

中華民國第 61 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

052101

生石花葉窗、蛻皮與擬態機制探究

學校名稱：雲林縣私立揚子高級中學

作者： 高三 陳鈺菲 高一 張舒涵 高一 賴佳淇	指導老師： 陳尚民 王妍絜
---	-----------------------------

關鍵詞：單寧體、

儲水組織(water storage parenchyma)

摘要

本研究以生石花屬(Lithops)為主題，依據生石花特殊之葉窗構造及單寧酸(Tannin)分布重新定義品種，並探討其葉窗特殊透光、蛻皮與擬態機制，結果發現單寧酸(Tannin)聚集於其特殊葉窗形成點狀分布(單寧點)，其作用有保護植株避免受強光傷害的效果，若突發強光，會導致單寧點擴散並融入葉窗表面，阻擋紫外線入侵。葉窗主要是調控不同輻射波長的進光量，藉由儲水薄壁組織(water storage parenchyma)折射光線，導入葉綠體聚集。蛻皮方式為老葉在新葉成長過程，其細胞完全脫水萎縮，將養分與水分提供給新葉，並騰出空間讓新葉成長，蛻皮時水分介入的時機，會改變蛻皮結果，甚至導致蛻皮失敗植株死亡。生石花擬態行為，實驗證明非單寧酸作用，而為葉綠素受光產生量的變化所致。

壹、研究動機

逛花市時，無意間看見一種五顏六色，長相可愛的多肉植物，詢問店長才得知其俗名為「石頭玉」，回到家後查詢文獻發現生石花為番杏科生石花屬，因此本人稱此植物為生石花。其幾乎沒有莖，露出地表為兩片對生的特化葉，老葉以蛻皮方式被新葉取代，並以葉窗形式控制陽光入射量，且葉面上的單寧點清晰可見，太多與一般植物特性不同之處，引起本人興趣，恰巧本校有個老師是生石花愛好者，提供很多資訊與栽種方式，在班上又發現兩位有興趣的同學，大家集合討論後，決定以生石花作科展題目進行研究。

貳、研究目的

本研究目的為以下六點：

- 一、分析生石花生理結構，環境影響因子與不同環境分佈的差異。
- 二、結合生理結構差異，重新定義生石花的分類原則。
- 三、探討光線由葉窗進入葉肉組織過程中，儲水細胞、葉綠體與單寧體的關係。
- 四、探討老葉與新葉替換過程中，特殊的蛻皮的機制成因。
- 五、透過實驗探討生石花的擬態機制的成因。

參、研究設備及器材

表 1、研究設備及其用途

編號	物品	數量	用途
一	筆記本、筆	3 本 2 支	實驗日記，紀錄觀察結果
二	數位相機	2 台	拍攝實驗過程
三	筆記型電腦	3 部	撰寫與製作電子檔
四	自製溫室組	20 組	植株特性研究
五	種植用品組	20 組	飼養植株必需品，用於養殖
六	複式顯微鏡	2 台	觀察實驗樣本
七	生石花	300 株	實驗樣本
八	玻片	10 片	實驗用具
九	鑷子	5 支	實驗用具
十	雷射筆	1 支	光散色實驗
十一	刀片	1 盒	切片植株用
十二	紅外線測溫儀	1 支	測實驗株溫度
十三	培養皿	5 個	實驗用具
十四	紅墨水	1 罐	實驗材料
十五	滴管	5 支	實驗用具
十六	蓋玻片	5 個	實驗用具
十七	載玻片	5 個	實驗用具
十八	牙籤	50 支	固定生石花
十九	蒸餾水製造機	1 台	實驗用具
二十	植物生長箱	1 台	實驗用具
二十一	分光光度計	1 台	自製實驗器材
二十二	照度計	1 台	實驗測光用

肆、研究過程與方法

一、研究流程



圖1.研究流程圖

二、文獻蒐集

生石花的文獻極少，大都是用在組織培養的繁殖方面為主，以下為本研究蒐集之文獻，作為生石花先備知識的依據：

汜麗楠、張宗申、劉平武(2017)。採用 MS、1 / 2MS、3 / 4MS 等培養基為生石花生長基質，比較不同培養基中種子萌發率和幼苗生長情況，在此基礎上進行光照時間、激素配比和浸泡時間的篩選。發現 1 / 2MS 培養基最適生石花種子萌發及幼苗生長。16 h 為最優光照時間；不同因素影響由大到小依次為浸泡時間 A 濃度、IAA 濃度、NAA 濃度及 6-BA 濃度。其中，GA 濃度與浸泡時間對種子萌發有顯著影響，且 0.1 mg / mL 的 GA 濃度以及 4 h 的浸泡時間為最優組合。

毛春霞、張玉信、自海濤(2018)：在多肉植物生長過程中，為了模仿原生地環境（生石花類），減少被動物吃掉的可能；或自身基因變化都會引起其內部色素比例發生變化，其中最主要的因素是因為環境改變而引起的。在栽培試驗基礎上，從光照、水分、溫度三個主要環境因素著手分析其對多肉植物生長著色的影響。

兌寶峰(2018)：生石花在自然狀態下主根上很少有側根，只是在逐漸變細的主根末端有少數鬚根連著毛細根，只有當主根折斷後才會萌發側根。兩片對生聯結的球狀肉質葉（這是生石花貯存水分和養分的器官，由於肥厚的肉質葉存儲了足夠的水分，可以在旱季無雨的條件下生存數月；而低矮小巧的株型，則減輕原生地酷熱和強光的不利影響），上有透明的窗或半透明的斑點、樹枝狀凹紋，可透過光線，在植株內部進行光合作用。

葉玉妍、梁海峰、楊禮香(2018)：研究番杏(*Tetragonia tetragonioides*)功能基因表達模式提供內參基因，根據登錄在 NCBI 上植物的 Actin 基因的保守區域設計簡易性引物，通過 RT—PCR 複製獲得番杏的 Actin 基因片段，將該片段連接於載體 pGEM—T 後進行測序，並將該基因序列通過生物資訊學軟體進行分析。

邢一帆、陳麗、張傑、宋婷婷(2021)：以生石花葉肉為外植體，以 MS 為基本培養基，研究不同消毒時間、不同激素品質濃度配比對外植體的誘導、增殖與生根的影響，建立適合生石花離體快繁的技術體系。外植體最佳的消毒方式為 75% 酒精+8 min NaClO 溶液，無菌率高達 41.2%，成活率高達 45.6%；最佳啟動培養基為 MS+6-BA 2.0 mg/L+NAA 0.4mg/L，愈傷組織誘導培養基為 MS+6-BA 0.5 mg/L+NAA 0.01 mg/L，愈傷組織誘導率達 71.5%。

三、實驗過程與方法

本研究植株是番杏科生石花屬，兩片對生的子葉，植株本身無莖，根的形式為軸根，多數品系有透明葉窗，剖面顯示儲水細胞發達，屬 CAM 形式，葉面表層多數有單寧體分布，以蛻皮模式更替老葉，以下為本研究對生石花細部構造解說。

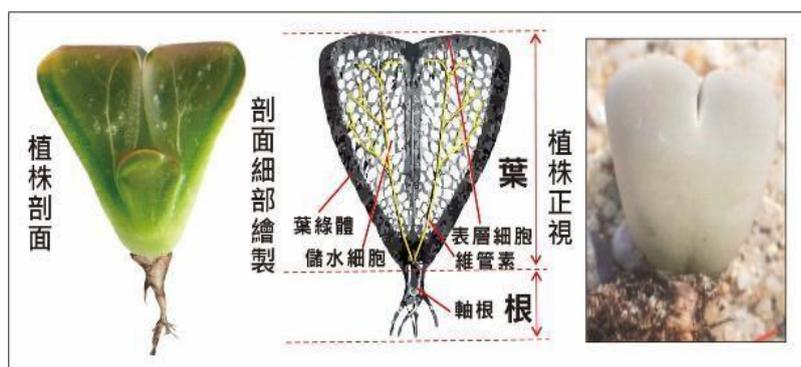


圖 2.生石花構造剖面圖

(一) 生長環境分析

生石花大多生長於沙漠地區，據文獻得知，生石花種類繁多，差異極大，實驗中由氣候性及地形性將分類分為四類地區作為分類，以下為分析表。



表(一) 環境品種分析表

	雨季	雨量	氣候	適合生長之石生花
A 區	夏	東部地區小於 250mm · 西部地區小於 125mm	熱帶沙漠	神迪玉、寶翠玉、古典玉、原氏玉、微紋玉、大內玉、大津繪、雙眸玉、青磁玉、蛇紋玉、花紋玉
B 區	夏	250 ~ 1000mm · 東部地區雨量較容易大於 500mm	熱帶莽原	巴厘玉、富貴玉、壽麗玉、紫熏玉、螢形玉、菊水玉、瑠琳玉、橄欖玉、曲玉、留蝶玉、李夫人玉、招福玉、碧琉璃玉、朝貢玉、白典玉、美梨玉
C 區	冬季	大於1000mm · 但生石花生長地區小於 150mm	地中海型	日輪玉、石榴玉、太古玉
D 區	夏及冬季	250 ~ 1000mm	夏雨型暖溫帶	碧賜玉、荒玉

(資料來源：本研究整理)

(二) 葉窗形式分析

本研究主要著重在葉窗光導、蛻皮與擬態機制，生石花葉窗的形式中類繁多，本研究整理所有葉窗形式後，將其歸類成五個種類，以下為分析表：

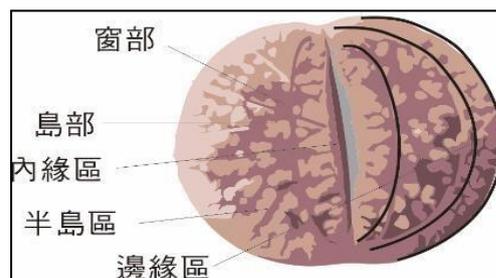


圖 4.葉窗構造細部示意圖

表(二) 生石花葉窗分類表

窗型	示意圖	說明
全窗		生石花的窗一直延伸到邊緣區，等同於窗和麵完全一致的情況，且窗內沒有多餘的雜質紋理，表面平整無紋路。
無窗		表面沒有窗，整個表面都是不透光，且窗面有少部分的溝渠，即使是無窗的生石花也會有少數的光通道存在。
閉窗		窗裡面的隔斷性紋路或色塊遍佈整個窗，使窗呈現很小的狀態。
開窗		在窗內沒有明顯的隔斷將窗分成好幾部分，但有島狀紋路出現在窗裡面。一個窗的不同部分之間為互相開放。
大窗		生石花的窗從島向四周擴散，且至少要占 2/3 的表面，窗內沒有雜質性紋理，但生石花唇部有少量的不相連色塊。

(資料來源：本研究整理)

(三) 單寧點分析

Chester B. Dugdale(1966,1968,1971)和 Robert S. Wallace 教授對生石花的單寧點分布做了一個有趣的前期研究，研究結果認定單寧點似乎可作為一個生石花的鑒別標準 (Wallace 1987)。本研究延續 Wallace 的想法，將生石花重新劃分單寧點分布，以下是本研究分類結果：

TO (只有頂部)	TS (頂部和側面)	SF (側面和縫隙)	CP(全部遍及)

圖5.生石花單寧點縱向面分佈

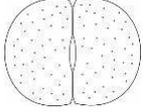
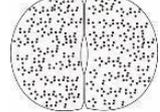
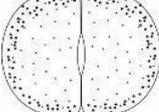
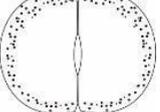
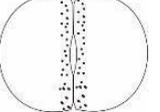
				
類型1	類型2	類型3	類型4	類型5
<p>類型 1: 單寧點在整個表面均勻分佈 類型 2: 單寧點在整個表面均勻分佈 (和類型1 類似) , 但密度較低 類型 3: 分佈在外部邊緣 (離軸面) 和內部邊緣 (近軸面) , 不分佈在中心窗面 類型 4: 分佈在外部邊緣和內部邊緣 (類似於類型3) , 在中心窗面也有稀疏分布 類型 5: 僅分佈在內部邊緣 (近軸面)</p>				

圖6.生石花單寧點葉窗面分佈類型(本研究分類設計)

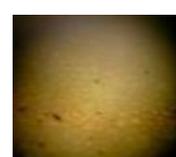
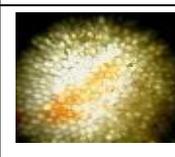
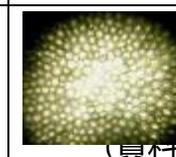
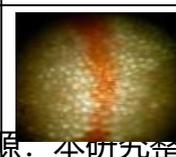


圖7.特殊生石花單寧點葉窗面分佈照片(本研究拍攝)

(四) 葉窗實驗標本選擇

實驗以葉窗型式為主體挑選樣本，以下為本研究依不同葉窗與環境因子，選擇紅大內玉、荒玉、麗虹玉、日輪玉與橄欖玉。

表(二) 生石花葉窗分類表

品種	紅大內玉	荒玉	麗虹玉	日輪玉	橄欖玉
品種照片					
窗型	全窗	無窗	閉窗	開窗	大窗
環境	熱帶沙漠	夏雨型暖溫	熱帶莽原	溫帶地中海	熱帶莽原
剖面 20 倍率					
剖面 40 倍率					

(資料來源: 本研究整理)

A.葉窗透光實驗

【實驗 A1】葉窗透光度分析實驗

前言： 本研究觀察生石花各式葉窗種類，推測葉窗用途在控制進光量，因此自行設計觀察設備進行實驗，本研究使用密集板為材質，以雷射切割機加工，製作透光觀察設備，以下為設計圖與完成品。



圖 8. 自制的葉窗透光分析儀

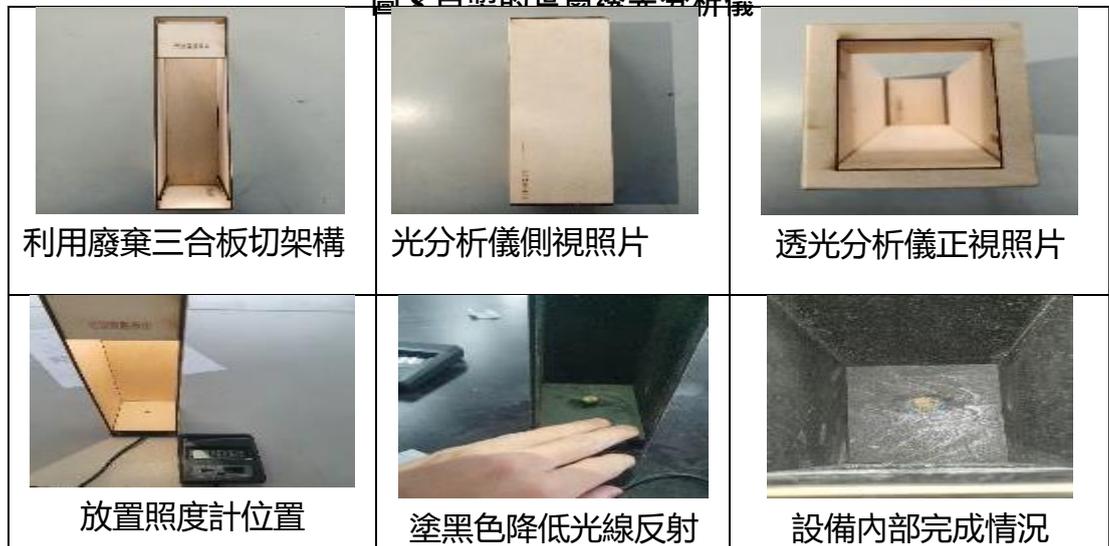


圖 9. 自製透光分析儀操作過程

步驟： 將實驗植株葉窗部分以 2mm 厚度水平切下，放在孔徑 3mm 與 5mm 的自製觀測台上，以模擬日光、藍光與紅光距 30cm 遮罩板組合的導光盒做實驗，過程如下所示：

1. 觀測台：將實驗植株葉窗以 2mm 厚度橫向切片，對準觀測台孔徑中心放置。
2. 上支架：將可見光範圍的燈座放在上支架固定，調整正確位置後，測試光源與觀測孔徑是否垂直。
3. 孔徑板：配合生石花植株大小製作 3mm 與 5mm 的孔徑尺寸，並對比燈源出始值。

4. 下支架：將測光儀對準觀測孔徑，並放入下支架格內，打開上支架開燈源，並抽換孔徑板，校正光源出始值。
5. 側擋板：開啟側擋板，將實驗樣本、孔徑板與測光儀放置正確後，再關閉側擋板以便開始實驗。

結果：本研究以模擬可見光波段實驗其透光效果，以上實驗結果如下所示

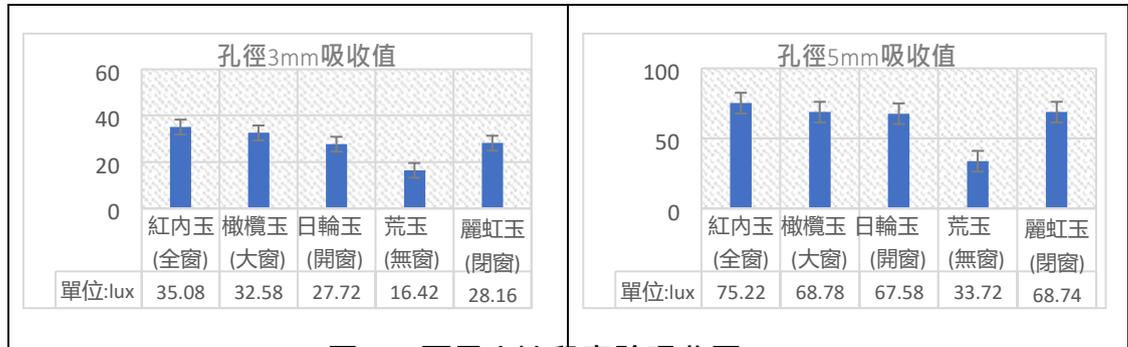


圖 10. 可見光波段實驗吸收圖

討論：

1. 由透光結果顯示，紅內玉(全窗)透光度最佳，依次為橄欖玉(大窗)、日輪玉(開窗)、麗虹玉，最差則為荒玉(無窗)，似乎生石花運用葉窗來控制進光量。
2. 本研究透光實驗，礙於設備條件，只能自製實驗儀器，外加簡易的照度計搭配使用，若能分析更仔細，則更能了解葉窗的功用。

【實驗 A2】葉窗多波段光譜吸收實驗

前言：本研究探討依實驗樣本（全窗、無窗、閉窗、開窗、大窗），探討各個顏色與散色的光譜跟吸收光譜，先用自製光譜儀，在每個階段進行測試得知照射量之後進行分析，則可以知道這五種窗口的光譜及散射量化成曲線圖。以下為本研究自製的光譜分析儀操作過程。



圖 11. 比色管座



圖 12. 測試波段轉盤



圖 13. 電源供應器



圖 14. 控制晶片



圖 15. 暗箱元件設計



圖 16. 自製完成圖

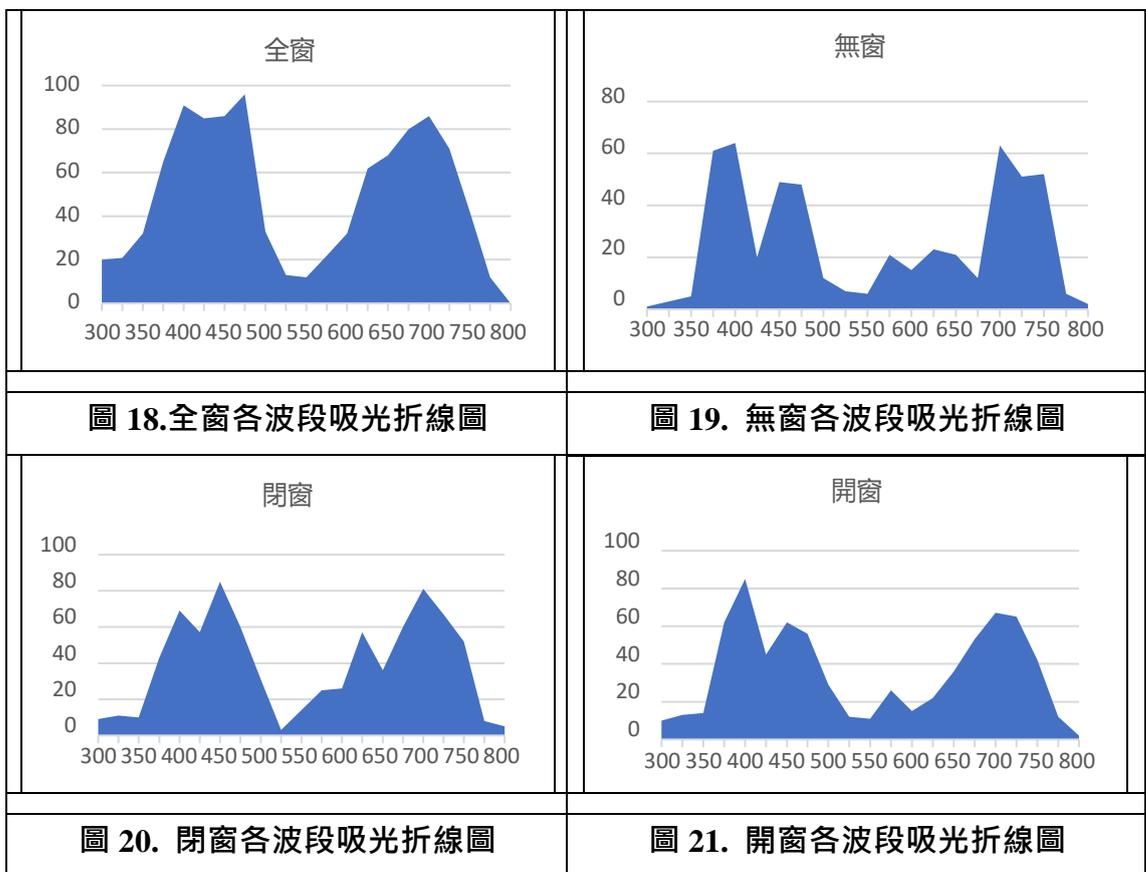
			
測量樣本直徑	切取樣本頂部	安裝至光譜分析儀	將窗口固定於夾具
			
比色校準儀器	測試各光譜	收集數據	分析數據及推論

圖17.自製透光分析儀操作過程

步驟: 自製光譜分析儀，並用雷切加工外殼及內部曝光室

1. 先取生石花頂部窗口，直徑 5mm 窗口當樣本，取厚度 3mm 放入夾具內。
2. 將自製光譜分析儀放入不透光材質及空放進行原點及高點校準。
3. 將生石花從紫外光(300nm)開始測試，以每 10nm 測到遠紅外光(800nm)。
4. 將數據結合得出生石花散色率及吸收光譜。

結果:



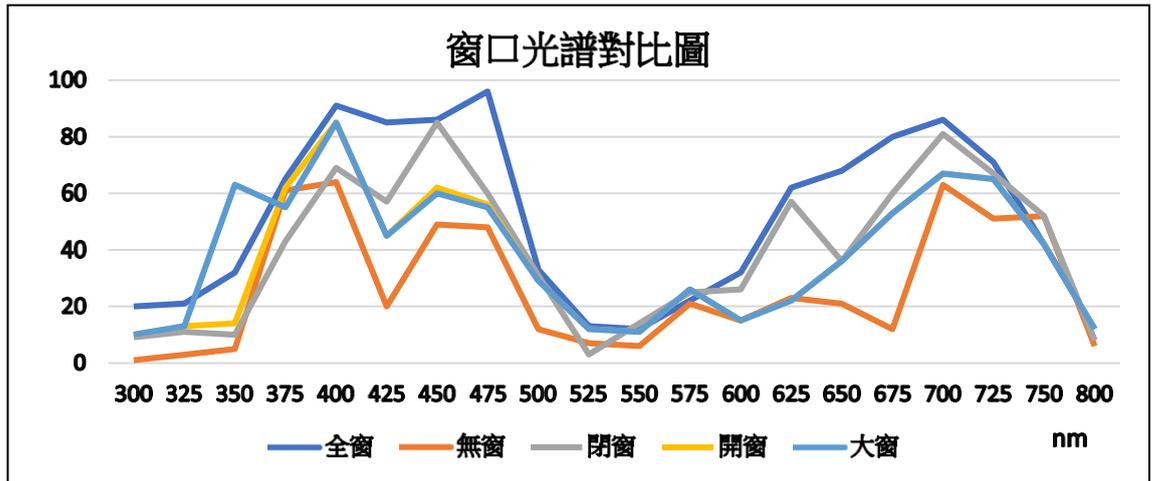


圖 22.各式葉窗吸收光譜比對圖

討論:

1. 本研究雖然自製儀器，將光譜分析為許多段結合分析，但由於儀器是將窗口散色與植物吸收光譜一同測得，若要只看低一種便無法準確分辨，因此研究仍需改良及加強
2. 在研究中也發現閉窗的吸收光譜大於開窗，依照文獻敘述，開窗吸收量較大，研究推測窗口需要配合樣品花色素才可對窗口吸收率定論，最終自製儀器研究數據是有包括花色素及窗口散射，解決此問題

【實驗 A3】光與儲水細胞實驗

前言: 番杏科生石花屬為多肉植物，葉肉儲水細胞發達，因受光面的葉窗透光性質佳，本研究透過易觀察的紅光照射，分析光進入葉肉中透過儲水細胞產生的折射狀態，推測儲水細胞的其他功能。以下為本研究自製儲水細胞觀測儀器。

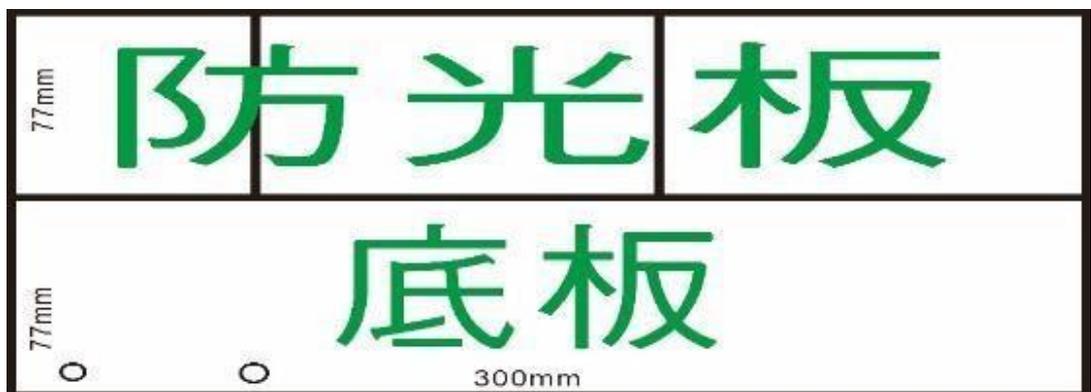


圖 23. 自製儲水細胞觀測儀器設計

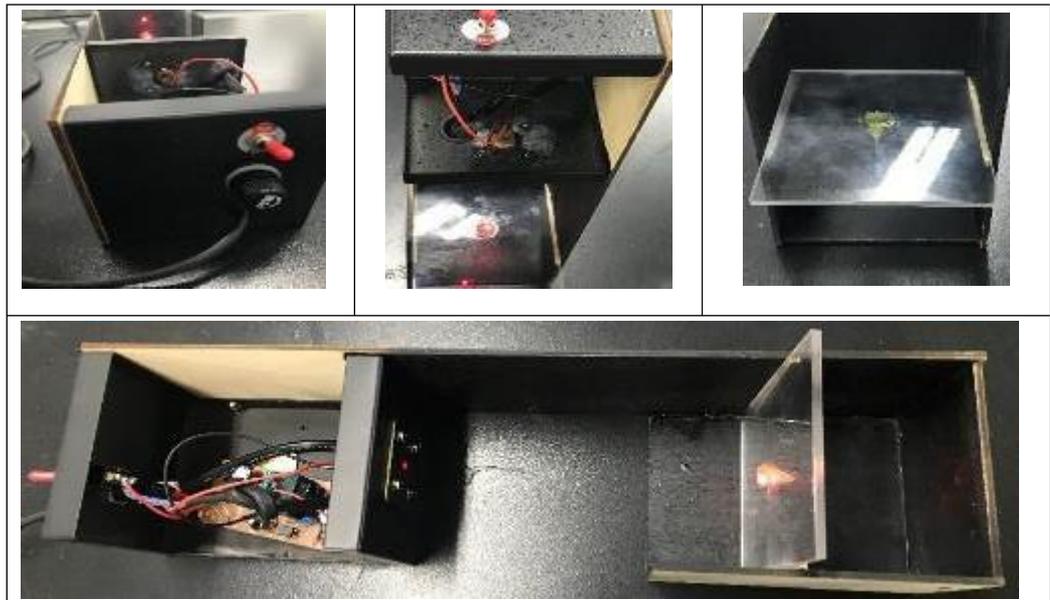


圖 24. 自製儲水細胞觀測儀器操作過程

- 步驟：** 自製觀測儀器，架設紅光裝置分成兩部分，透過葉窗與去除葉窗實驗：
1. 調整紅光裝置：本研究以自製紅光發射系統作為實驗光源，紀錄測試流明。
 2. 夾具固定裝置：將測試樣品縱向切割，固定在測試位置上觀察光線折射情形。
 3. 紀錄紅光穿過葉肉組織的儲水細胞，造成折射所散布的範圍，拍攝並比較散色後光線在葉肉組織分布的差異。

結果： 由紅光透過儲水細胞結果顯示，紅內玉折射散布面積最廣，依次為橄欖玉、日輪玉與其結果與透光度成正比。

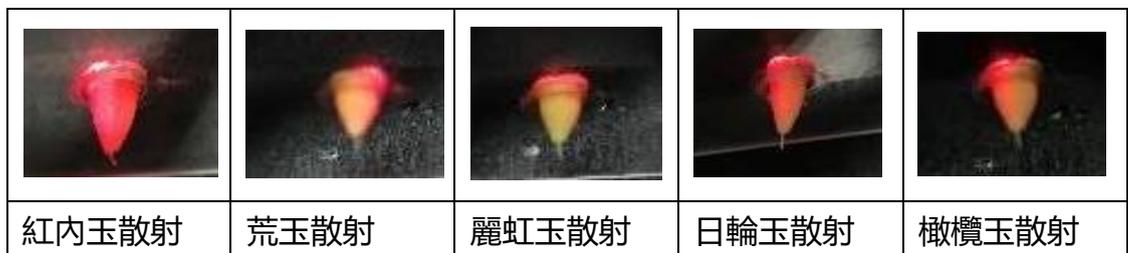


圖25.各實驗植株測試結果

討論： 全窗且較透明的紅內玉，折射效果最佳，無窗的荒玉則出現折射效果最差狀況，值得深入探討。

【實驗 A4】單寧體實驗

前言： 單寧體是一種存在於微管植物內的細胞器，在石生花及多數植物可利用單寧體變換體中色素，而不同的是石生花的單寧體分佈及特殊保護作用，在觀察下發現它可以利用單寧體可用於擬態及控制光窗。

步驟： 對單寧體實驗主要分成分布關係、顏色變化、保溫與抗強光。

1. 選取合適生石花(同種, 大小相近)
2. 一組 8 棵放於系統盆栽裡
3. 將強光組放入事先架好之強光燈下曝照兩天
4. 將微光組放入一般飼養箱中
5. 對比兩者差異並記錄



圖 26. 實驗過程與紅外線溫槍使用圖

結果：

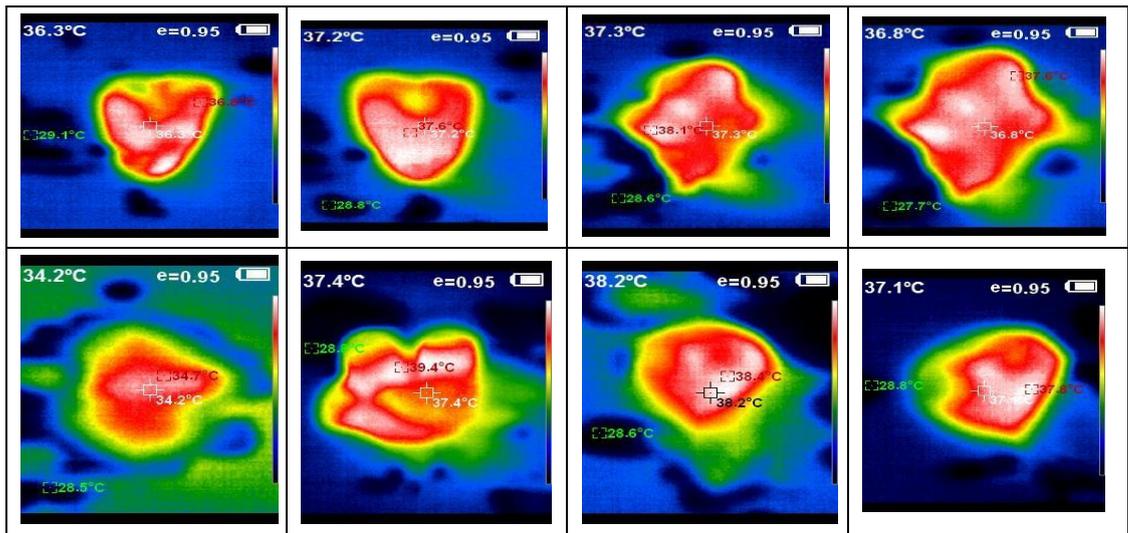


圖 27. 各樣本紅外線溫度計數據圖

紅大玉、日輪玉、荒玉為單寧細胞較多，對夜晚保溫效果較佳，而橄欖玉的單寧細胞較少溫度較低，且花青素也有抗寒效果，可得知單寧細胞及花色素可作為生石花之保溫作用。

討論：

1. 由於花青素及單寧體須配合才可達到最佳效果，因此雖然實驗可證明生石花單寧體有保溫效果，但對於花青素配合方面仍須加以研究。

B 脫皮機制實驗

【實驗 B1】儲水細胞變化

前言：

本研究發現生石花鹽類異動不同於其他植株，因此針對生石花鹽類做實驗分析。

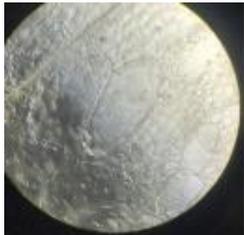
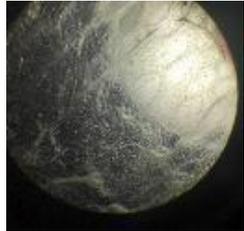
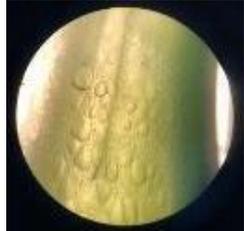
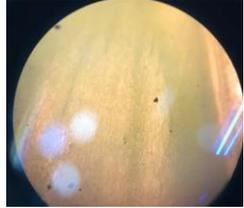
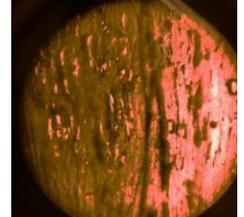
脫皮照片	儲水細胞	鹽類		說明
		63	70	鹽類觸發推葉機制老葉斷水 初期儲水細胞將水分由韌皮部輸送至新葉
		62	52	
		63	69	老葉開始裂開新葉露出，此時 儲水細胞仍持續輸水，可明顯 觀察出儲水細胞變小，說明已 無水分進入老葉
		67	65	
		70	71	儲水細胞水分所剩無幾，老葉 準備掉皮，鹽類濃度稍微增加
		72	69	
		81	79	鹽分濃度極高水分極少，老葉 細胞開始死亡
		79	78	
		X	X	完成蛻皮，儲水細胞已無液體 無法抽取水分及分析鹽類濃 度
		X	X	

圖 28.生石花蛻皮機制圖

【實驗 B2】鹽類對蛻皮機制之影響

步驟：

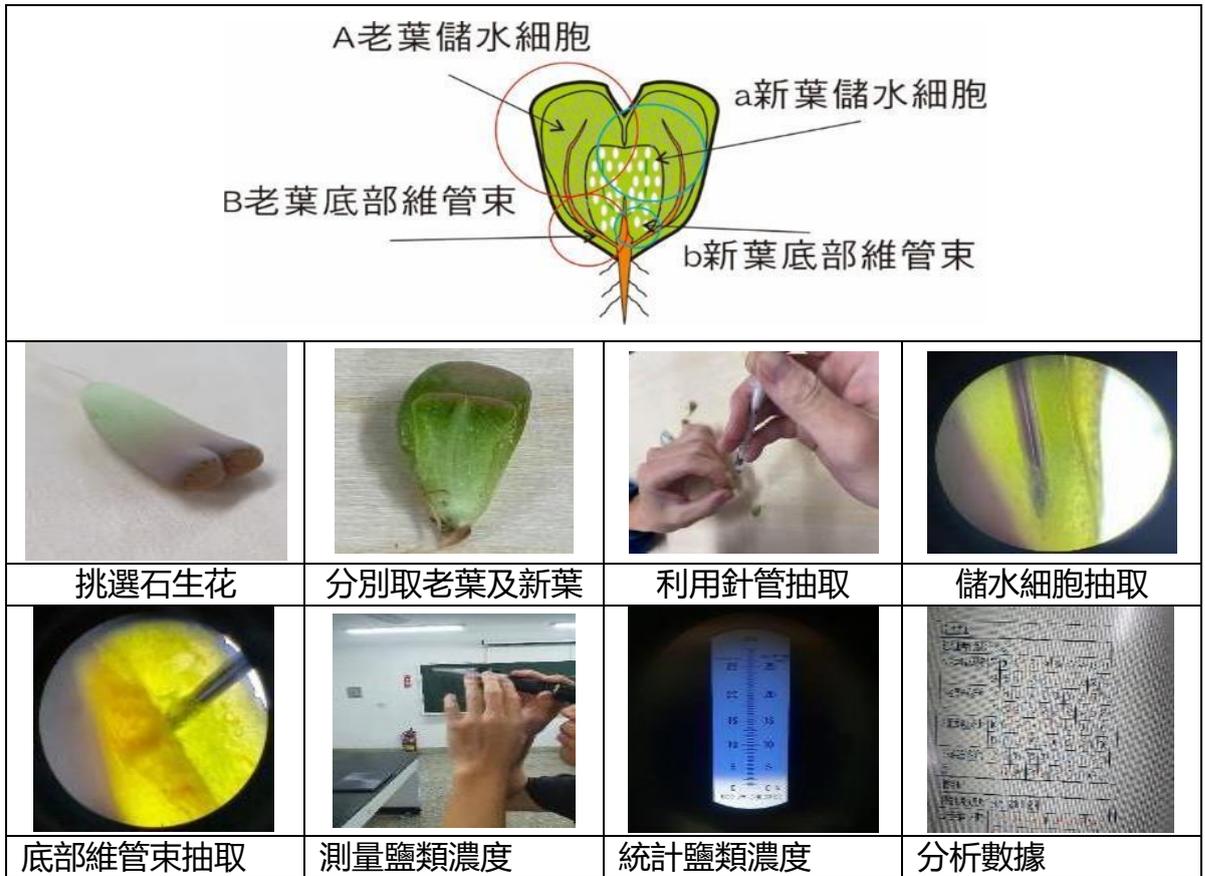
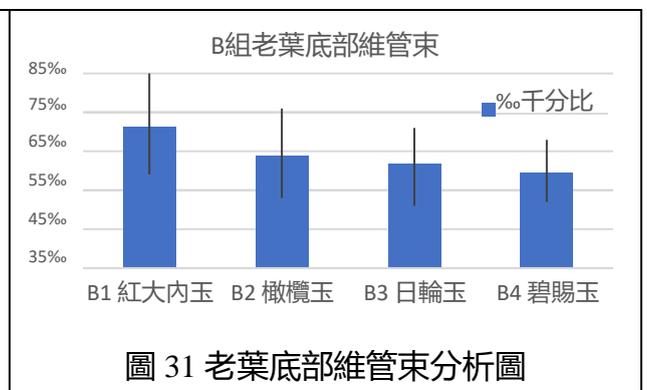
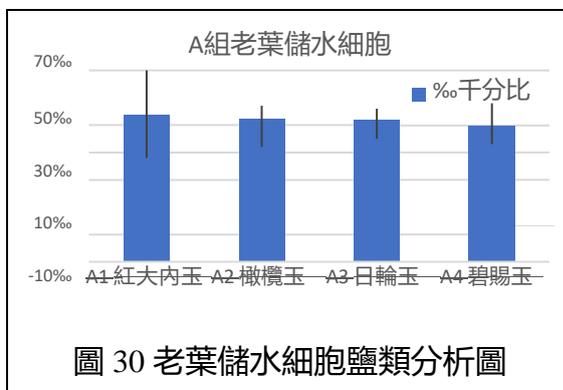
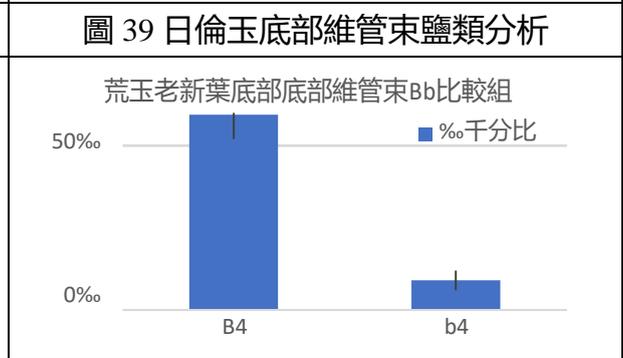
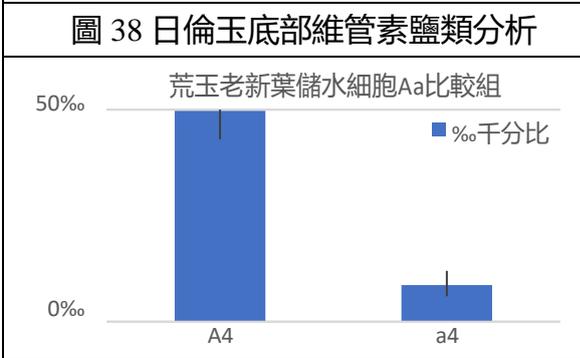
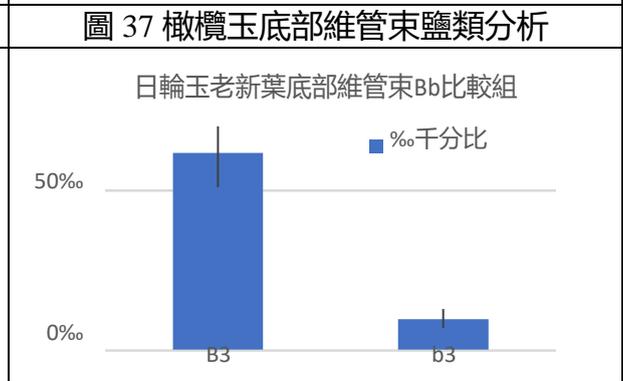
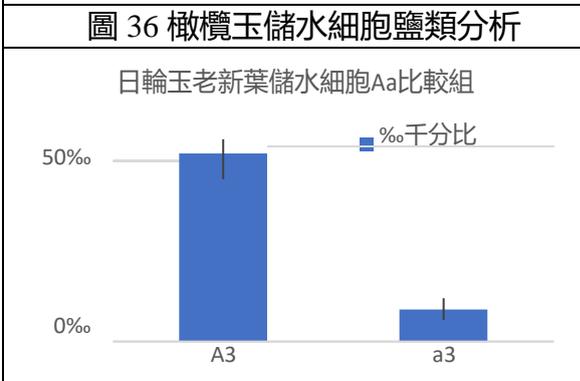
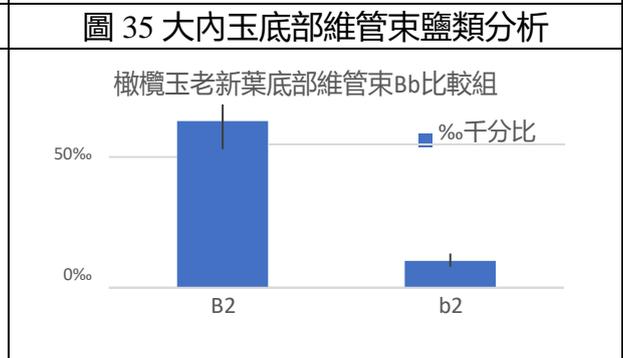
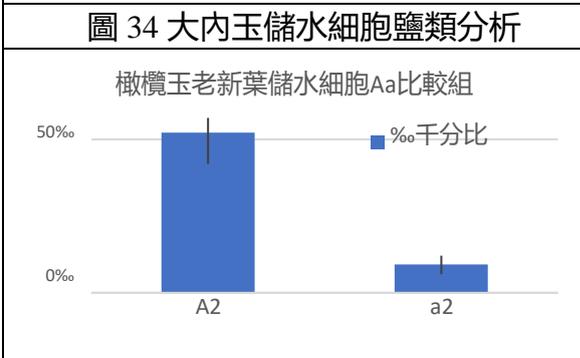
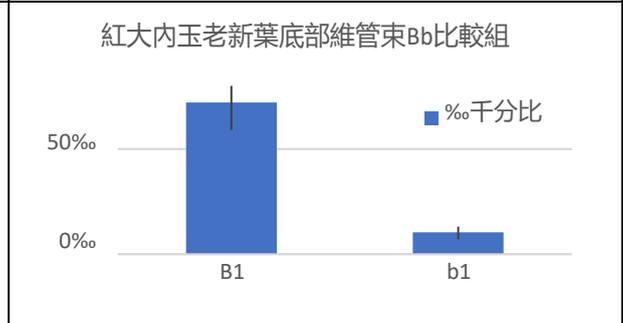
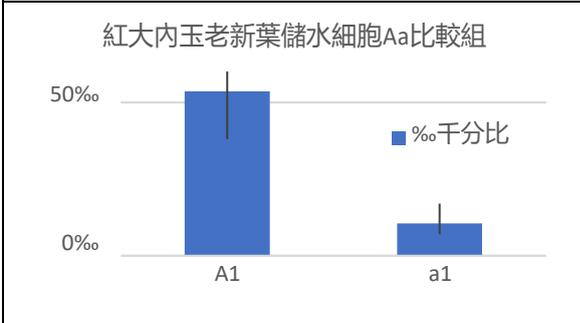
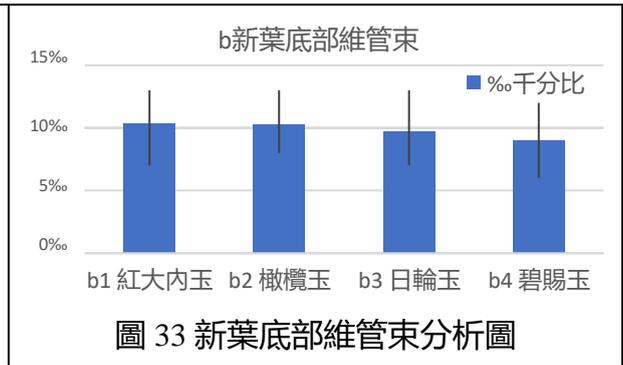
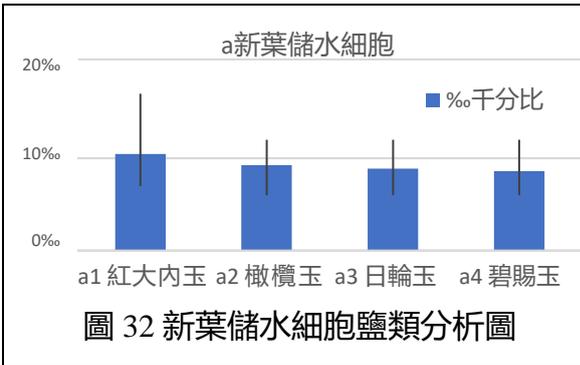


圖 29. 鹽度實驗流程圖

說明：由於生石花使用 CAM 景天酸代謝，白天及夜晚養分不同，可能導致實驗樣本鹽類濃度不同，因此本實驗將時間統一固定於早上 9:00 分抽取樣品。

結果：生石花各樣本鹽度變化結果如下：





【實驗 B3】老與新葉蛻皮關聯性

本研究以樣本中的日輪玉為實驗依據，並將其分成老葉及新葉兩部分，以下為老與新葉蛻皮方式與關聯性。

			
拖蠶式蛻皮	扒皮式蛻皮	拖裙式蛻皮	脫帽式蛻皮
水分及養分由老葉完全吸收	當新葉吸收老葉水分及養分一半時突然有水份導致新快速生長撐破老葉	新葉吸收老葉營養，直接長出老葉突然有水份導致新快速生長撐破老葉	新葉未吸收老葉營養直接突然有水份導致新快速生長撐破老葉
完全脫皮	吸收一半水介入	剛吸收水介入	吸收水馬上介入

圖 42 蛻葉模式圖

C、擬態機制實驗

前言：

本研究探討生石花是否具擬態機制及其他關係，經實驗[C1]可得知樣本於不同光線之效果，文獻分析，推測可能性為色素所至，其中細胞內具水溶性及脂溶性色素，且分泌機制不同，因此對於實驗提出虛無假設法，如下：

[C1]探討光線對生石花窗口顏色之影響	[C2] 探討 Tannin(單寧酸)對光線之影響
[C3] 探討有色體及葉綠體對光線之影響	[C4]檢測[C2][C3]對擬態之效果

【實驗 C1】光線對生石花窗口顏色影響

步驟：

分取 3 種品種 3 組 50 株生石花樣本，分別為對照組 1 組、強光照射組 1 組、無光照組 1 組，作為實驗樣本，並設置操作變因及固定其控制變因，將實驗結果統計後利用 imagej 軟體分析，並控制固定提取樣本面積，以灰階型式量化數據值，並利用多點定位法定點相機拍攝角度距離，以相同條件分析，對比其灰階值，最終觀察其檢測關係值，驗證對體態影響，如下：(其樣本編號為：樣本品種(英文)+樣本實驗組別(數字)組數(數字))。

1 對照組 (代號 1)	2 強光照射組 (代號 2)	3 無光照射組 (代號 3)
		
將樣本以常規方式放置	樣本以強光(植物燈 360-830 nm)照射	樣本放置於無光(0 lm)處

圖 43 葉窗照射光線實驗

※備註說明:

本實驗控制變數如下：時間(100 小時，每 1 小時固定觀察)、濕度(約 50%)、水分(實驗期間皆無澆水)。品種為 A：黃微紋玉 B：紅壽麗玉 C：橄欖玉，樣本分析如下：

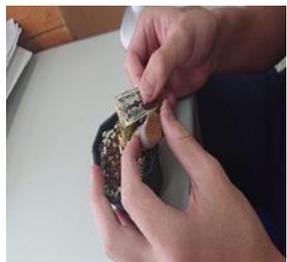
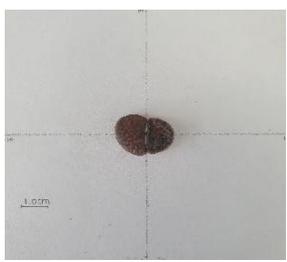
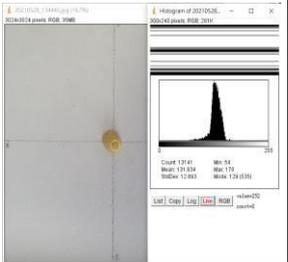
			
取樣	架設檢驗器材	放入定位板	導入 imagej 分析

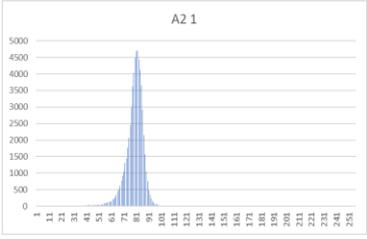
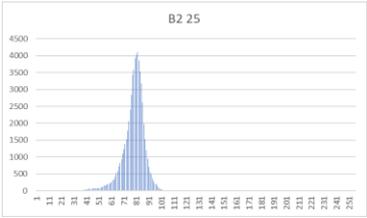
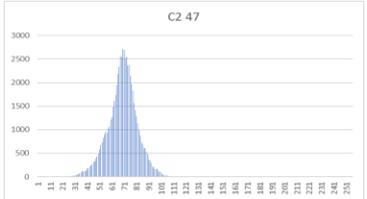
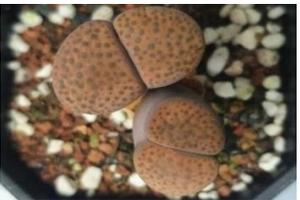
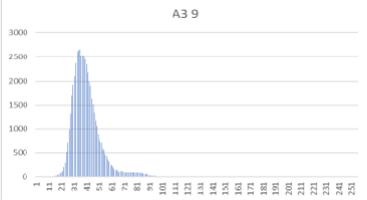
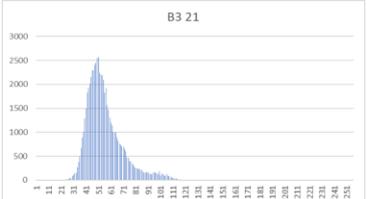
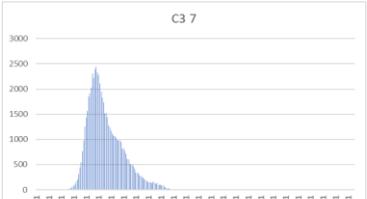
圖 44 葉窗照射光實驗過程

※分析及檢驗說明：

本實驗結果由於利用 255 色階量值強弱分析(同一照片內，取其灰階後明暗值量用 RGB 分法)，且其分析值強光組與弱光組之數值均落於 0-150 其餘為 0，因此僅使用 2 區域色階(1-75 76-151)之色階區間百分比值分析葉窗顏色色度，在利用 T-TEST 檢定檢定樣本有無顯著差異。

結果：

本實驗發現強光組與無光組葉窗有極大不同，強光之樣本葉窗顏色較淺，弱光較深，實驗經 T-Test 檢定強光組與弱光組檢定值為 0.0154 小於 0.02，因此光線改變樣本葉窗成立，示意圖及數據圖如下：(1.由於樣本數較多，以部分樣本展示 編號方式： 品種 實驗組別 實驗編號 2.光亮值為區間值之比值： 強光區間(76-151)/ 若光區間(0-75)*100%)。

樣本	樣本品種及光線 照射差異圖	全灰階分析圖	統計數據(光亮值)50組 標準差：排除各組極端值																																																		
A 強光組			<table border="1"> <tr><td>0.069</td><td>0.071</td><td>0.065</td><td>0.075</td><td>0.072</td><td>0.068</td><td>0.075</td><td>0.065</td><td>0.06</td><td>0.08</td></tr> <tr><td>0.068</td><td>0.062</td><td>0.078</td><td>0.07</td><td>0.063</td><td>0.077</td><td>0.073</td><td>0.058</td><td>0.068</td><td>0.061</td></tr> <tr><td>0.05</td><td>0.087</td><td>0.072</td><td>0.062</td><td>0.079</td><td>0.078</td><td>0.069</td><td>0.07</td><td>0.067</td><td>0.077</td></tr> <tr><td>0.053</td><td>0.061</td><td>0.071</td><td>0.055</td><td>0.062</td><td>0.085</td><td>0.065</td><td>0.075</td><td>0.09</td><td>0.079</td></tr> <tr><td>0.075</td><td>0.065</td><td>0.086</td><td>0.054</td><td>0.08</td><td>0.072</td><td>0.06</td><td>0.082</td><td>0.063</td><td>0.078</td></tr> </table>	0.069	0.071	0.065	0.075	0.072	0.068	0.075	0.065	0.06	0.08	0.068	0.062	0.078	0.07	0.063	0.077	0.073	0.058	0.068	0.061	0.05	0.087	0.072	0.062	0.079	0.078	0.069	0.07	0.067	0.077	0.053	0.061	0.071	0.055	0.062	0.085	0.065	0.075	0.09	0.079	0.075	0.065	0.086	0.054	0.08	0.072	0.06	0.082	0.063	0.078
0.069	0.071	0.065	0.075	0.072	0.068	0.075	0.065	0.06	0.08																																												
0.068	0.062	0.078	0.07	0.063	0.077	0.073	0.058	0.068	0.061																																												
0.05	0.087	0.072	0.062	0.079	0.078	0.069	0.07	0.067	0.077																																												
0.053	0.061	0.071	0.055	0.062	0.085	0.065	0.075	0.09	0.079																																												
0.075	0.065	0.086	0.054	0.08	0.072	0.06	0.082	0.063	0.078																																												
B 強光組			<table border="1"> <tr><td>0.09</td><td>0.075</td><td>0.087</td><td>0.099</td><td>0.088</td><td>0.093</td><td>0.103</td><td>0.101</td><td>0.094</td><td>0.11</td></tr> <tr><td>0.078</td><td>0.078</td><td>0.099</td><td>0.092</td><td>0.075</td><td>0.081</td><td>0.079</td><td>0.094</td><td>0.103</td><td>0.102</td></tr> <tr><td>0.105</td><td>0.082</td><td>0.077</td><td>0.105</td><td>0.09</td><td>0.086</td><td>0.086</td><td>0.089</td><td>0.087</td><td>0.084</td></tr> <tr><td>0.09</td><td>0.07</td><td>0.09</td><td>0.083</td><td>0.087</td><td>0.093</td><td>0.091</td><td>0.089</td><td>0.095</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>0.081</td><td>0.098</td><td>0.077</td><td>0.107</td><td>0.093</td><td>0.085</td><td>0.102</td><td>0.091</td><td>0.096</td><td>0.099</td></tr> </table>	0.09	0.075	0.087	0.099	0.088	0.093	0.103	0.101	0.094	0.11	0.078	0.078	0.099	0.092	0.075	0.081	0.079	0.094	0.103	0.102	0.105	0.082	0.077	0.105	0.09	0.086	0.086	0.089	0.087	0.084	0.09	0.07	0.09	0.083	0.087	0.093	0.091	0.089	0.095	0.09	0.081	0.098	0.077	0.107	0.093	0.085	0.102	0.091	0.096	0.099
0.09	0.075	0.087	0.099	0.088	0.093	0.103	0.101	0.094	0.11																																												
0.078	0.078	0.099	0.092	0.075	0.081	0.079	0.094	0.103	0.102																																												
0.105	0.082	0.077	0.105	0.09	0.086	0.086	0.089	0.087	0.084																																												
0.09	0.07	0.09	0.083	0.087	0.093	0.091	0.089	0.095	0.09																																												
0.081	0.098	0.077	0.107	0.093	0.085	0.102	0.091	0.096	0.099																																												
C 強光組			<table border="1"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																												
A 無光組			<table border="1"> <tr><td>19.404</td><td>19.42</td><td>19.404</td><td>19.394</td><td>19.416</td><td>19.414</td><td>19.424</td><td>19.402</td><td>19.397</td><td>19.398</td></tr> <tr><td>19.385</td><td>19.403</td><td>19.388</td><td>19.387</td><td>19.421</td><td>19.397</td><td>19.411</td><td>19.394</td><td>19.414</td><td>19.388</td></tr> <tr><td>19.404</td><td>19.384</td><td>19.42</td><td>19.399</td><td>19.403</td><td>19.406</td><td>19.399</td><td>19.409</td><td>19.413</td><td>19.41</td></tr> <tr><td>19.423</td><td>19.401</td><td>19.402</td><td>19.406</td><td>19.423</td><td>19.394</td><td>19.395</td><td>19.405</td><td>19.403</td><td>19.405</td></tr> <tr><td>19.402</td><td>19.385</td><td>19.404</td><td>19.407</td><td>19.409</td><td>19.396</td><td>19.392</td><td>19.416</td><td>19.412</td><td>19.411</td></tr> </table>	19.404	19.42	19.404	19.394	19.416	19.414	19.424	19.402	19.397	19.398	19.385	19.403	19.388	19.387	19.421	19.397	19.411	19.394	19.414	19.388	19.404	19.384	19.42	19.399	19.403	19.406	19.399	19.409	19.413	19.41	19.423	19.401	19.402	19.406	19.423	19.394	19.395	19.405	19.403	19.405	19.402	19.385	19.404	19.407	19.409	19.396	19.392	19.416	19.412	19.411
19.404	19.42	19.404	19.394	19.416	19.414	19.424	19.402	19.397	19.398																																												
19.385	19.403	19.388	19.387	19.421	19.397	19.411	19.394	19.414	19.388																																												
19.404	19.384	19.42	19.399	19.403	19.406	19.399	19.409	19.413	19.41																																												
19.423	19.401	19.402	19.406	19.423	19.394	19.395	19.405	19.403	19.405																																												
19.402	19.385	19.404	19.407	19.409	19.396	19.392	19.416	19.412	19.411																																												
B 無光組			<table border="1"> <tr><td>33.388</td><td>33.387</td><td>33.384</td><td>33.392</td><td>33.385</td><td>33.382</td><td>33.381</td><td>33.368</td><td>33.375</td><td>33.38</td></tr> <tr><td>33.393</td><td>33.383</td><td>33.394</td><td>33.384</td><td>33.386</td><td>33.383</td><td>33.375</td><td>33.395</td><td>33.389</td><td>33.396</td></tr> <tr><td>33.371</td><td>33.398</td><td>33.386</td><td>33.387</td><td>33.388</td><td>33.393</td><td>33.408</td><td>33.385</td><td>33.381</td><td>33.385</td></tr> <tr><td>33.378</td><td>33.405</td><td>33.386</td><td>33.39</td><td>33.394</td><td>33.401</td><td>33.391</td><td>33.388</td><td>33.395</td><td>33.381</td></tr> <tr><td>33.392</td><td>33.388</td><td>33.384</td><td>33.382</td><td>33.391</td><td>33.387</td><td>33.394</td><td>33.401</td><td>33.382</td><td>33.395</td></tr> </table>	33.388	33.387	33.384	33.392	33.385	33.382	33.381	33.368	33.375	33.38	33.393	33.383	33.394	33.384	33.386	33.383	33.375	33.395	33.389	33.396	33.371	33.398	33.386	33.387	33.388	33.393	33.408	33.385	33.381	33.385	33.378	33.405	33.386	33.39	33.394	33.401	33.391	33.388	33.395	33.381	33.392	33.388	33.384	33.382	33.391	33.387	33.394	33.401	33.382	33.395
33.388	33.387	33.384	33.392	33.385	33.382	33.381	33.368	33.375	33.38																																												
33.393	33.383	33.394	33.384	33.386	33.383	33.375	33.395	33.389	33.396																																												
33.371	33.398	33.386	33.387	33.388	33.393	33.408	33.385	33.381	33.385																																												
33.378	33.405	33.386	33.39	33.394	33.401	33.391	33.388	33.395	33.381																																												
33.392	33.388	33.384	33.382	33.391	33.387	33.394	33.401	33.382	33.395																																												
C 無光組			<table border="1"> <tr><td>48.111</td><td>48.115</td><td>48.095</td><td>48.112</td><td>48.109</td><td>48.113</td><td>48.11</td><td>48.095</td><td>48.127</td><td>48.112</td></tr> <tr><td>48.109</td><td>48.107</td><td>48.123</td><td>48.099</td><td>48.111</td><td>48.093</td><td>48.129</td><td>48.111</td><td>48.111</td><td>48.11</td></tr> <tr><td>48.108</td><td>48.114</td><td>48.127</td><td>48.204</td><td>48.018</td><td>48.091</td><td>48.131</td><td>48.109</td><td>48.119</td><td>48.103</td></tr> <tr><td>48.113</td><td>48.111</td><td>48.105</td><td>48.117</td><td>48.114</td><td>48.108</td><td>48.109</td><td>48.113</td><td>48.111</td><td>48.111</td></tr> <tr><td>48.107</td><td>48.115</td><td>48.097</td><td>48.125</td><td>48.099</td><td>48.123</td><td>48.121</td><td>48.101</td><td>48.107</td><td>48.115</td></tr> </table>	48.111	48.115	48.095	48.112	48.109	48.113	48.11	48.095	48.127	48.112	48.109	48.107	48.123	48.099	48.111	48.093	48.129	48.111	48.111	48.11	48.108	48.114	48.127	48.204	48.018	48.091	48.131	48.109	48.119	48.103	48.113	48.111	48.105	48.117	48.114	48.108	48.109	48.113	48.111	48.111	48.107	48.115	48.097	48.125	48.099	48.123	48.121	48.101	48.107	48.115
48.111	48.115	48.095	48.112	48.109	48.113	48.11	48.095	48.127	48.112																																												
48.109	48.107	48.123	48.099	48.111	48.093	48.129	48.111	48.111	48.11																																												
48.108	48.114	48.127	48.204	48.018	48.091	48.131	48.109	48.119	48.103																																												
48.113	48.111	48.105	48.117	48.114	48.108	48.109	48.113	48.111	48.111																																												
48.107	48.115	48.097	48.125	48.099	48.123	48.121	48.101	48.107	48.115																																												

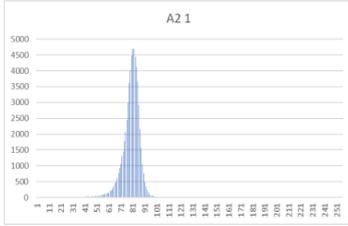
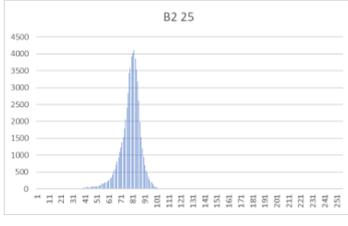
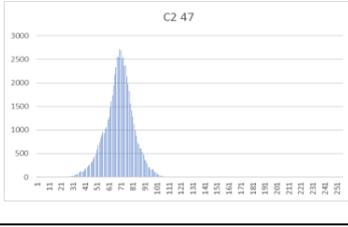
編號	樣本品種及光線 照射差異圖	全灰階分析圖	統計數據(光亮值)50組 標準差：排除各組極端值																																																		
A 對照組			<table border="1"> <tr><td>48.111</td><td>48.115</td><td>48.095</td><td>48.112</td><td>48.109</td><td>48.113</td><td>48.11</td><td>48.095</td><td>48.127</td><td>48.112</td></tr> <tr><td>48.109</td><td>48.107</td><td>48.123</td><td>48.099</td><td>48.111</td><td>48.093</td><td>48.129</td><td>48.111</td><td>48.111</td><td>48.111</td></tr> <tr><td>48.108</td><td>48.114</td><td>48.127</td><td>48.204</td><td>48.018</td><td>48.091</td><td>48.131</td><td>48.109</td><td>48.119</td><td>48.103</td></tr> <tr><td>48.113</td><td>48.111</td><td>48.105</td><td>48.117</td><td>48.114</td><td>48.108</td><td>48.109</td><td>48.113</td><td>48.111</td><td>48.111</td></tr> <tr><td>48.107</td><td>48.115</td><td>48.097</td><td>48.125</td><td>48.099</td><td>48.123</td><td>48.121</td><td>48.101</td><td>48.107</td><td>48.115</td></tr> </table>	48.111	48.115	48.095	48.112	48.109	48.113	48.11	48.095	48.127	48.112	48.109	48.107	48.123	48.099	48.111	48.093	48.129	48.111	48.111	48.111	48.108	48.114	48.127	48.204	48.018	48.091	48.131	48.109	48.119	48.103	48.113	48.111	48.105	48.117	48.114	48.108	48.109	48.113	48.111	48.111	48.107	48.115	48.097	48.125	48.099	48.123	48.121	48.101	48.107	48.115
48.111	48.115	48.095	48.112	48.109	48.113	48.11	48.095	48.127	48.112																																												
48.109	48.107	48.123	48.099	48.111	48.093	48.129	48.111	48.111	48.111																																												
48.108	48.114	48.127	48.204	48.018	48.091	48.131	48.109	48.119	48.103																																												
48.113	48.111	48.105	48.117	48.114	48.108	48.109	48.113	48.111	48.111																																												
48.107	48.115	48.097	48.125	48.099	48.123	48.121	48.101	48.107	48.115																																												
B 對照組			<table border="1"> <tr><td>1.931</td><td>1.929</td><td>1.933</td><td>1.927</td><td>1.935</td><td>1.926</td><td>1.936</td><td>1.928</td><td>1.934</td><td>1.931</td></tr> <tr><td>1.937</td><td>1.925</td><td>1.934</td><td>1.938</td><td>1.922</td><td>1.94</td><td>1.93</td><td>1.932</td><td>1.944</td><td>1.918</td></tr> <tr><td>1.941</td><td>1.921</td><td>1.922</td><td>1.94</td><td>1.923</td><td>1.939</td><td>1.933</td><td>1.929</td><td>1.935</td><td>1.927</td></tr> <tr><td>1.929</td><td>1.933</td><td>1.931</td><td>1.934</td><td>1.924</td><td>1.938</td><td>1.926</td><td>1.933</td><td>1.929</td><td>1.914</td></tr> <tr><td>1.951</td><td>1.911</td><td>1.928</td><td>1.931</td><td>1.912</td><td>1.95</td><td>1.936</td><td>1.945</td><td>1.917</td><td>1.948</td></tr> </table>	1.931	1.929	1.933	1.927	1.935	1.926	1.936	1.928	1.934	1.931	1.937	1.925	1.934	1.938	1.922	1.94	1.93	1.932	1.944	1.918	1.941	1.921	1.922	1.94	1.923	1.939	1.933	1.929	1.935	1.927	1.929	1.933	1.931	1.934	1.924	1.938	1.926	1.933	1.929	1.914	1.951	1.911	1.928	1.931	1.912	1.95	1.936	1.945	1.917	1.948
1.931	1.929	1.933	1.927	1.935	1.926	1.936	1.928	1.934	1.931																																												
1.937	1.925	1.934	1.938	1.922	1.94	1.93	1.932	1.944	1.918																																												
1.941	1.921	1.922	1.94	1.923	1.939	1.933	1.929	1.935	1.927																																												
1.929	1.933	1.931	1.934	1.924	1.938	1.926	1.933	1.929	1.914																																												
1.951	1.911	1.928	1.931	1.912	1.95	1.936	1.945	1.917	1.948																																												
C 對照組			<table border="1"> <tr><td>1.365</td><td>1.346</td><td>1.384</td><td>1.348</td><td>1.382</td><td>1.348</td><td>1.382</td><td>1.364</td><td>1.35</td><td>1.359</td></tr> <tr><td>1.361</td><td>1.359</td><td>1.371</td><td>1.363</td><td>1.366</td><td>1.355</td><td>1.375</td><td>1.376</td><td>1.371</td><td>1.38</td></tr> <tr><td>1.362</td><td>1.369</td><td>1.366</td><td>1.367</td><td>1.378</td><td>1.369</td><td>1.357</td><td>1.354</td><td>1.368</td><td>1.365</td></tr> <tr><td>1.385</td><td>1.362</td><td>1.364</td><td>1.352</td><td>1.364</td><td>1.365</td><td>1.346</td><td>1.373</td><td>1.384</td><td>1.361</td></tr> <tr><td>1.345</td><td>1.365</td><td>1.368</td><td>1.349</td><td>1.381</td><td>1.361</td><td>1.356</td><td>1.366</td><td>1.374</td><td>1.369</td></tr> </table>	1.365	1.346	1.384	1.348	1.382	1.348	1.382	1.364	1.35	1.359	1.361	1.359	1.371	1.363	1.366	1.355	1.375	1.376	1.371	1.38	1.362	1.369	1.366	1.367	1.378	1.369	1.357	1.354	1.368	1.365	1.385	1.362	1.364	1.352	1.364	1.365	1.346	1.373	1.384	1.361	1.345	1.365	1.368	1.349	1.381	1.361	1.356	1.366	1.374	1.369
1.365	1.346	1.384	1.348	1.382	1.348	1.382	1.364	1.35	1.359																																												
1.361	1.359	1.371	1.363	1.366	1.355	1.375	1.376	1.371	1.38																																												
1.362	1.369	1.366	1.367	1.378	1.369	1.357	1.354	1.368	1.365																																												
1.385	1.362	1.364	1.352	1.364	1.365	1.346	1.373	1.384	1.361																																												
1.345	1.365	1.368	1.349	1.381	1.361	1.356	1.366	1.374	1.369																																												

圖 45 葉窗照射光線實驗結果分析圖

一. 各組灰階數據比較：

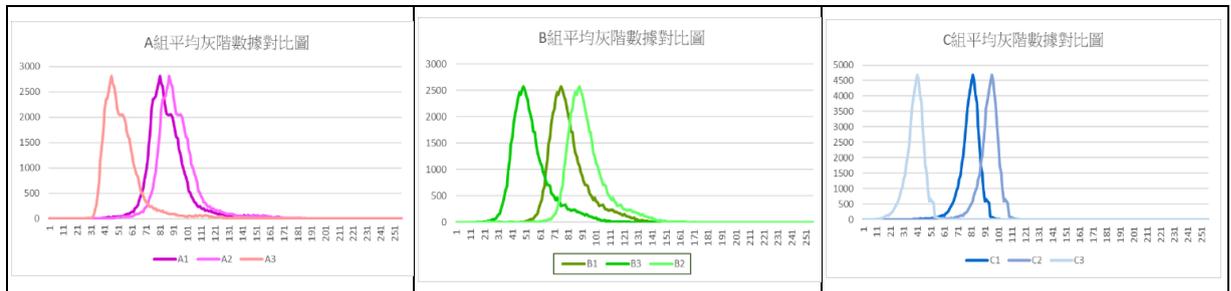


圖 46 灰階數據比較圖

二. 全灰階值關係圖數據：

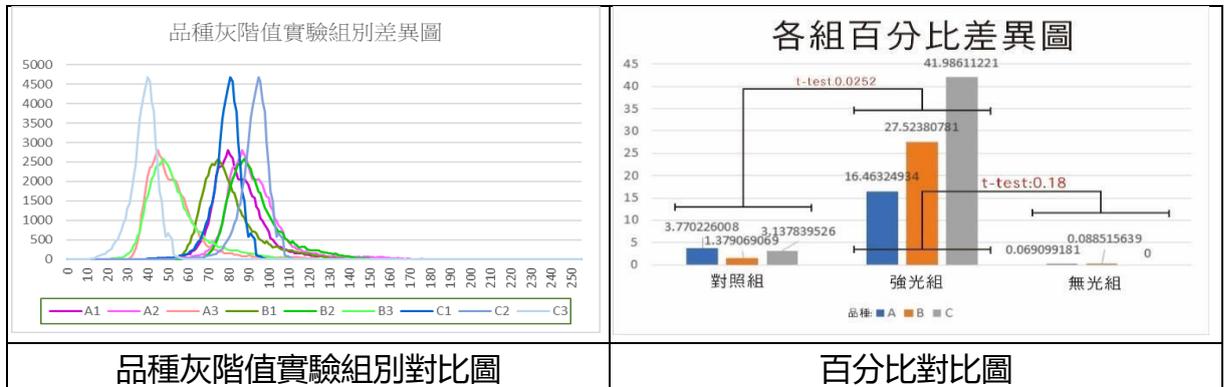


圖 47 全灰階值關係圖

※說明：經由區間量化方式將百分比值(越大越亮)可利用 t-test 檢定其關係值，例：(百分比對比圖)

討論:

1. 由於實驗發現對照組及強光組之數據值經 T-TEST 檢定檢定值為 0.04 較無顯著差異，推測樣本可能只因為弱光而改變其顏色，因此可大致推測葉窗之顏色可能因弱光時之色素增加影響。
2. 實驗中發現於 C 品種強光組之百分比有 0 的現象，因此針對數據準確度提出分析，由於除此組別有 0 現象及抓 75 灰階區間仍可分辨及分析不影整體數據，因此仍可列入計算。

【實驗 C2】單寧酸對光線及擬態機制實驗

步驟:

將強光組、無光組、對照組分別分析其葉窗單寧酸，並調製氯化鐵染色指示計將各組別分別前後染色分析，再利用兩種方式分析。

1. 灰階分析法：將不同樣本組別分別染色，在利用定位板確保實驗用之分析影像準確，在以利用 imagej 分析其灰階值量化分析其差異。
2. 先將各組別之樣本觀察窗部與單寧點，並以轉印紙轉印，可分析單寧酸與窗部關係。

一. 檢驗劑及轉印紙檢製作：

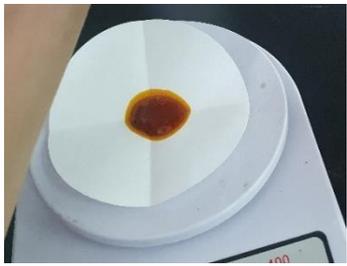
		化學反應通式： $6\text{PhOH} + \text{FeCl}_3 \rightarrow \text{H}_3[\text{Fe}(\text{OPh})_6]$ (紫色) + 3HCl (Ph 苯環)
調製 15% 氯化鐵溶液	單寧酸檢驗試劑	 說明： 左圖為濾紙沾試劑後烘乾之轉印紙

圖 48 檢驗劑及轉印紙檢製作過程

二. 單寧體測量步驟：

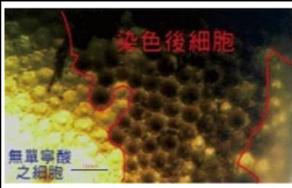
			
選取樣本並切片	將樣本染色後觀察	固定範圍並灰階	導入 imagej 分析

圖 49 單寧體測量步驟過程

※說明：實驗中染色後固定於 5 分鐘時拍攝，以確保液包中單寧酸溶出細胞，變無法分辨，且猶豫染色劑需時間進入植株內，因此 5 分鐘為最佳時機，其灰階數據量化方式同前時驗。

三. 染色過程：（取至實驗拍攝時影片）

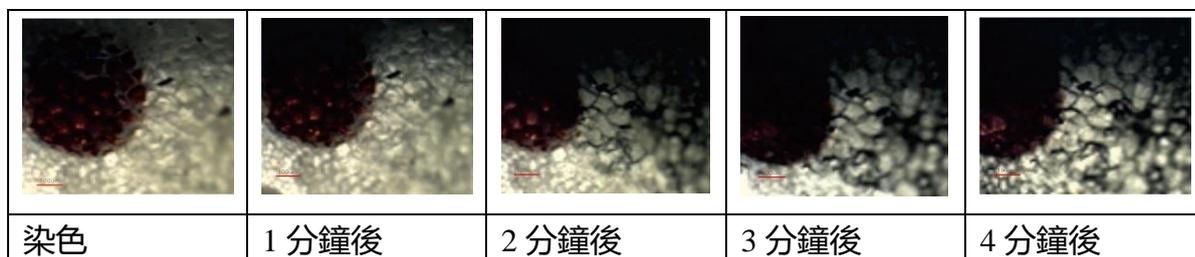


圖 50 染色過程

四. 轉印紙實驗步驟：

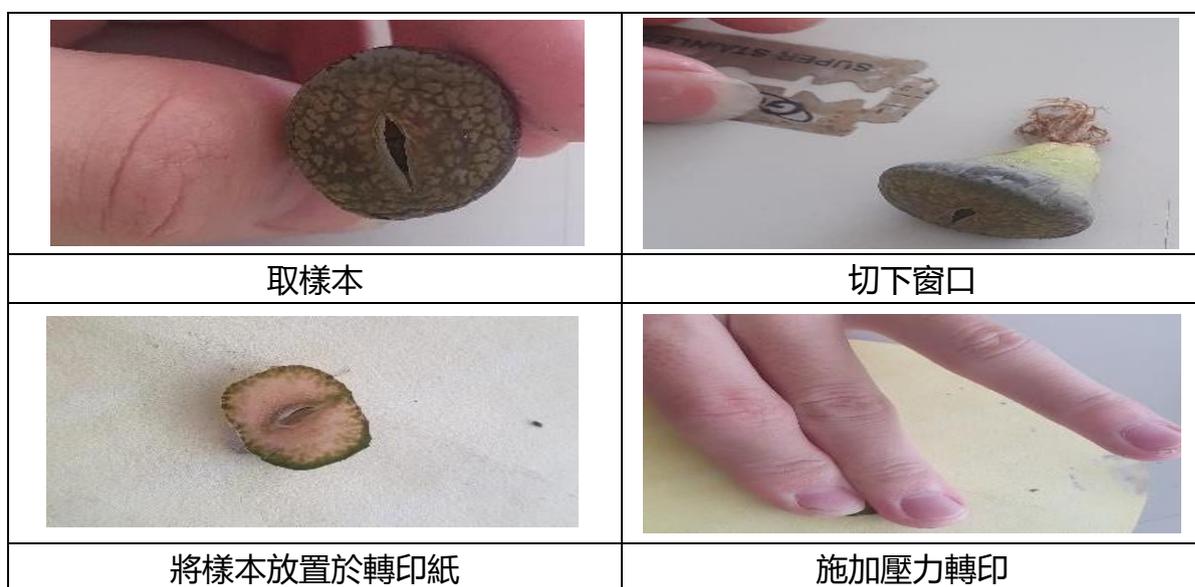


圖 51 轉印紙實驗過程

將實驗之樣本切下窗口，在將窗口處放於轉印紙上，並用手拍打，使得樣本汁液流上轉印紙，由於轉印紙具氯化鐵，與單寧酸反印後呈紫黑色便可觀察。

結果：

經實驗發現單寧體確實與光線有關，強日照地區部分品種(例：微紋玉)，葉窗上透光處有單寧體分布，單寧酸隨著光線增強而增加，減弱而減少，用來抗強光、紫外線，用於保護窗口處，經實驗檢測，於強光下單寧體確實較多，無光則較少，經數據 T-TEST 檢定，強光組及弱光組之檢定值小於 0.05，因此具有顯著差異，且此時驗由顯微鏡觀察可發現單寧酸大部分都固定儲存於本研究分析之窗部(葉窗之可透光處)無光組具有單寧點之石生花品種(實驗前及具)：以下圖可說明其原具單寧點之樣本於染色後周邊細胞不具染色，可證明實驗依據色階數據具可行性及準確度。

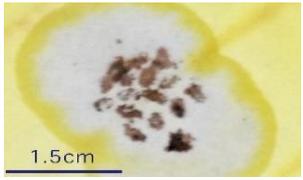
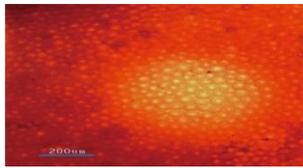
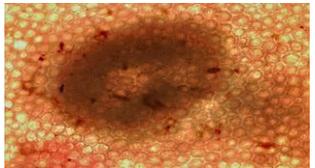
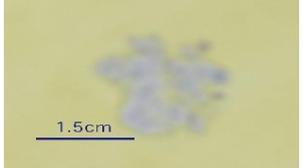
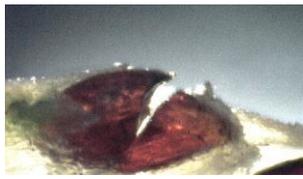
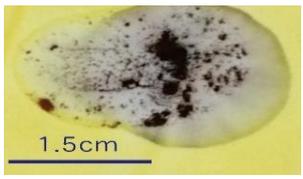
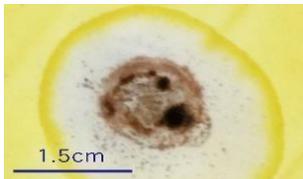
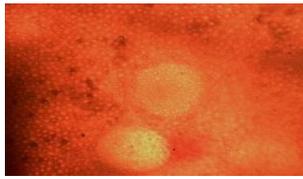
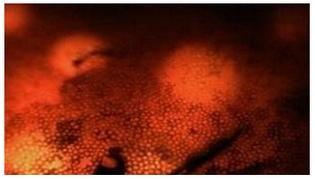
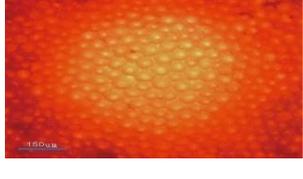
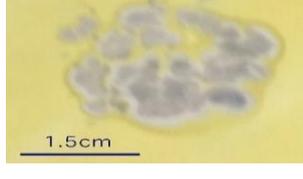
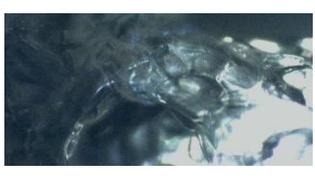
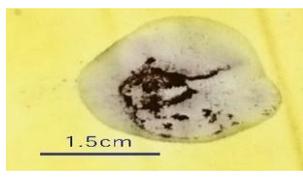
組別	各組染色前單寧點	染色後	窗口狀態(轉印試紙)
無光組			
			
			
強光組			
			
			
對照組			
			
			

圖 52 單寧體驗過程

一. 各組灰階數據比較:

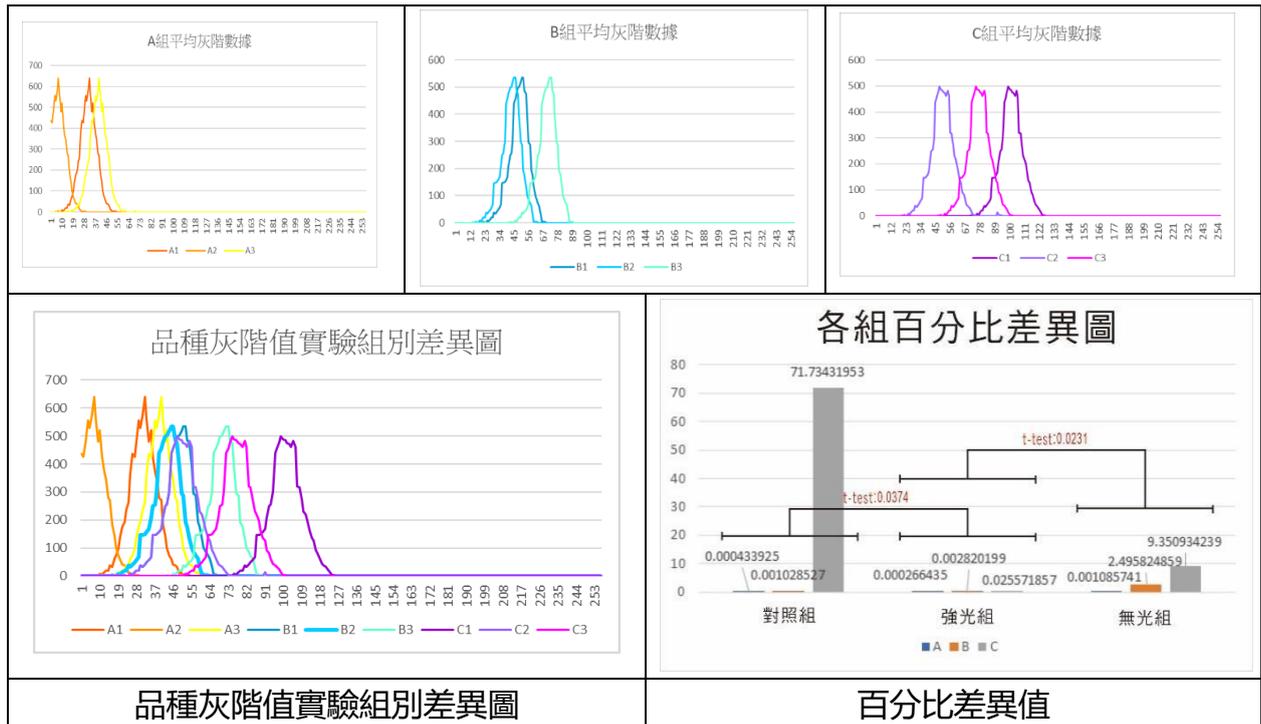


圖 53 各組灰階數據比較

討論:

1. 實驗中單寧酸變多的情況下也會影響窗口顏色變化。
2. 本實驗探討光影響及擬態機制，經文獻及實驗分析初步估計，單寧酸的增加可能導致使用單眼之生物容易分辨而喪失擬態效果，其詳細分析需至(C4)實驗時進行。
3. 轉印紙實驗於原先是使用濾紙直接沾溼後測量，由於水分太多將染色處勳開導至不易區別，因此實驗將濾紙烘乾後使用，效果更加。
4. 本實驗與原先預設結果：(由花青素保護及導至擬態)結果不一，實驗仍需進一步研究。

【實驗 C3】光線影響有色體(chromoplast)及葉綠體(chloroplast)導致擬態關係

步驟:

將各品種樣本依各種 30 顆進行實驗用顯微鏡觀察及分析，在利用自製光譜分析儀分析其脂溶性色素含量，用以推測脂溶性色素造成樣本顏色差異，由於樣本需進行切片用顯微鏡觀察，其有色體分析沿用切片進行(切片須重 1g)。

結果:

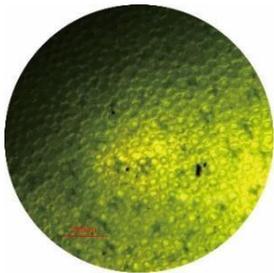
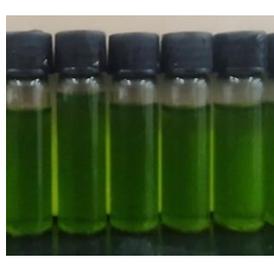
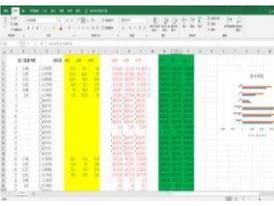
																	
切取樣本並秤重	顯微鏡檢查	置入 50g 丙酮	使色素容於丙酮														
			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">色素分析公式</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$C_a=11.75A_{662}-2.350A_{645}$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$C_b=18.61A_{645}-3.960A_{662}$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$C_{x+c}=1000A_{470}-2.270 Ca-81.4C_b/227$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C_a 葉綠素 a (Chlorophyll a)</td> <td>$A_{662}=662$ 吸光值</td> </tr> <tr> <td>C_b 葉綠素 b (Chlorophyll b)</td> <td>$A_{645}=645$ 吸光值</td> </tr> <tr> <td>C_{x+c} 類胡蘿蔔素 Total carotene</td> <td>$A_{470}=470$ 吸光值</td> </tr> </tbody> </table>	色素分析公式		$C_a=11.75A_{662}-2.350A_{645}$		$C_b=18.61A_{645}-3.960A_{662}$		$C_{x+c}=1000A_{470}-2.270 Ca-81.4C_b/227$		C_a 葉綠素 a (Chlorophyll a)	$A_{662}=662$ 吸光值	C_b 葉綠素 b (Chlorophyll b)	$A_{645}=645$ 吸光值	C_{x+c} 類胡蘿蔔素 Total carotene	$A_{470}=470$ 吸光值
色素分析公式																	
$C_a=11.75A_{662}-2.350A_{645}$																	
$C_b=18.61A_{645}-3.960A_{662}$																	
$C_{x+c}=1000A_{470}-2.270 Ca-81.4C_b/227$																	
C_a 葉綠素 a (Chlorophyll a)	$A_{662}=662$ 吸光值																
C_b 葉綠素 b (Chlorophyll b)	$A_{645}=645$ 吸光值																
C_{x+c} 類胡蘿蔔素 Total carotene	$A_{470}=470$ 吸光值																
放入自製光譜儀	代入 Excel 計算	量化及分析	吸光值轉換公式														

圖 54 實驗 C3 流程

於顯微鏡觀察下可明看出液包內之色素及色素體(plastid)內色素之區別，實驗發現光線影響有色體內色素之多寡，經葉綠素含量實驗數據分析指出其葉綠素(Chlorophyll)可嚴重影響窗口顏色，且實驗發現其窗口之葉綠素 b (Chlorophyll b) 種類含量較高，其次為葉綠素 a (Chlorophyll a) 及類胡蘿蔔素(carotenoid)，經差異檢定(t-test)發現光照之實驗各組具顯著差異，其 2: 強光組及 3.無光組最具顯著差異。

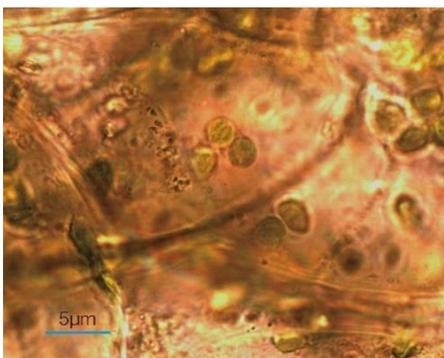
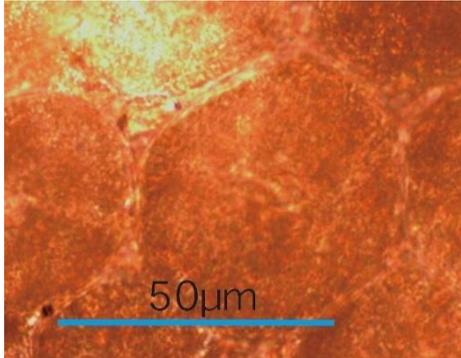
		說明: 左方兩張圖可比較葉綠體與單寧酸之差異, 右圖為樣品之單寧點(單寧酸聚集處)推測其質體可能為單寧體(tannosome)
生石花表皮葉綠體	生石花單寧點色素	

圖 55 葉綠體與單寧酸比較

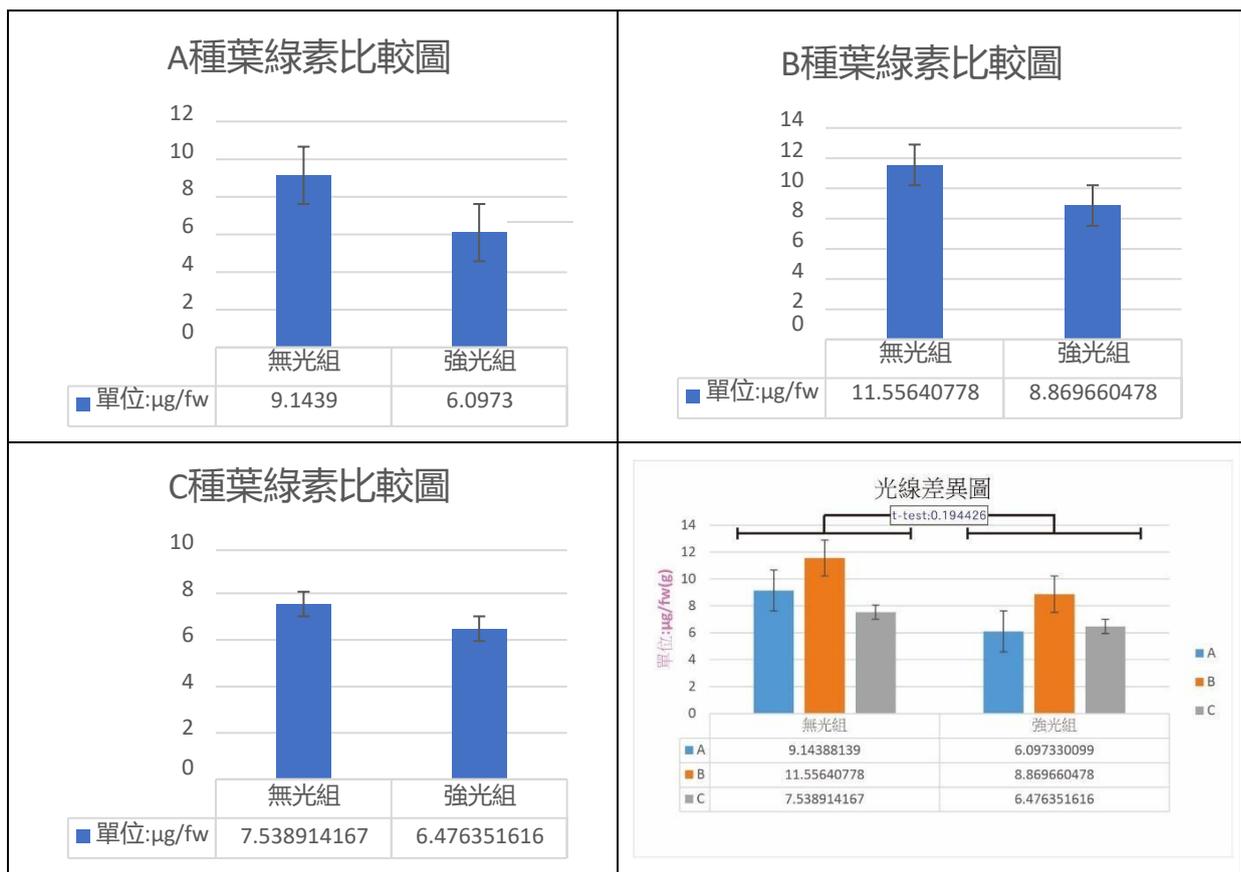


圖 56 各樣本比較分析結果

【實驗 C4】檢測[C2][C3]對擬態之效果

經實驗指出生石花屬之絕大部分葉窗可隨著光線改辦於強光狀態下為較淺色，光線若則反之，其變色原因由於窗處之色素所致，研究中發現其單寧酸(tannin)及色素體(plastid)(實驗經分析色素體之各種型態也將引響顏色，此實驗目前只探討有色體(Chromoplast)與葉綠體(chloroplast)內之(葉綠素 b(Chlorophyll b) > 葉綠素 a (Chlorophyll a) > 類胡蘿蔔素(carotenoid))之影顯最為明顯，其反應機制原因：1. 單寧酸(tannin)：抗 UV 及輻射 2. 有色體(Chromoplast)與葉綠體 (chloroplast)：增加光合作用。實驗探討之擬態，經文獻及實驗分析，掠食者通常視覺受器分為單一眼睛受器及複眼形式，因此於單寧酸較多者更容易暴露，反之有色體(Chromoplast)與葉綠體 (chloroplast) 除抗 UV 及輻射外，亦可實現擬態。



圖 57 擬態與光線關係圖

伍、討論

一. 分析生石花的生理結構及在不同環境下的差異，並進一步分析生石花的分類依據

本實驗利用自製光導儀器來分析各類窗口的透光度比較，結果顯示全窗(紅大內玉)透光度最佳，接著依序為大窗(橄欖玉)、開窗(日輪玉)、無窗(碧賜玉)，藉此可推測生石花運用葉窗大小來控制進光量，再藉於自製儀器測試五種生石花的光譜波長，由實驗可得知閉窗吸收光譜大於開窗，但依據文獻敘述，開窗吸收量較大，進一步推測窗口需配合樣品花色素才可對窗口吸收下定論。

二. 探討光線進入葉肉組織的過程，儲水細胞、葉綠素和單寧體的關聯性

本實驗取四種不同窗口類型的生石花(紅大內玉、荒玉、麗虹玉、橄欖玉、日輪玉)，藉由照射紅光來了解光線進入植株內的散素情形以及窗口對於光散射的影響，由此可知全窗或窗口較透明的生石花，折射效果最佳，無窗折射效果則最差。

三. 探討老葉與新葉替換過程中的蛻皮機制成因及兩者鹽度差異比較

本實驗取四種介於蛻皮階段的生石花，將生石花分為兩部分，一部分為近頂端的儲水細胞，另一部分為近根部的維管束，並使用針管抽取兩部分的汁液更進一步測量其鹽度。鹽分觸發此機制使根部停止輸送水分到老葉，應新葉需成長，導致老葉將本身的水分傳送給新葉，導致老葉鹽度較新葉高，從研究數據可證明各種類的生石花老葉鹽度較新葉鹽度高，鹽分濃度最高品種為紅大內玉(全窗)，其他三者鹽度差異不大。

四. 透過實驗探討生石花的擬態機制

生長在同一環境下，兩者明暗度高低不同，在環境的改變下，會分別遭到天擇的淘汰。所以並不是每一種生石花能存活在每一個環境中。再進一步推測，擬態的機制與單寧體改變生石花顏色的機制有關連。

陸、結論

一、 分析生石花屬(Lithops)生理結構，影響的環境因數，不同環境分佈的差異。

實驗將生石花使用單寧細胞及窗口分類，可推論出大多數生石花之生長特徵及生活氣候，特定實驗所需品種後，並可用於其他實驗分析。

二、結合生理結構差異，重新定義生石花屬(Lithops)的分類原則

本研究探討之單寧細胞，單寧細胞分布可推估各生石花生長之生理特徵。

三、探討光線由葉窗進入葉肉組織過程中，儲水細胞、葉綠體與單寧體的關係

由實驗可知，生石花樣本之窗口影響生石花之進光量，由多至低分別為全窗、閉窗、開窗、大窗、無窗，儲水細胞之散射值及吸收光譜，也會因為花色素而有所不同。

四、探討老葉與新葉替換過程中，特殊的蛻皮的機制成因

本次實驗著重於鹽類影響之蛻皮機制，於實驗中發現生石花無其他排鹽機制，因此當鹽類過高時會迫使老葉脫水並長出新葉，同時研究中發現特殊的蛻皮方式也可防止老葉腐壞時感染新葉，並騰出空間供新葉生長。而生石花之脫皮也並非離層所致，研究中發現離層通常未啟動植株就已將老葉退去水分，當老葉蛻皮時也持續供應著新葉養分及水分，而脫皮時新葉也可通過根部吸收水分，而放棄老葉養分，研究中也發現樣本都有極大風險因根部吸水導致死亡，因此研究發現也可藉由水分控制生石花脫皮，前提是蛻皮機制啟動下。

五、透過實驗探討生石花的擬態機制

研究中發現生石花之單寧酸會隨著光線影響，造成植株顏色深淺度變化，實驗本認為由單寧酸所導致葉窗變色，研究後發現於光線較低時生石花之顏色也隨之改變因此於實驗探討光線、單寧酸、色素體及葉綠體、擬態之間關係，經研究葉綠體不僅為可應變生石花光線不足，也可使自身於掠食者視角下擬態。

柒、未來展望

一、生石花之生理特性具導光及散色效應，可模擬生石花之生理構造設計光導材料。

二、若能更加利用單寧體與窗型分類，可更加以利用此方法分類生石花，以利分辨樣品生存環境、適合溫度，達到更有效率的分類法。

三、生石花屬於景天裸植物，使用 CAM 代謝，蘊含大量蘋果酸及微量元素，其老葉也蘊含

大量鹽類等，比起同為景天科之冰菜，生石花生純能力也較強，推測若成為健康食品也是不錯的選擇。

四、生石花具有擬態的功用，推測擬態作用是由天擇導致，與單寧體有一定的關連性。觀察是否有其他植物擁有與生石花相同的擬態機制。

五、普通植物主要會在植株側面生長新芽，但生石花與其他植物的相異點在於新芽生長於老葉中間，逐漸長大，使老葉被撐開，造成獨特的蛻皮現象。探討生石花擁有蛻皮機制的利與弊。

六、探討生石花的食用價值，已知生石花耐鹽鹼度高，且若要在高鹽鹼度的環境中種植作物，或許可替代其他高經濟價值的作物。

陸、參考資料及其他

- 一. 邢一帆 陳麗 張傑 宋婷婷(2021)。生石花離體培養與快繁研究，北京農學院植物科學技術學院北京農學院學報，67-71。
- 二. 毛春霞、張玉信、自海濤(2018)。影響多肉植物生長著色環境因素分析，雲南大理農林職業技術學院現代園藝期刊，30-31。
- 三. 兌寶峰(2018)。話說生石花，中國花卉園藝期刊，30-33。
- 四. 葉玉妍，梁海峰，楊禮香(2018)。番杏Actin基因片段的克隆及生物資訊學分析，(廣州大學生命科學學院生物資源期刊40(5)：405~41。
- 五. 鄧源、曹征宇、周亞輝(2019)。不同配比栽培基質對生石花屬植物生長的影響初探，上海農業科技，2019(4)：84 85。

【評語】 052101

1. 本研究在對生石花葉窗、蛻皮與擬態機制進行探討。實驗發現單寧酸(Tannin)可形成聚集於葉窗之單寧點，其功能在保護植株避免受強光傷害。強光會引起單寧點之擴散進而融入葉窗表面，並阻擋紫外線之照入。進一步發現葉窗可調控不同輻射波長光的進量，並藉由儲水薄壁組織(water storage parenchyma)折射光線，引發葉綠體量的聚集，其為造成生石花之擬態行為之原因。此外發現生石花老葉蛻皮並產生新葉之過程中，水分之正確介入時機，是決定蛻皮結果之主因。
2. 本研究的結果對生石花葉窗之生理反應研究可提供有用的資訊。
3. 各項實驗十分繁複，但多屬觀測性質，沒有科學假說，理論驗證之過程。
4. 實驗觀察項目多，但之間的關聯性不強，材料來源交待不明宜交待清楚。

作品簡報

生石花葉窗、蛻皮 與擬態機制探究

組別:高級中等學校組

科別:植 物 學 科

前言：

實驗樣品介紹:

兩片對生的子葉，植株本身無莖，根的形式為軸根，多數品系有透明葉窗剖面顯示儲水細胞發達，屬於CAM形式，葉面表層多數有單寧體分布，以蛻皮模式更替老葉，表面紋理能把植株與周圍環境和諧的融合。



相關研究內容及文獻探討:

1. 柯爾(Desmond T.Cole):對生石花屬植物的習性、地理分布進行了長期野外研究，並歸納以地理分類，編號整體規則是以「C+數字」。
2. 胡海喜 博士:對生石花屬植物的習性、養殖及病蟲害問題分析，對生石花屬各品種養殖詳細解釋，分析葉窗、蛻皮等機制。

研究目的:

1. 分析生石花生理結構，環境影響因子與不同環境分佈的差異。
2. 結合生理結構差異，重新定義生石花的分類原則。
3. 探討光線由葉窗進入葉肉組織過程中，儲水細胞、葉綠體與單寧體的關係。
4. 探討老葉與新葉替換過程中，特殊的蛻皮的機制成因。
5. 透過實驗探討生石花的擬態機制的成因。

研究流程



研究方法 :

生理結構與環境因子分析:

研究統整文獻及實驗分析並選擇樣本進行實驗，並依照研究歸類生石花屬。

A. 葉窗光導實驗:

透過生理結構與環境因子分析實驗，並分析其光導系統自製儀器分析數據，依照實驗需求以上述實驗歸類之窗口作為實驗樣本之主別探討研究其窗口進光量及其特性關係。

B. 脫皮機制實驗:

利用鹽分及水分探討生石花屬之脫皮方式並利用切片及針筒抽取樣本進行分析，將脫皮之過程以生長分布區域較不同之樣品，探討其關係及鹽類對水分之影響，研究其間由於發現脫皮機制可能。

C. 光線影響色素及擬態機制關係:

分析各種色素對植株葉窗之關係，用顯微鏡及光譜分析葉綠素，並對比實驗中的葉窗，利用T檢定虛無假設及關連性分析，探討整體光線影響與環境擬態的關係。

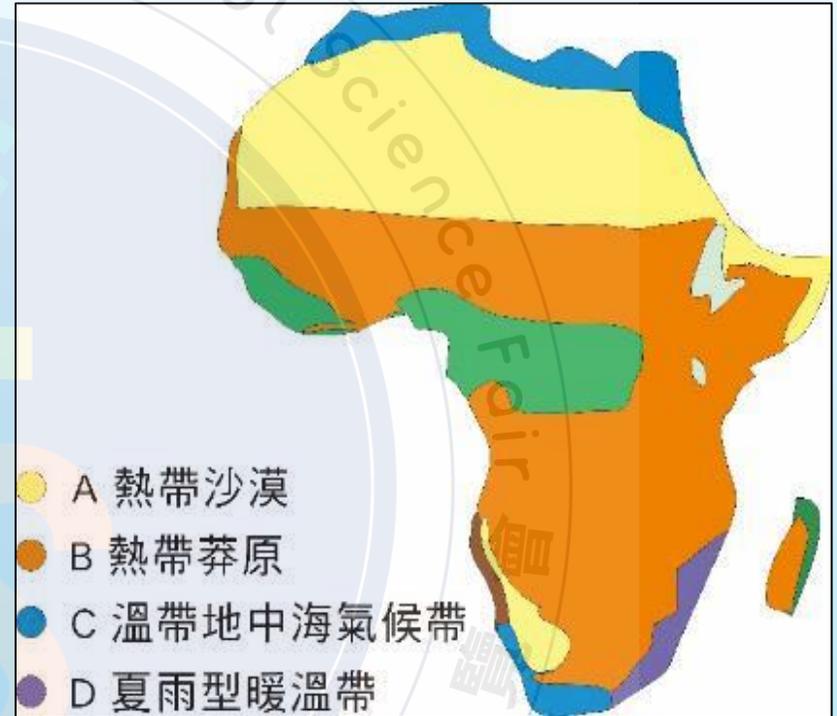
研究結果：

生理結構與環境因子分析:

1.生長環境分析:

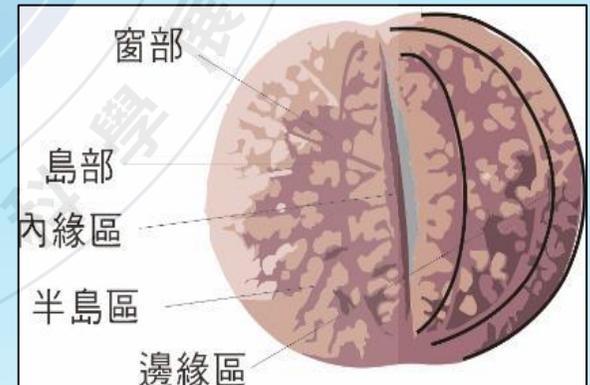
生石花大多生長於沙漠地區，據文獻得知，生長環境差異極大，實驗中由氣候性及地形性將分類分為四類地區作為分類，以下為分析表:

	雨季	雨量	氣候
A區	夏	東部地區小於250mm，西部地區小於125mm	熱帶沙漠
B區	夏	250~1000mm，東部地區雨量較容易大於500mm	熱帶莽原
C區	冬季	大於1000mm，但生石花生長地區小於150mm	地中海型
D區	夏及冬季	250~1000mm	夏雨型暖溫帶



2.葉窗形式分析:

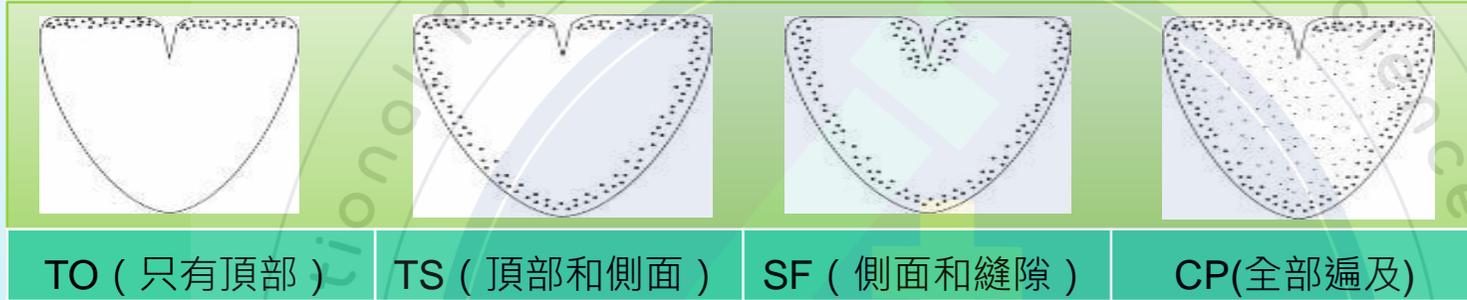
生石花葉窗的形式中類繁多，本研究整理所有葉窗形式後，將其歸類成五個種類，以下為分析表:(示意圖)



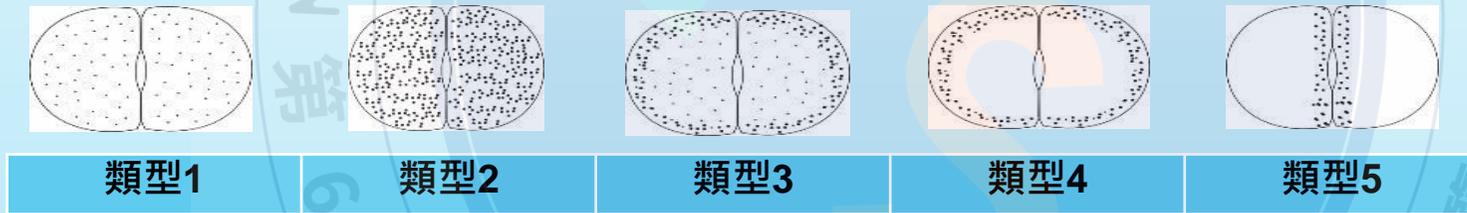
3.單寧點分析:

本研究延續Wallace的想法，將生石花重新劃分單寧點分布。

生石花單寧點縱向面分佈:



單寧點葉窗面分佈類型(本研究分類設計):



類型 1：單寧點在整個表面均勻分佈

類型 2：單寧點在整個表面均勻分佈（和類型1 類似），但密度較低

類型 3：分佈在外部邊緣（離軸面）和內部邊緣（近軸面），不分佈在中心窗面

類型 4：分佈在外部邊緣和內部邊緣（類似於類型3），在中心窗面也有稀疏分布

類型 5：僅分佈在內部邊緣（近軸面）



白弁玉



微紋玉



紫日輪玉

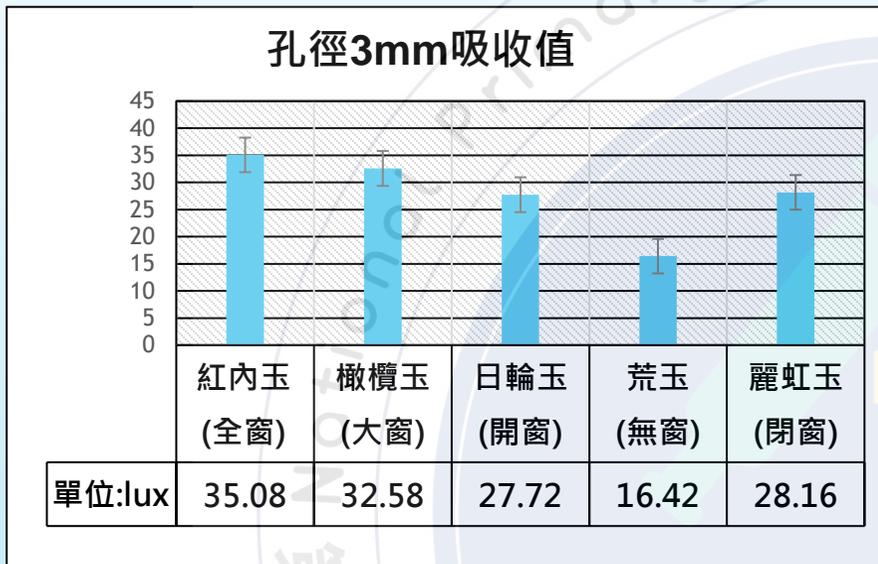


黃微紋玉

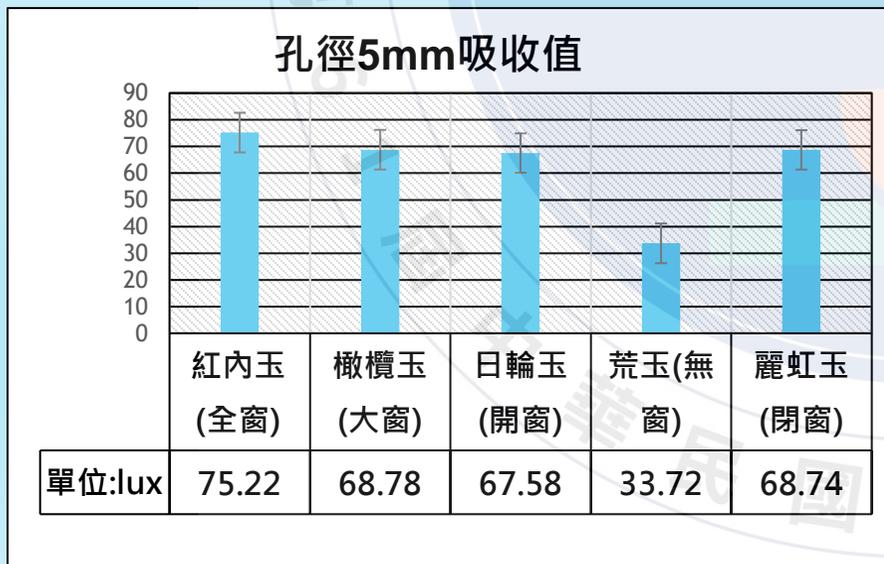
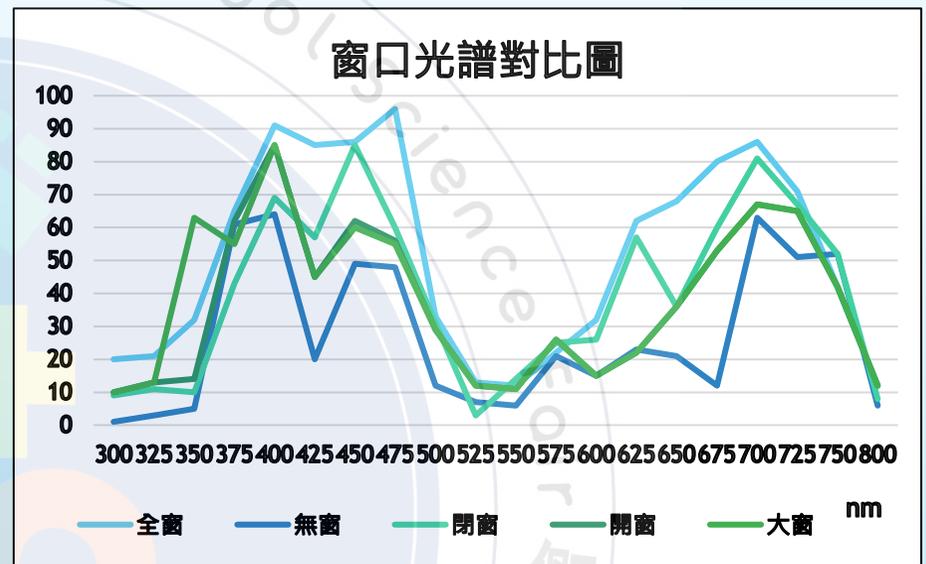
特殊生石花單寧點
葉窗面分佈照片

A.葉窗光導實驗:

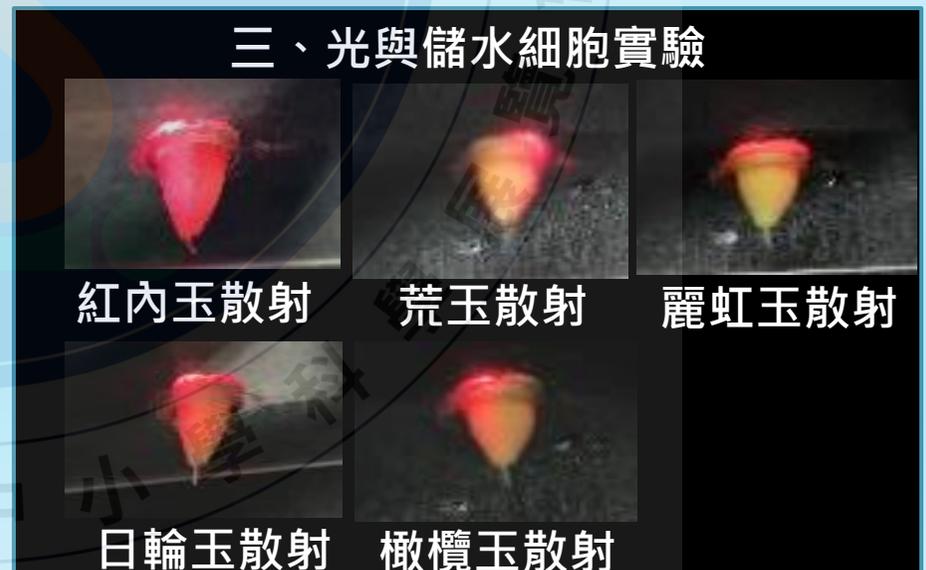
一、葉窗透光度分析實驗



二、葉窗多波段光譜吸收實驗



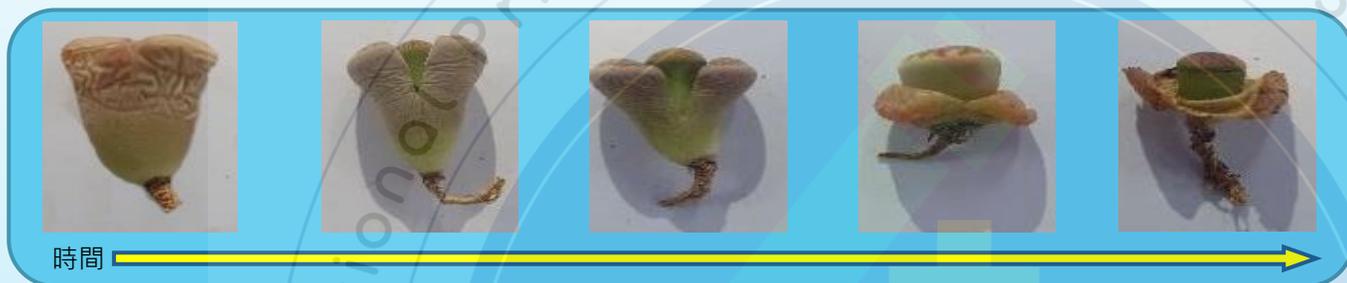
三、光與儲水細胞實驗



B. 脫皮機制實驗:

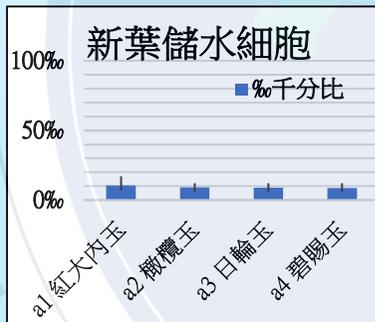
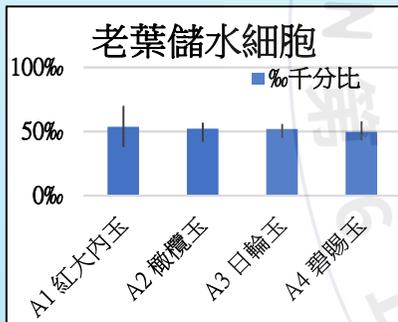
鹽類對蛻皮機制品種比較圖:

1. 儲水細胞變化:



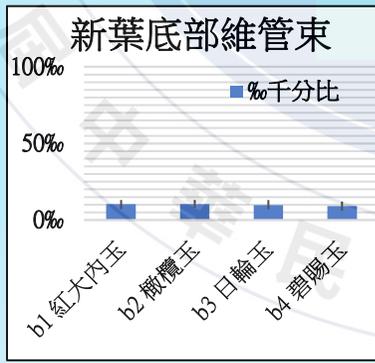
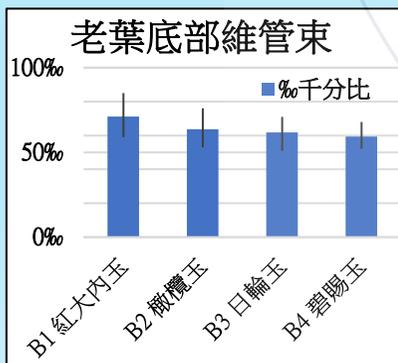
2. 鹽類對蛻皮機制之影響:

3. 老葉與新葉蛻皮關聯性:



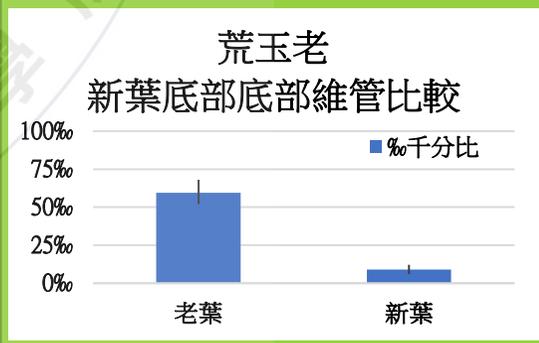
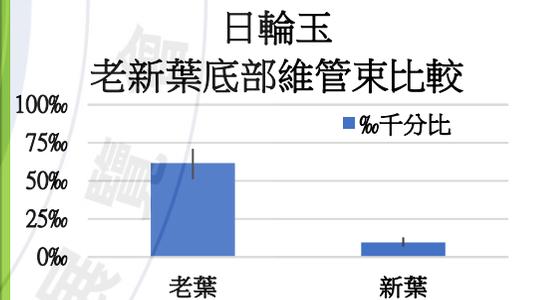
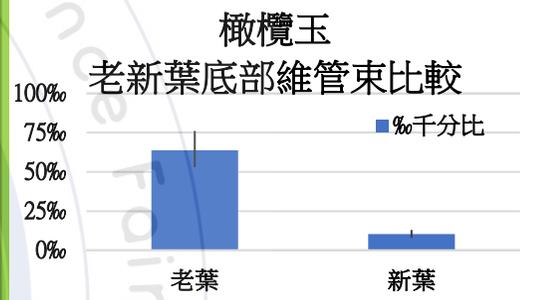
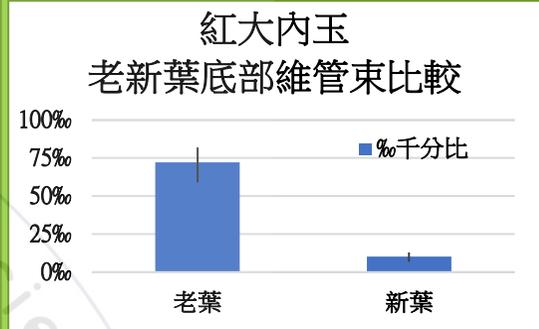
拖蠶式蛻皮

扒皮式蛻皮



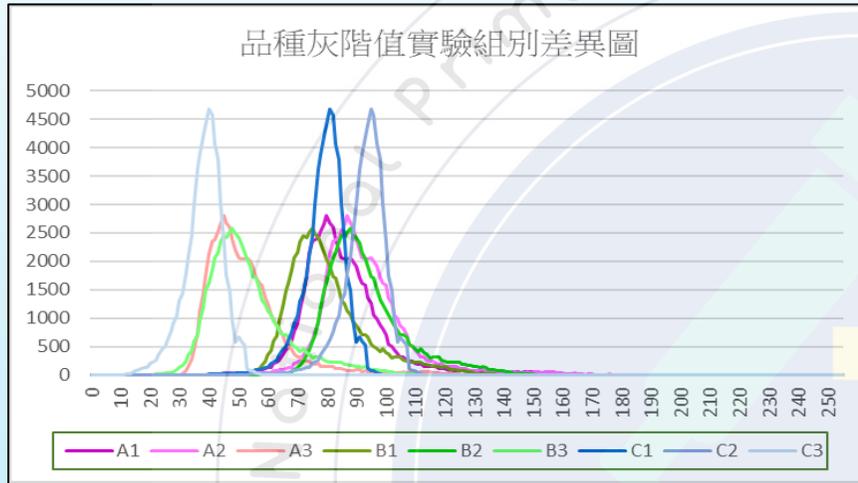
拖裙式蛻皮

脫帽式蛻皮

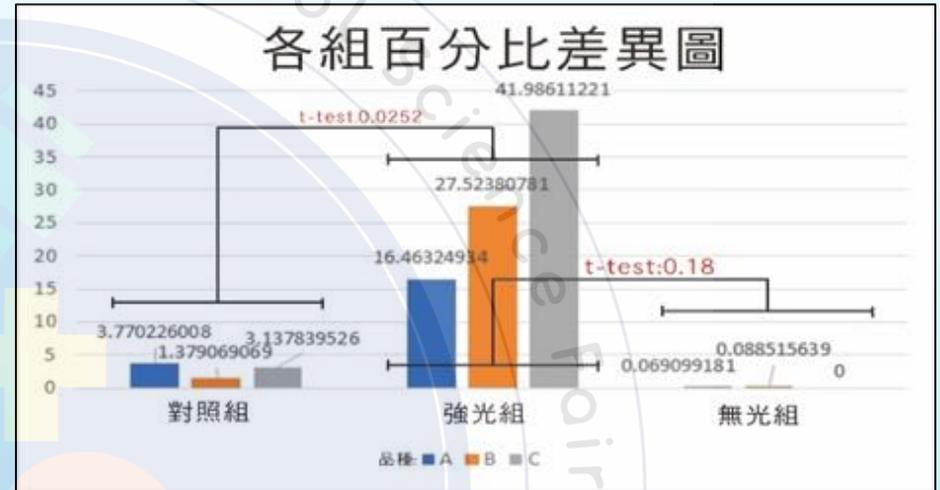


C. 擬態機制實驗:

1. 光線對生石花窗口顏色影響:

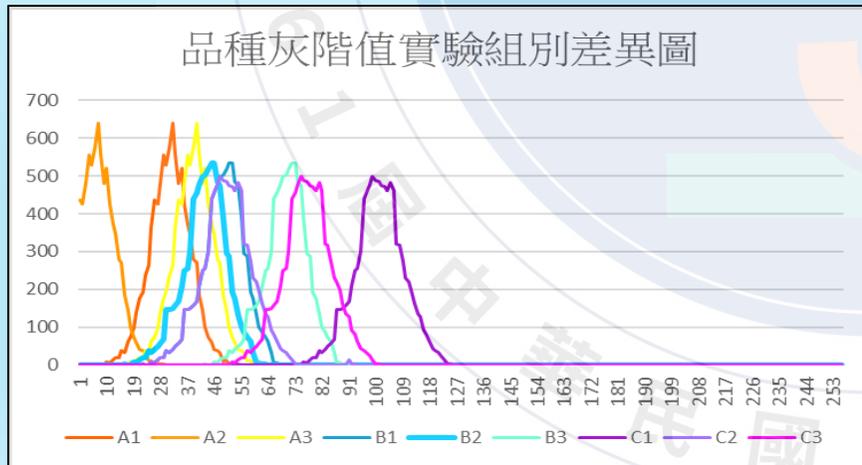


品種灰階值實驗組別對比圖

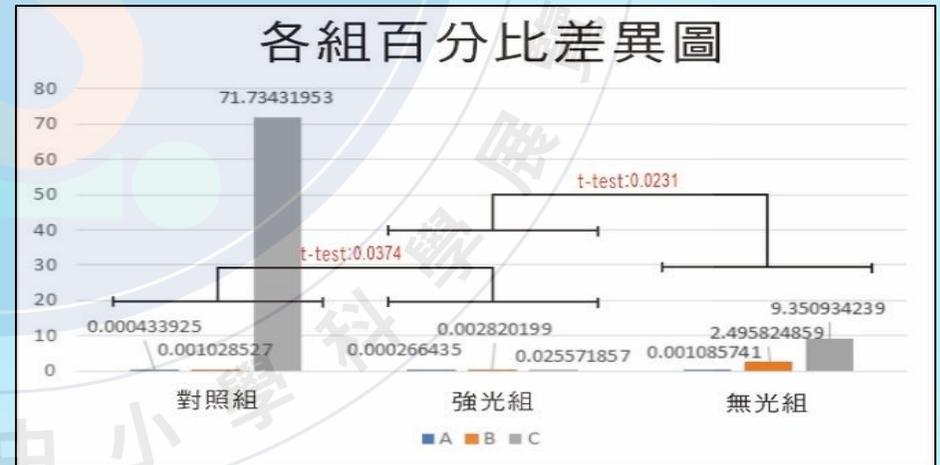


百分比對比圖

2. 單寧酸對光線及擬態機制實驗:

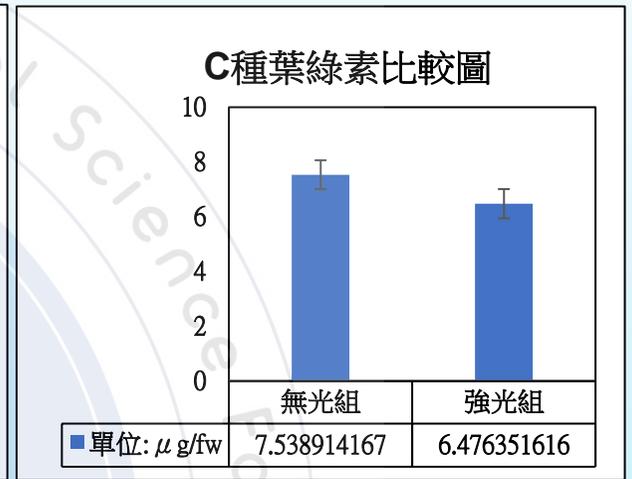
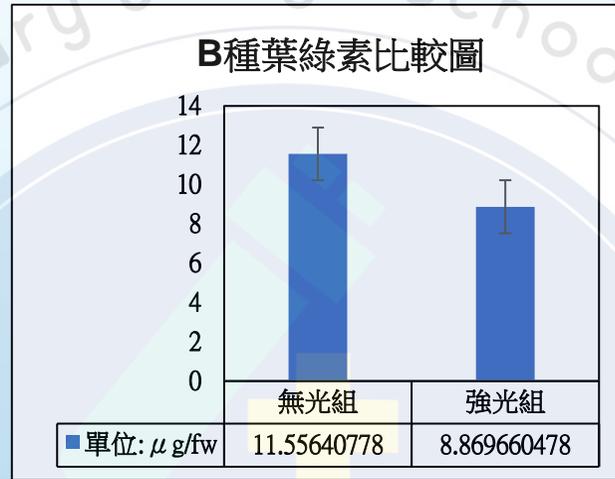
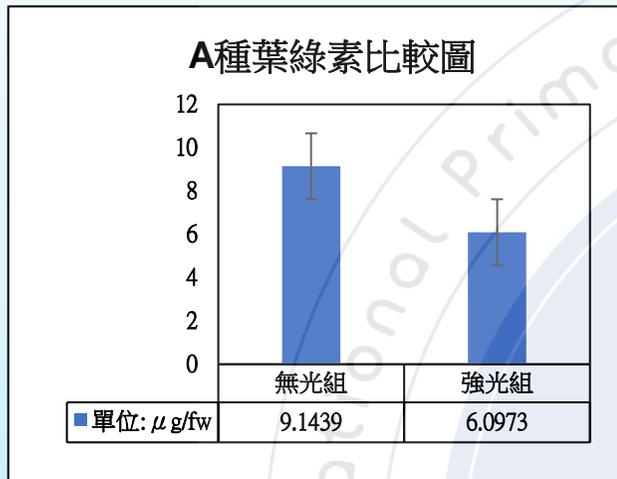


品種灰階值實驗組別差異圖

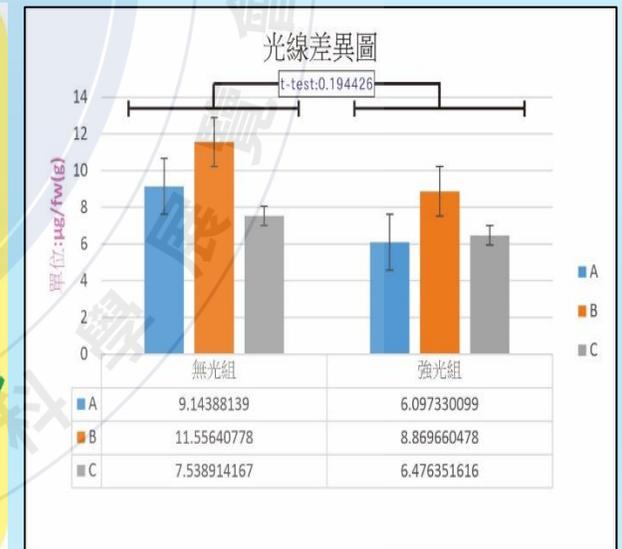


百分比差異值

3.光線影響有色體(chromoplast)及葉綠體(chloroplast)導致擬:



4.檢測[C2][C3]對擬態之效果:



研究結果解釋:

1.生理結構與環境因子分析:

本實驗將生石花使用單寧細胞及窗口分類，可推論出大多數生石花之生長特徵及生活氣候，特定實驗所需品種後，並可用於其他實驗分析。

2.葉窗光導實驗:

由實驗可知，葉窗形式影響生石花之進光量，由多至低分別為全窗、閉窗、開窗、大窗、無窗，儲水細胞之散射值及吸收光譜，也會因為花色素而有所不同。

3.光線影響色素及擬態機制關係:

本實驗著重於鹽類影響之蛻皮機制，當鹽類過高時會迫使老葉脫水並長出新葉，同時研究中發現特殊的蛻皮方式也可防止老葉腐壞時感染新葉，並騰出空間供新葉生長。

4.光線影響色素及擬態機制關係:

實驗原本認為由單寧酸所導致葉窗變色，探討光線、單寧酸、色素體及葉綠體、擬態之間關係分析，認定葉綠體為主因，其可應變生石花光線不足，也可使自身於掠食者視角下擬態。

結論:

本研究除紅外線感溫槍外，所有實驗設備皆為自行開發設計，且研究數據使用各項檢定證明後，才進行討論，以下為本實驗結論：

1. 單寧點用途

本研究發現單寧酸(Tannin)聚集於其特殊葉窗形成點狀分布(單寧點)，若突發強光，會導致單寧點擴散並融入葉窗表面，阻擋紫外線入侵。

2. 葉窗功能

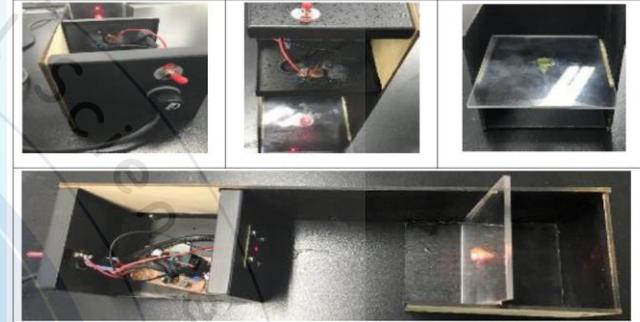
調控不同輻射波長的進光量，藉由儲水薄壁組織(water storage parenchyma)折射光線，導入葉綠體聚集。

3. 蛻皮機制

老葉在新葉成長過程，鹽類濃度變化，使其細胞完全脫水萎縮，將養分與水分提供給新葉，並騰出空間讓新葉成長，蛻皮時水分介入的時機，會改變蛻皮結果，甚至導致蛻皮失敗植株死亡。

4. 擬態行為

擬態主要為葉綠素受光產生量的變化，導致顏色深淺差異所致，而單寧酸顏色變化受UV照射強弱控制，只有昆蟲單眼感受度較強，其他掠食者受葉綠素變化影響較深。



自製儲水細胞觀測儀器



自製透光分析儀



自製光譜分析儀

未來展望:

1. **光導材料**：可利用生石花具導光及散色效應，開發光導材料。
2. **單寧體分辨耐熱品系**：可選擇適合台灣生長的生石花品系。
3. **開發健康食品**：生石花蘊含大量蘋果酸及微量元素。
4. **擬態功能**：可開發擬態隱形塗料。
5. **耐鹽鹼度作物開發**：利用生石花耐鹽度特性開發新作物。

參考資料:

1. 邢一帆 陳麗 張傑 宋婷婷(2021)。生石花離體培養與快繁研究，北京農學院植物科學技術學院北京農學院學報，67-71。
2. 毛春霞、張玉信、白海濤(2018)。影響多肉植物生長著色環境因素分析，雲南大理農林職業技術學院現代園藝期刊，30-31。
3. 兌寶峰(2018)。話說生石花，中國花卉園藝期刊，30-33。
4. 葉玉妍，梁海峰，楊禮香(2018)。番杏Actin基因片段的克隆及生物資訊學分析，(廣州大學生命科學學院生物資源期刊40(5)：405~41。
5. 鄧源、曹征宇、周亞輝(2019)。不同配比栽培基質對生石花屬植物生長的影響初探，上海農業科技，2019(4)：84 85。
6. Desmond T.Cole (1987).Lithops – Flowering Stone, Acorn books.