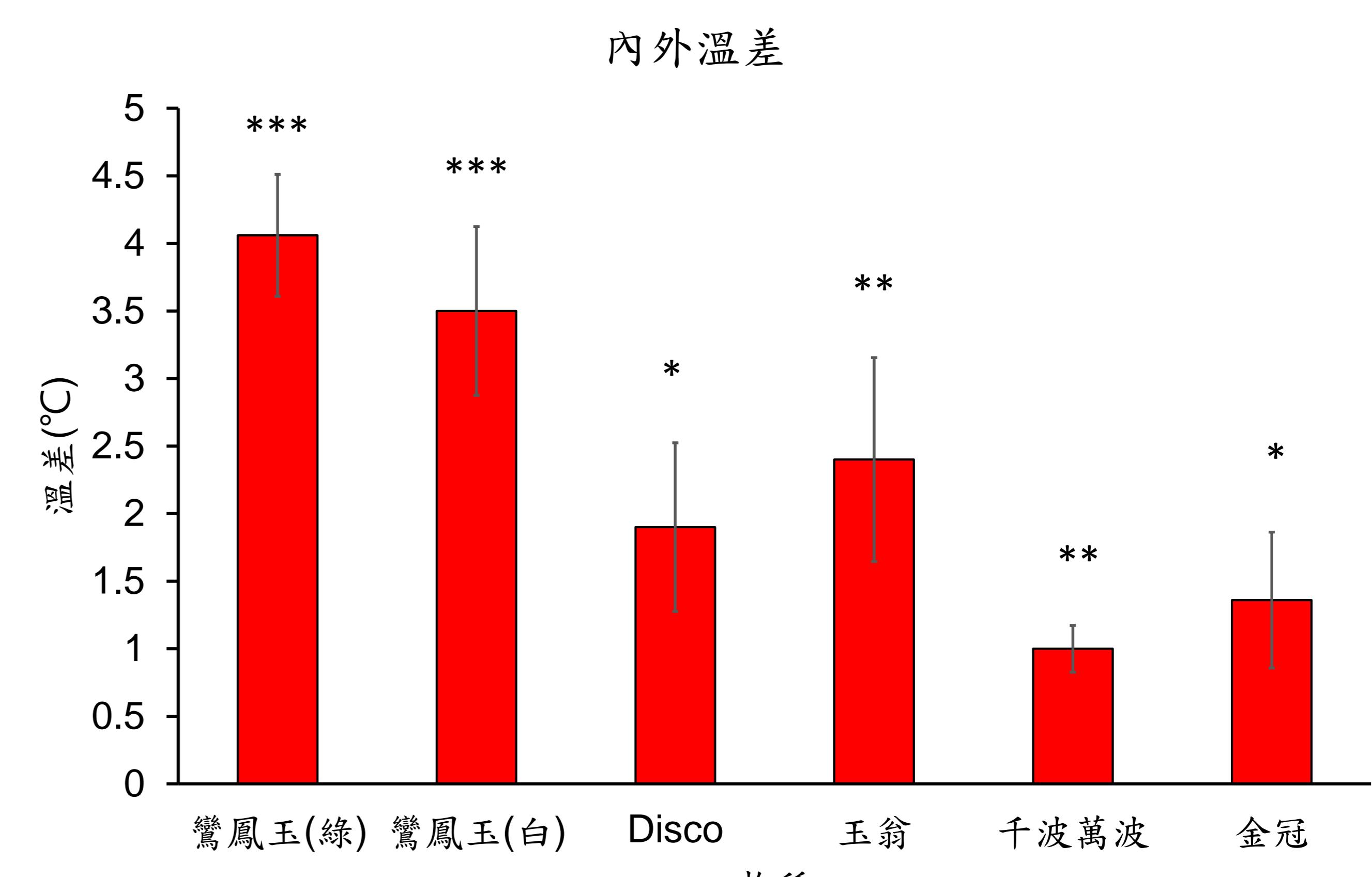


圖8、仙人掌的內外溫差

* = p < 0.05 ; ** = p < 0.01 ; *** = p < 0.001

實驗二-2：強光照對仙人掌的影響

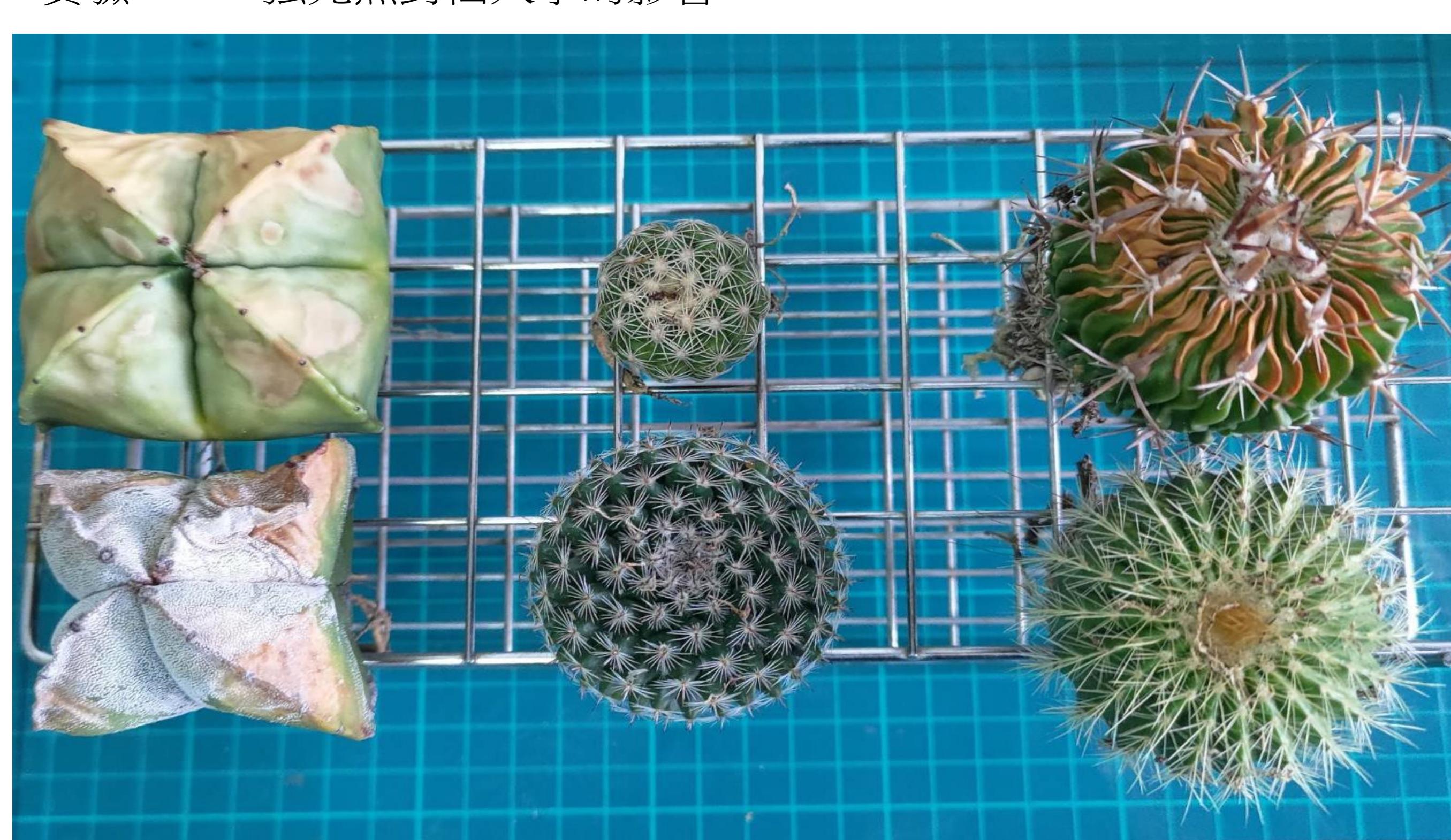


圖9、仙人掌強光照一週後的狀況

由實驗二可知：

- 一、根據實驗一的結果及熱量傳導的觀點可以推斷，角質層越厚的仙人掌外部熱量較難傳導至內部，表皮越厚可能越耐熱。
- 二、仙人掌的刺具有遮蔽陽光的效果，可防止仙人掌因為強光照射造成表皮曬傷。
- 三、千波萬波在強光實驗中有頂部燒傷的狀況，推測跟他的刺較稀疏有關，而同為刺較稀疏的Disco並未出現燒傷的狀況，推測與體型及刺的覆蓋範圍有關。

實驗三-1、觀察根部維管束的分布及刺有無維管束



圖10、玉翁莖的剖面圖

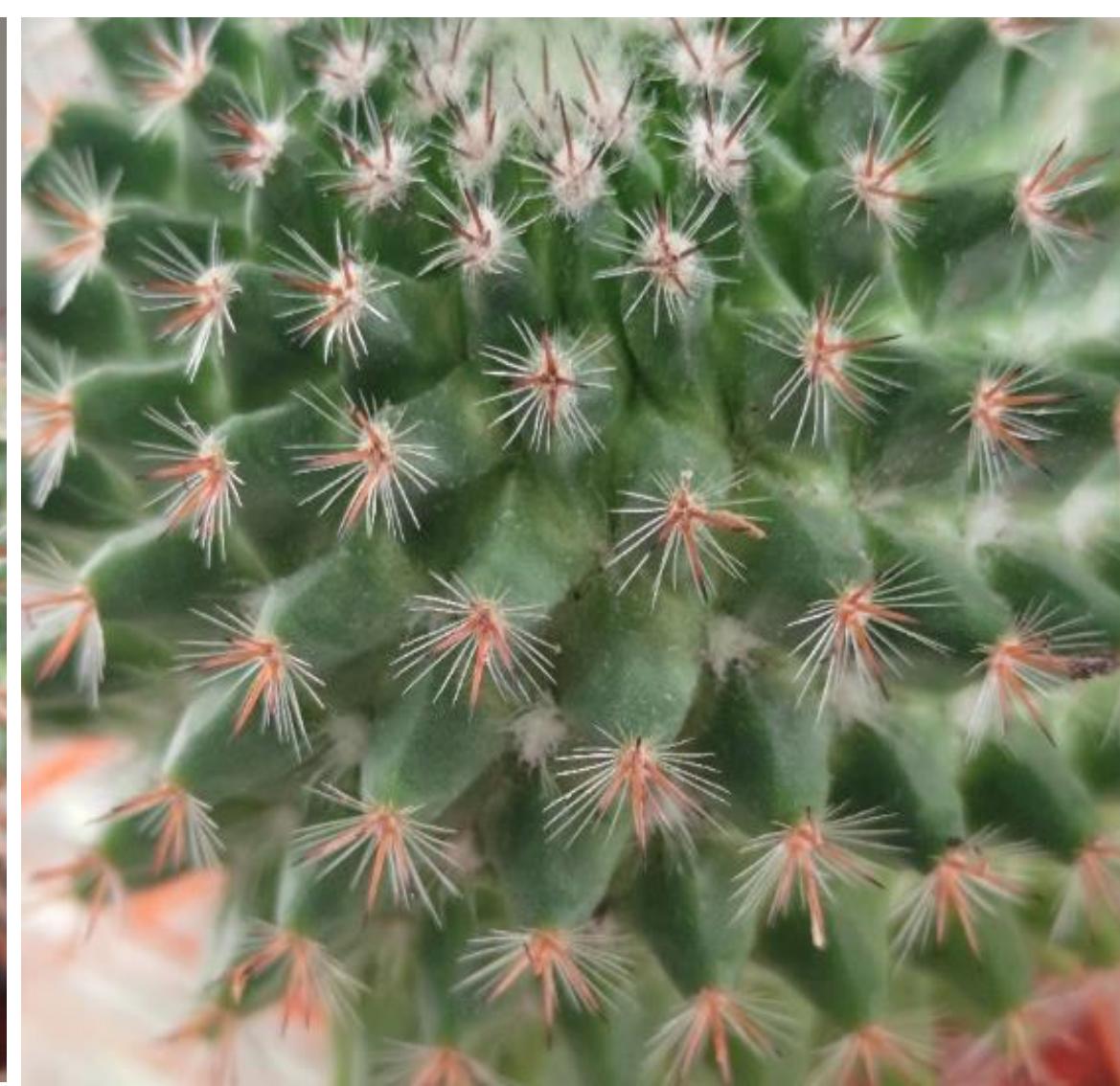
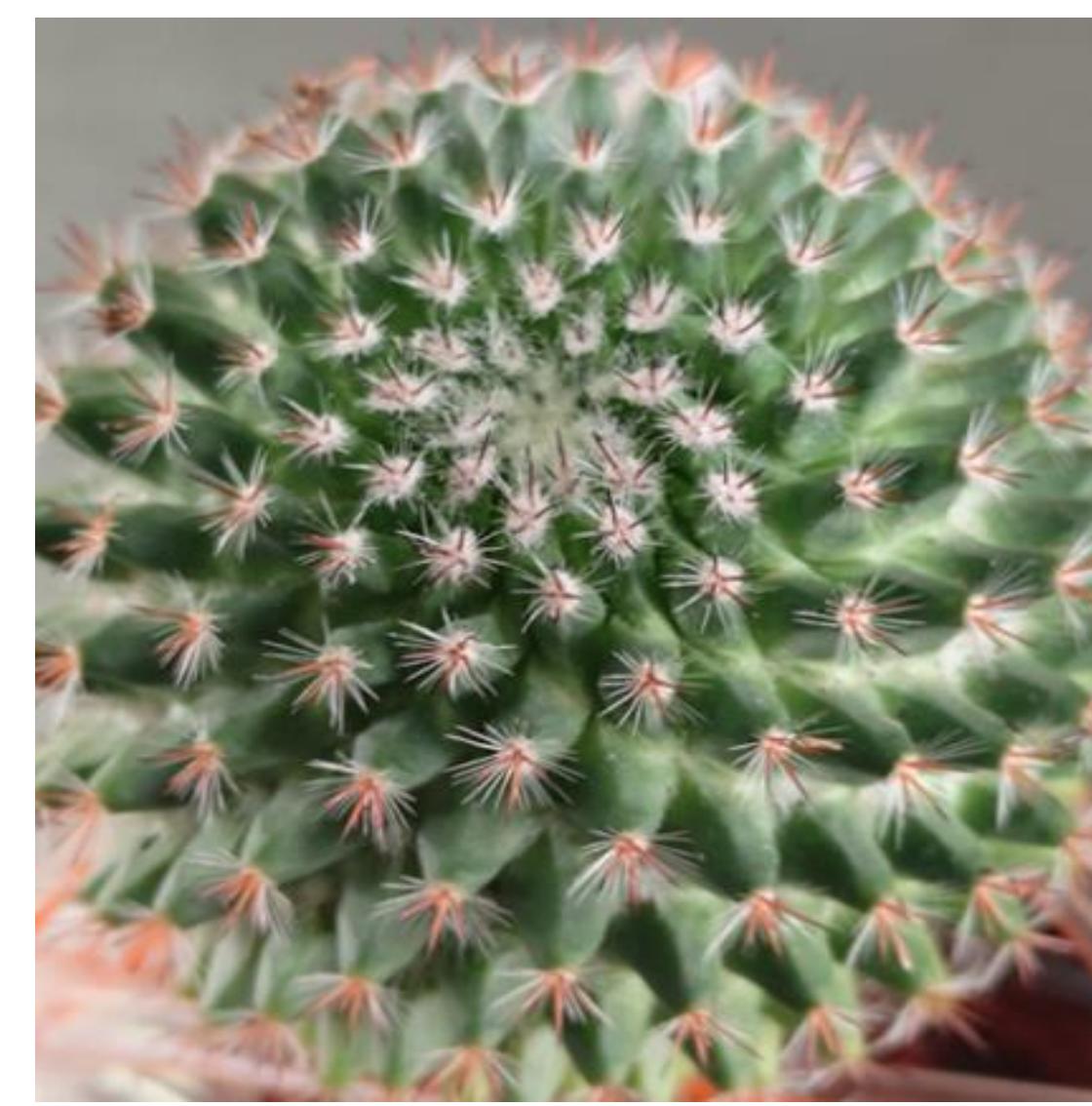


圖11、被紅墨水染色的刺

實驗三-2、仙人掌氣孔數量對蒸散的影響

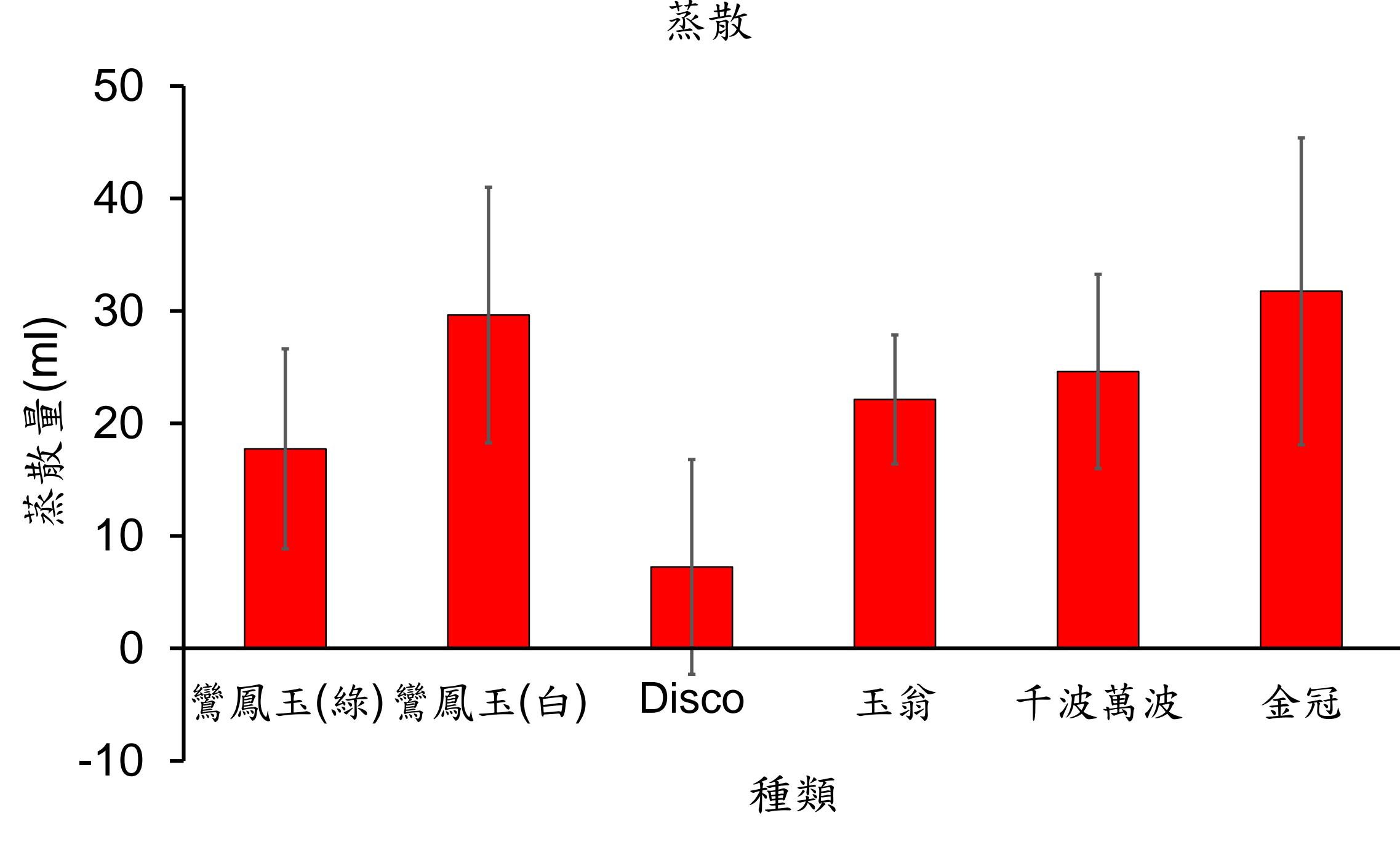


圖12、仙人掌蒸散量

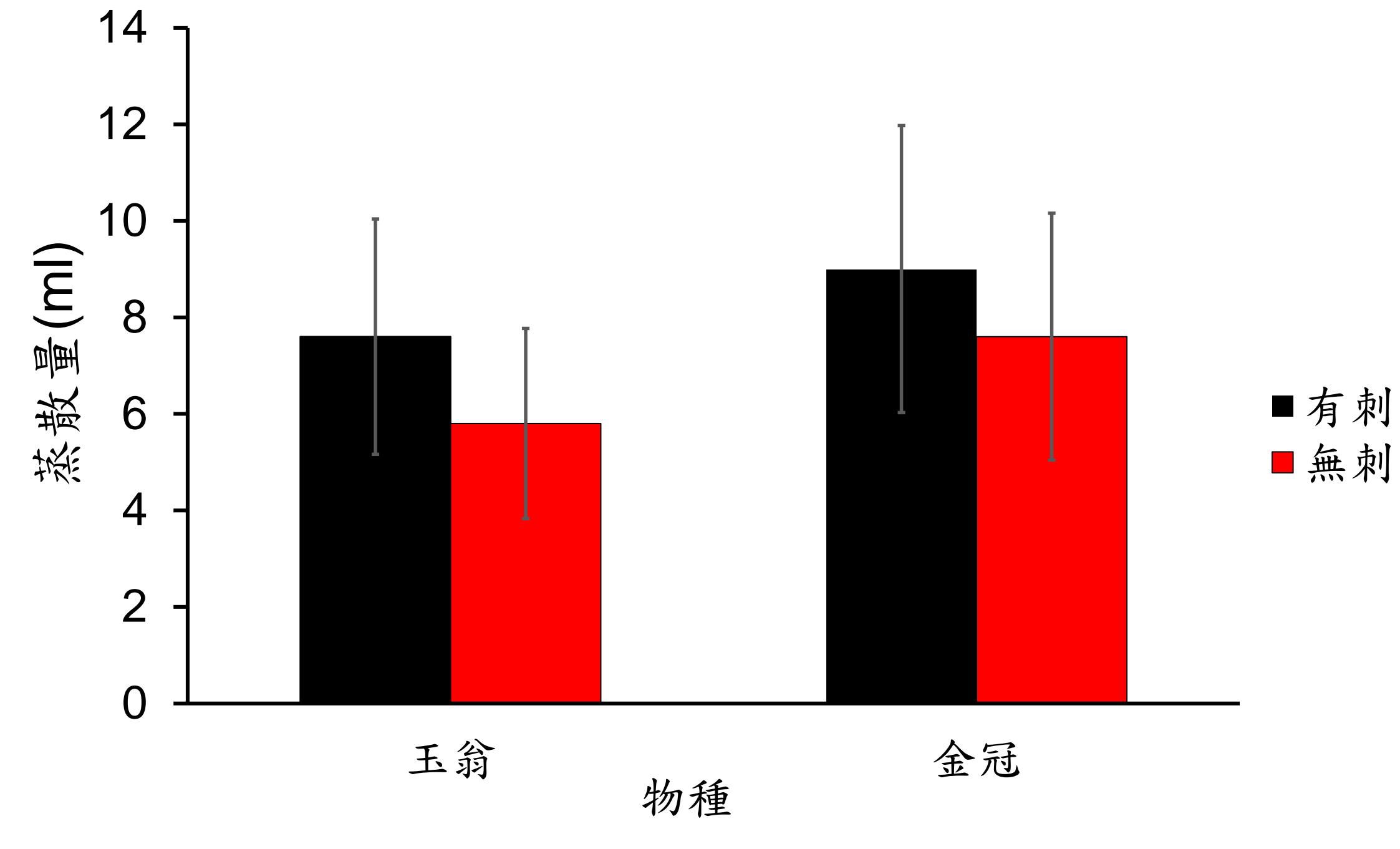


圖13、玉翁、金冠有刺無刺蒸散量

由實驗三可知

- 一、紅墨水由根部一路向上延伸，部分仙人掌的刺也有被染色的跡象，因此推測仙人掌的維管束可能有延伸到刺。
- 二、整體而言，蒸散量的趨勢大致呈現有刺大於無刺，而且刺越密集蒸散量越大。
- 三、有刺的仙人掌比無刺的蒸散量多，因為刺是死細胞，而刺上有細微的毛，可形成毛細現象，所以有刺的仙人掌蒸散量變多，是因為多了刺的蒸發量。

實驗四：仙人掌的含水量

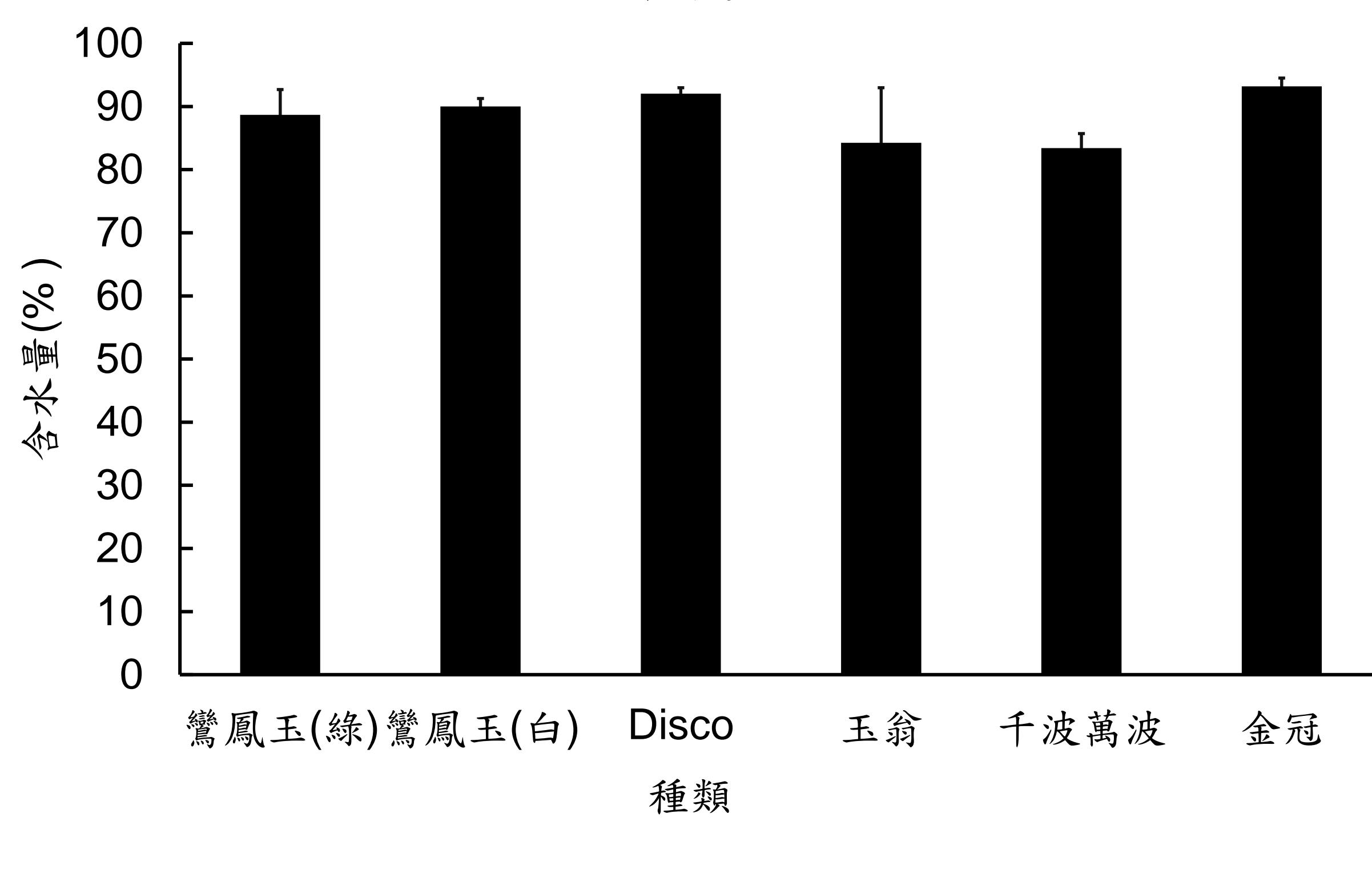


圖14、仙人掌含水量

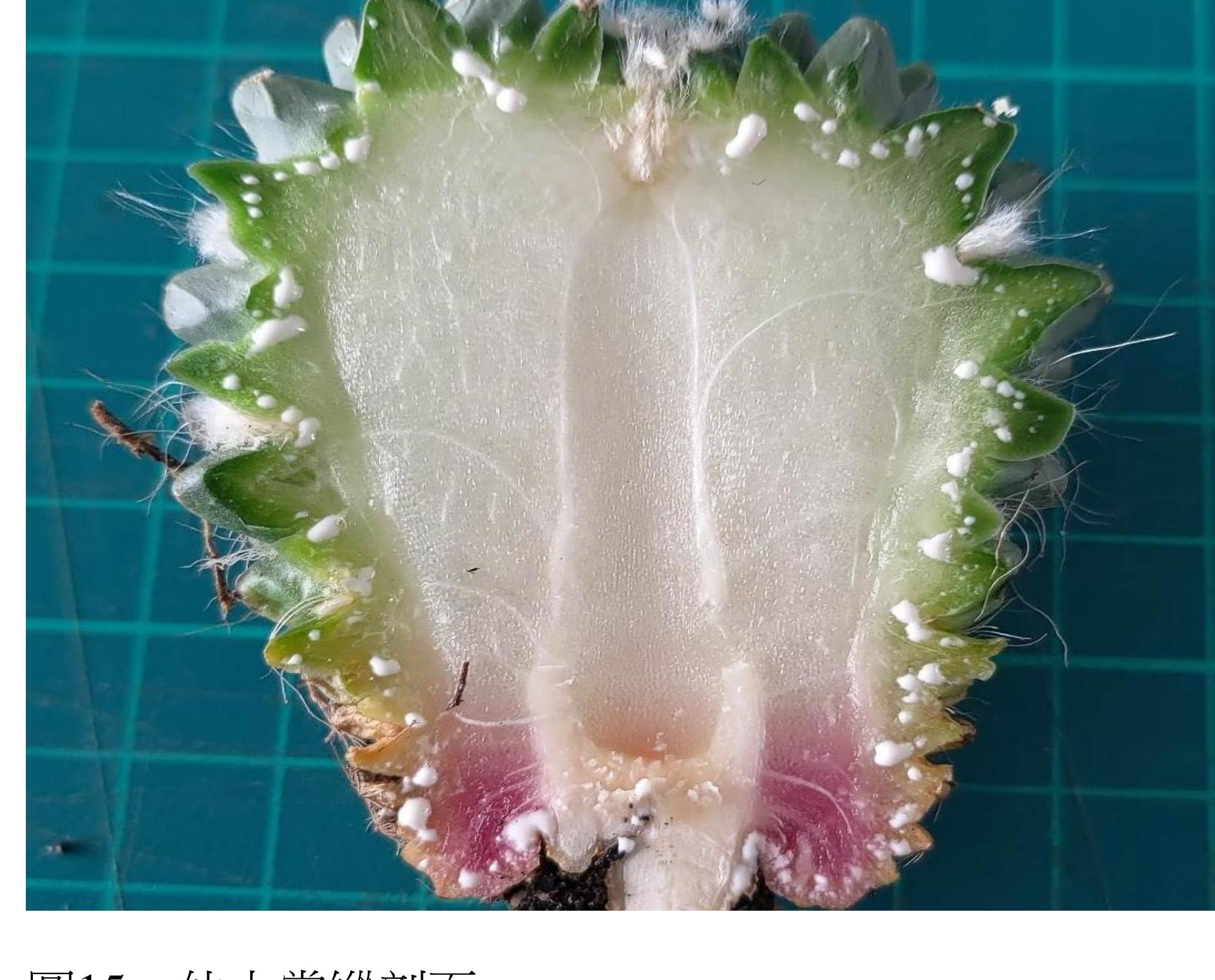


圖15、仙人掌縱剖面

由實驗四可知：

- 一、每種仙人掌的含水量皆高達80%，仙人掌有如此高的含水量，或許與其適應乾燥環境的生存策略有關。
- 二、本實驗中6種仙人掌的含水量差異不大，可能是實驗環境一致所導致，如果是在原生環境應該會有不同的表現。
- 三、仙人掌莖的內部有相當多的海綿狀組織，這些海綿狀組織可以很有效的儲存大量的水。

伍、結論

- 一、實驗結果顯示總刺數越多，表皮厚度就越薄；表面刺越密越長，氣孔數就越少，所以刺越多越密，表皮就越薄，氣孔就越少的趨勢，而仙人掌表面積與其型態有關，皺褶越多表面積越大。
- 二、在相同的光照時間下，表皮越厚的仙人掌核心溫度上升越少，以熱量傳遞的觀點來看，表皮越厚熱量傳遞越慢，故推測表皮越厚越耐熱。
- 三、無刺的仙人掌由於缺乏刺的保護，較易在強光照射下導致曬傷，刺越密集的仙人掌曬傷程度越低，故推測仙人掌的刺具有阻擋陽光直射的效果。
- 四、部分仙人掌的刺有被染色的跡象，但由於刺是死細胞，故刺的染色來自於毛細現象。同時，水分可以透過刺蒸發，所以導致有刺的仙人掌蒸散量增加。
- 五、本實驗的仙人掌的蒸散量趨勢大致呈現有刺大於無刺。
- 六、仙人掌的含水量相當高，其莖的內部含有大量海綿種組織，這可能與仙人掌的生存環境及生存策略有關。
- 七、表皮的厚度與刺的密集程度有關，推測應該與日照程度有關，刺越多的仙人掌可以擋住較多的光線，故表皮厚度較薄，反之，無刺的仙人掌並無遮蔽物，所以表皮厚度較厚。
- 八、本實驗的結果顯示，蒸散量需要考慮兩個因素，表皮的氣孔總數及表皮厚度，有刺的仙人掌蒸散量會比無刺仙人掌蒸散量多，故刺越密集蒸散量就越大。