

中華民國第 60 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

佳作

052107

探討影響海洲骨碎補生長方向的環境因素

學校名稱：國立花蓮女子高級中學

作者： 高二 黃子玲 高二 林怡瑄	指導老師： 黃文琴
---------------------------------	------------------

關鍵詞：海洲骨碎補(*Davallia mariesii*)、向性、
根狀莖

摘要

植物向性的研究大多以種子植物為研究對象，探討蕨類向性的文獻相當少。本研究將探討海洲骨碎補根狀莖頂端（150 微米以內）是否有不對稱生長的現象，並討論生長方向與環境因子關係。利用根狀莖頂端的顯微切片及分析，發現頂端組織會因根側與背根側細胞大小不同而造成根狀莖頂端背離接觸物，而澱粉粒頂端區域及細胞內的分布與重力無關。但葉綠體在頂端組織有分布不均的現象；且根狀莖頂端會受藍光（波長 440 到 450 奈米）刺激而偏向藍光光源生長。綜合以上發現我們認為光是使其根狀莖頂端不對稱生長的原因。另外，植株在著生樹幹上並不因莖頂的偏離而大幅度彎曲生長，可能與莖頂的新生不定根的定錨作用有關，且莖頂會受水分所牽引。

壹、研究動機

一、研究動機

在高中選修生物課本中提到種子植物的莖具有背地性與向光性，然而我們在校園中無意發現有一種攀附植物的莖沒有固定生長方向，這令我們非常好奇，在比對圖鑑後了解此植物是一種蕨類名叫海洲骨碎補(*Davallia mariesii*)。骨碎補根狀莖的生長方向會感應何種環境因子，造成差異生長，這是我們想釐清的問題。



圖一、取樣面積為 47 cm * 31 cm 下海洲骨碎補根狀莖的生長方向。

二、研究背景

植物在受到外在環境刺激時，會引發生長素分布不均，使組織差異生長，而造成彎曲的現象，稱為向性，是不可逆的生長反應[2]。

而不同植物的部位會有不同的向性反應，例如植物的根會受重力的影響，引發生長素分布不均，使根產生向地性，莖產生背地性，還有一種是地下莖橫向生長的橫向性。植物生長與分化中提到植物受重力影響與平衡石有關，平衡石是由 1~8 個澱粉粒被膜包圍所組成，主要分布於內皮(endodermis)、皮層、維管束附近的細胞中。其機制是當改變物體擺放方式時，平衡石會沉降到細胞底部（平衡石的密度比細胞質大），產生壓力，促使內質網釋放鈣離子到細胞質中，鈣離子和 CaM 鈣調蛋白結合後，促使細胞膜鈣離子幫浦和 IAA 幫浦打開，造成 IAA 重新分布，使植物根或莖兩側組織的生長速率不均，進而造成彎曲[3]。

而植物向光性是植物的莖受光刺激而彎曲生長的生長反應。朝向有光的一面生長稱為正向光性，反之，則稱為負向光性。其機制是種子植物的莖頂有受體蛋白可以感受藍光，在達爾文的單子葉芽鞘實驗中，推論出植物的芽鞘照光後產生某種物質（後來證實是生長素），向下運送後，引起植物向光側與背光側生長速度不同，因而朝向光線彎曲生長，且經由科學家利用不同物種進行反覆確認後，證實出向光性是一種藍光反應[4]。

此外，植物還有向觸性與向溼性。向觸性是植物接觸物體或機械性刺激時，會產生差異生長的現象，許多攀緣植物都有此特性。其機制是接觸面的生長素濃度較低，細胞生長較慢，非接觸面生長素濃度較高，細胞生長較快，因此在攀附的物體上捲曲。而向溼性是土壤中水分分布不均時，植物的根會趨向較濕的地方生長的特性[2]。

由於上述資料討論的對象多為種子植物，關於蕨類等低等植物的討論相當少，對於蕨類向性的研究資料非常有限，且有人指出其不同科之間的差異性很大[13]，也有人指出平衡石對蕨類的影響並不明顯[6]。但在我們蒐集到的資料中並不能解決我們對骨碎補根狀莖生長方向與環境因子間是否有關的疑問，於是設計以下實驗，並針對海洲骨碎補是否有向性做深入的探討。

貳、研究目的

- 一、普查校園中海洲骨碎補攀附的樹種及其在校園中的位置。
- 二、觀察海洲骨碎補的根狀莖頂端組織及測量其生長方向。
- 三、探討海洲骨碎補的根狀莖頂端生長方向與重力的關係。
- 四、探討海洲骨碎補的根狀莖頂端與光線的關係。
- 五、探討海洲骨碎補的根狀莖莖頂生長方向與根狀莖頂端新生根根距的關係。
- 六、探討海洲骨碎補的根狀莖側芽伸長量與水分的關係。

參、研究設備與器材

- 一、實驗材料：海洲骨碎補(*Davallia mariesii*)。

海洲骨碎補又稱為台灣骨碎補、兔腳蕨、猴薑。屬於蕨目 (*Filicales*)骨碎補科 (*Davalliaceae*)骨碎補屬 (*Davallia*)。

本實驗的植物材料皆生長在校園中，剪取留下一片葉子的長度後，在實驗室馴化一星期，期間每天澆水，三天噴灑一次營養液（營養液為濃度 1 公克/1 公升的花寶二號水溶液），使用仍然存活的枝條，作為馴化後的實驗樣本。

表一、骨碎補各部位特徵。

			
1. 根狀莖。長條狀，匍匐生長於樹上，根狀莖表面有鱗片，鱗片基部大，中心褐色，頂端呈針狀。	2. 羽狀複葉。葉子為羽狀複葉，小羽片對生或互生，葉軸兩側 2~6 片。羽狀複葉。	3. 孢子囊。成杯狀，位於小羽片尖端。	4. 根。根細小，長在樹皮裂紋間。

二、實驗器材與藥品：

表二、實驗藥品。

固定液 FAA	乙醇	碘液	亞甲藍液
95%乙醇 50%		I ₂ 0.15%	亞甲藍粉 0.2%
福馬林 9.8%		KI 0.45%	蒸餾水 99.8%
醋酸 2%		蒸餾水 99.5%	
蒸餾水 39.2%			

表三、實驗器材。

顯微拍照系統 OLYMPUS CX33 、分析軟體 TCapture	影像分析軟體 ImageJ	機械式定時器	LED Vista MR16 燈泡 (紅光、遠紅光、藍 光)
10 公分、25 公分木條	5mm 方格紙	紙箱(42cm * 30cm)	黑色圖畫紙、黑布
OLYMPUS CX33 研究 型複式光學顯微鏡	紙箱方框(47 cm * 31 cm)	指南針	鐵絲

肆、研究過程與方法

一、普查校園中骨碎補攀附的樹種及其在校園中的位置。

調查校園中具有骨碎補攀爬的樹種，並在校園地圖上加以編號，以作將來實驗的來源。

二、觀察骨碎補的根狀莖頂端組織及測量其生長方向。

(一) 測量骨碎補的根狀莖頂端生長方向

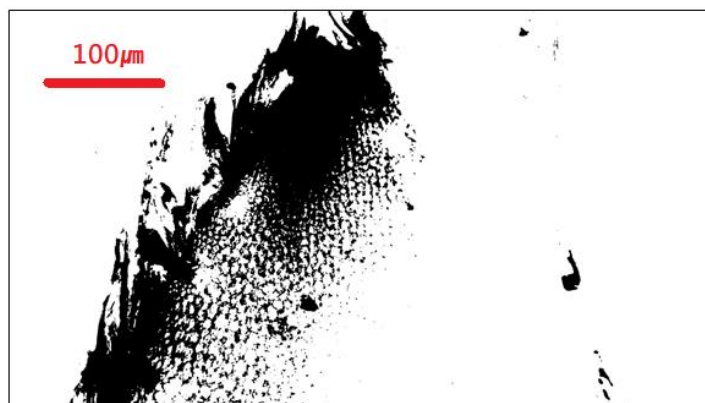
1. 在校園中選取各 10 個莖頂緊貼樹與莖頂不緊貼樹的枝條作為樣本。將莖頂緊貼樹的樣本定義為頂端接觸樹幹，莖頂不緊貼樹的樣本定義為頂端懸空 5 公分。
2. 將根狀莖莖頂縱切，在自製的角架上，維持固定距離拍攝樣本。
3. 使用 ImageJ 測量彎曲角度。如圖三，將量角器的 90 度（水平線）定為 0 度標準線，標準線以下為負值（向物彎曲），反之為正值（背物彎曲），以上的值我們稱為偏離角度。



圖二、根狀莖莖頂縱切示意圖。

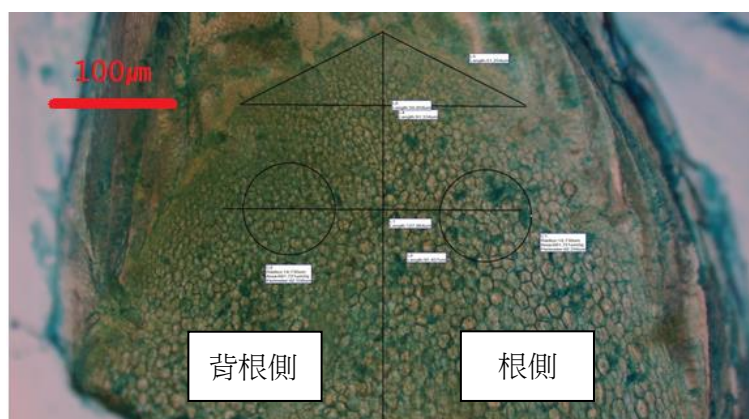
(二) 測量樣本背根側與根側的細胞大小與細胞數量。

1. 實驗樣本：在校園中取緊貼樹幹的骨碎補根狀莖作為實驗樣本。我們定義頂點為根狀莖最前端的一點，頂端為自頂點起 150 微米內的範圍。



圖三、在放大 40 倍下，將根狀莖頂端組織拍照後利用 Image J 分析圖。

2. 徒手切片製成玻片標本。
3. 置於放大 40 倍的視野下調至清晰，用顯微拍照系統 T capture 軟體拍照。
4. 利用 T capture 軟體測量距離頂端 150 微米的樣本為以下分析材料。如圖三。
5. 在距離根狀莖頂點 50 微米處的兩側（根側與背根側）與根狀莖頂點連線，形成三角形，分別在根側與背根側的三角形內取 10 個細胞，以影像分析軟體 ImageJ 測量其細胞大小，以確認頂端組織在初生時是否不均生長。
6. 以影像分析軟體 ImageJ 測量頂端根側與背根側三角形的斜邊長度，以確認頂端組織是否因細胞數量不均造成彎曲。
7. 在距離頂點 150 微米處取兩側面積相同範圍內的圓，此圓距離邊緣 25 微米，如圖五，以影像分析軟體 ImageJ 分析樣區細胞平均大小。
8. 分析根側與背根側 50 微米及 150 微米處的細胞數量與大小，以獨立樣本 T 檢定統計判定其是否具有差異。



圖四、取樣位置示意圖。在放大 40 倍的顯微圖中利用 ImageJ 畫出中軸後在距頂點 50 微米處畫三角形，接著在距離頂點 150 微米處取樣兩個固定面積的圓。

(三) 觀察根狀莖頂端背根側與根側的葉綠體分布。

1. 將緊貼於樹幹、前端 5 公分離開樹幹及完全懸空的根狀莖頂端縱切製成玻片標本。
2. 用顯微拍照系統 T capture 拍攝，觀察樣本頂端根側與背根側葉綠體分布的情況。

三、探討骨碎補的根狀莖頂端生長方向與重力的關係。

(一) 骨碎補的根狀莖頂端組織內澱粉粒的分布情形。

1. 實驗樣本：分別在校園中取朝上生長、朝下生長、朝左生長、朝右生長的骨碎補根狀莖，在離根狀莖頂點約 3 公分處剪斷，過程中維持其方向，迅速帶回實驗室。

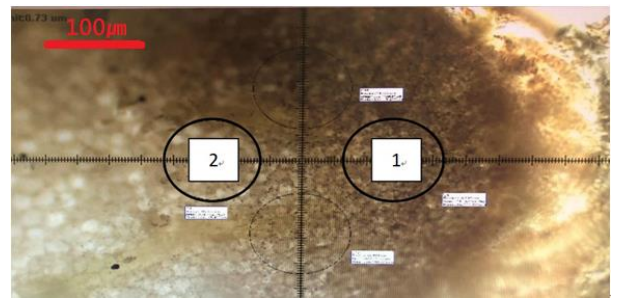
2. 將樣本用以下步驟製成玻片標本。

(1) 固定：將樣本固定於固定液 FAA 中，抽真空一小時後浸泡 48 小時。因極短時間便可改變澱粉粒的分布，因此全程都要維持根狀莖原本的生長方向。

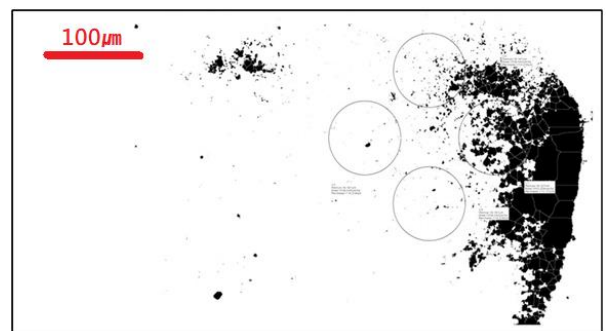
(2) 固定後用 75% 酒精將樣本洗淨，並以碘液染色後，清洗多餘染劑，製成玻片標本。

(3) 於複式光學顯微鏡 40X 下調至清晰，以顯微拍照軟體 T capture 拍攝，並標記兩個區域如圖五。

(4) 以 Image J 軟體分析面積相同的各區域澱粉粒數量，並在顯微鏡下觀察並紀錄。如圖六。



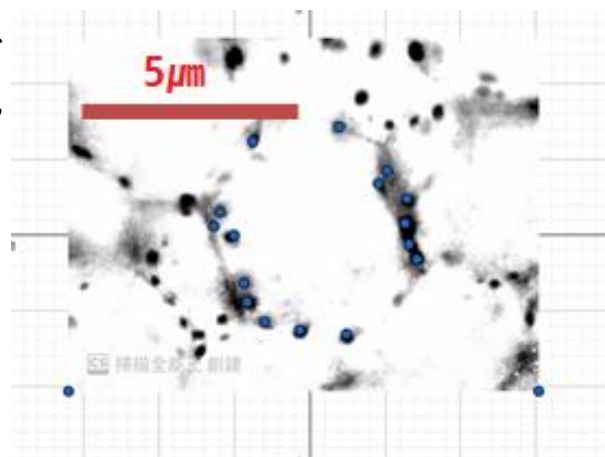
圖五、在顯微測量軟體下標記 2 個面積相同的區域並編號，使每個圓彼此距離固定，與根狀莖頂點的距離也固定，每個圓的直徑為 50 微米。



圖六、在 Image J 軟體設定固定閾值下各區域澱粉粒數量。

(二) 骨碎補的根狀莖頂端組織的細胞內澱粉粒的分布情形。

1. 實驗樣本：分別在校園中取朝上生長、朝下生長、朝右生長的骨碎補根狀莖，在離根狀莖頂點約 3 公分處剪斷。
2. 將樣本依照實驗三之(一)步驟製成玻片標本。
3. 置於放大 400 倍的視野下調至清晰，以顯微拍照系統 T capture 軟體拍攝。

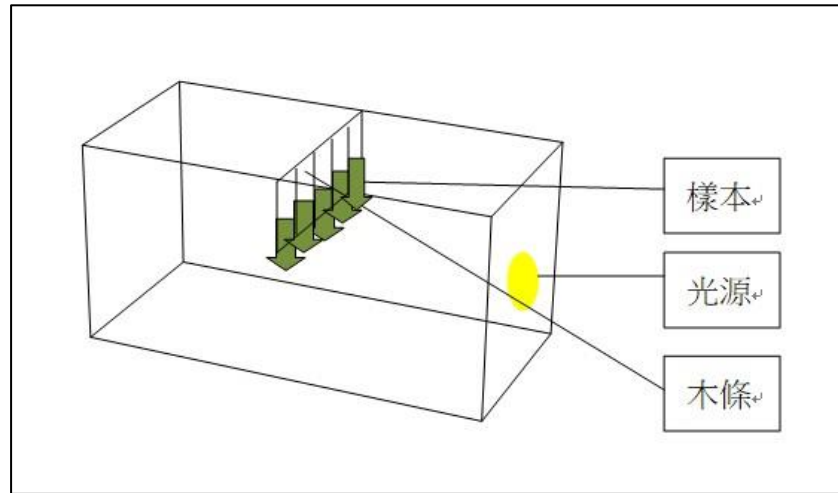


圖七、將顯微圖匯入 GeoGebra 中，點出澱粉粒的位置後繪製成澱粉粒於細胞內的相對位置圖。

4. 使用 GeoGebra 將細胞內澱粉粒的位置轉換在自訂座標中，如圖七，分析後繪製成澱粉粒於細胞內的相對位置圖。
5. 計算細胞內澱粉粒在四個象限的比例，經由成對樣本 T 檢定後確認四個象限之間是否有差異。

四、探討骨碎補的根狀莖頂端與光線的關係。

- (一) 將馴化後的樣本固定在 10 公分的木條上，根狀莖前端 5 公分不接觸木條，在木條上懸空 5 公分，根部包裹棉花保持濕潤。將樣本置於方格紙上，在自製的角架上，維持固定距離拍攝樣本，作為初始偏離角度的對照。
- (二) 利用長寬高相同的紙箱製作光源實驗箱 5 個，分別是白光、藍光 440~450nm、紅光 620~630nm、遠紅光 720~740nm 及暗箱，如圖八。將整組木條放入實驗箱中，以黑布以及黑色圖畫紙覆蓋，在適當處打洞讓葉片露出（使葉片行光合作用，維持正常能量供給）。以得知不同色光對骨碎補根狀莖生長方向的影響。



圖八、光線實驗裝置圖。

(三) 14 天後將樣本取出，放在方格紙上，並在自製的角架上，維持固定距離拍攝樣本。

(四) 以影像分析軟體 ImageJ 測量實驗前後長度有伸長的樣本的偏離角度。

五、探討骨碎補的根狀莖莖頂生長方向與根狀莖莖頂新生根根距的關係。

(一) 在校園中選取根狀莖莖頂緊貼樹幹（有接觸）以及不緊貼樹幹（懸空）各 10 個作為樣本，測量自頂點數起第一個根到頂點的距離。

(二) 將 20 個樣本置於實驗室中，每天照光並給予充足水分，10 株根狀莖莖頂接觸土壤如圖九，另外 10 株莖頂 5 公分懸空如圖十。

(三) 14 天後測量自頂點數起第一個根到頂點的距離。並將實驗數據以獨立樣本 T 檢定判定其是否具有差異。



圖九、實驗室中根狀莖接觸土壤培養 14 天之實驗裝置示意圖。



圖十、實驗室中根狀莖懸空 5 公分培養 14 天之實驗裝置示意圖。

六、探討骨碎補的根狀莖側芽伸長量與水分的關係。

- (一) 將馴化後的頂芽切除，確認該樣本長出側芽後，如圖十一。
- (二) 以游標尺測量每個側芽的長度。
- (三) 同一樣本一邊的側芽乾燥，另一邊的側芽吸取 2 毫升的水。每個側芽都用固定重量的棉花包裹。
- (四) 將樣本置於實驗室中，放置 21 天。
- (五) 用游標尺測量實驗後每個側芽的長度。
- (六) 將實驗數據以獨立樣本 T 檢定判定其是否具有差異。

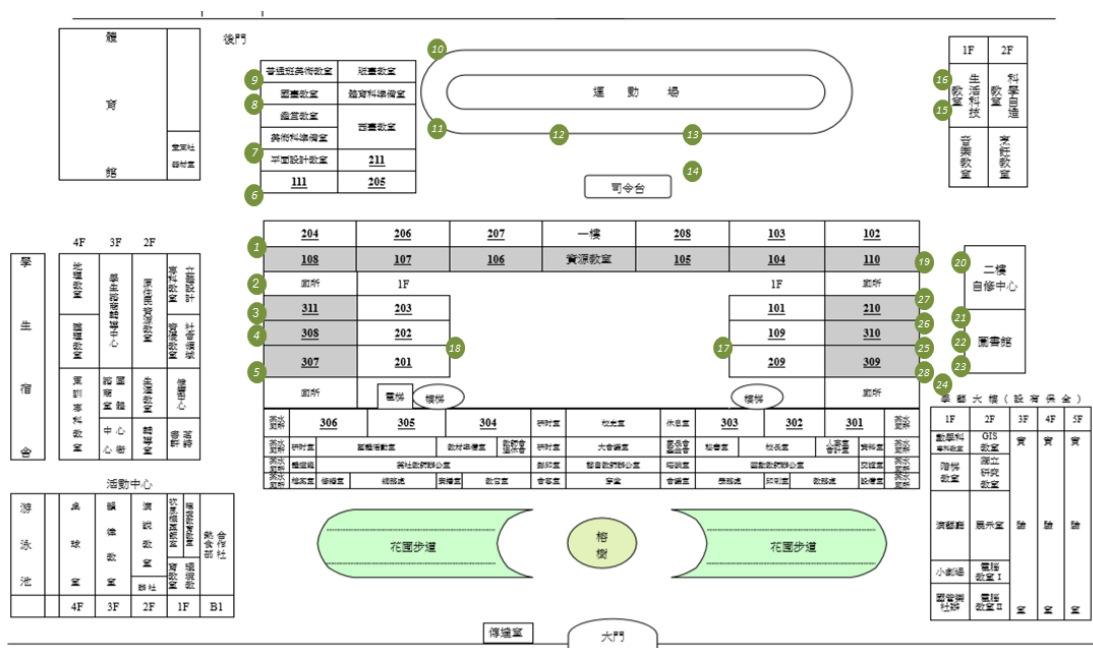


圖十一、根狀莖側芽伸長量與水分關係之樣本處理方法示意圖。

伍、 研究結果

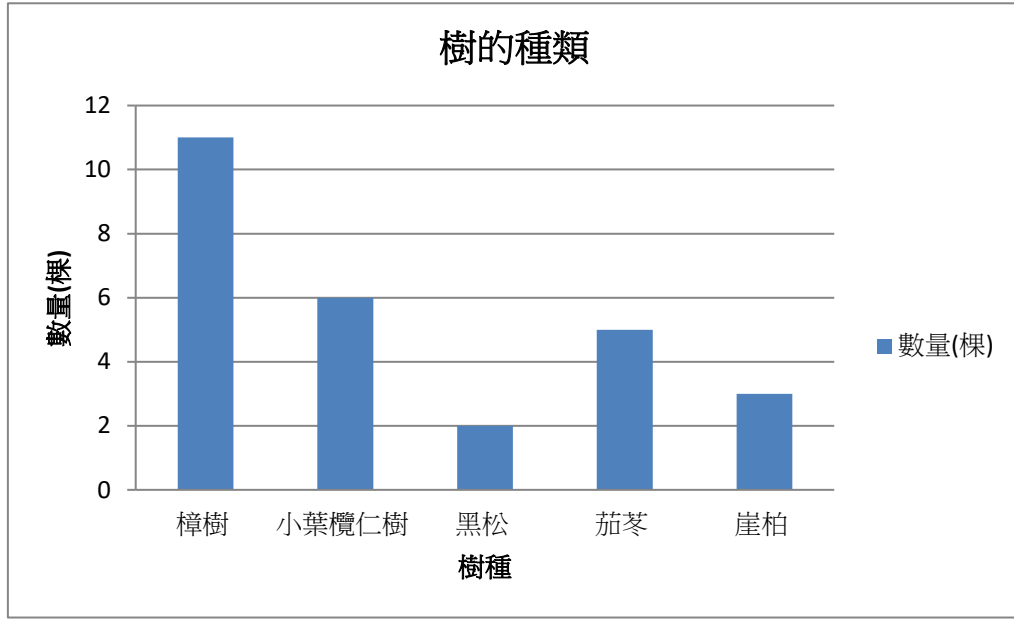
一、 普查校園中海洲骨碎補攀附的樹種及其在校園中的位置。

- (一) 校園中骨碎補的位置。圖中的編號為有骨碎補攀附的喬木，共有 24 個編號。



圖十二、校園中骨碎補分布圖。

(二) 校園中骨碎補所攀附的樹的種類。

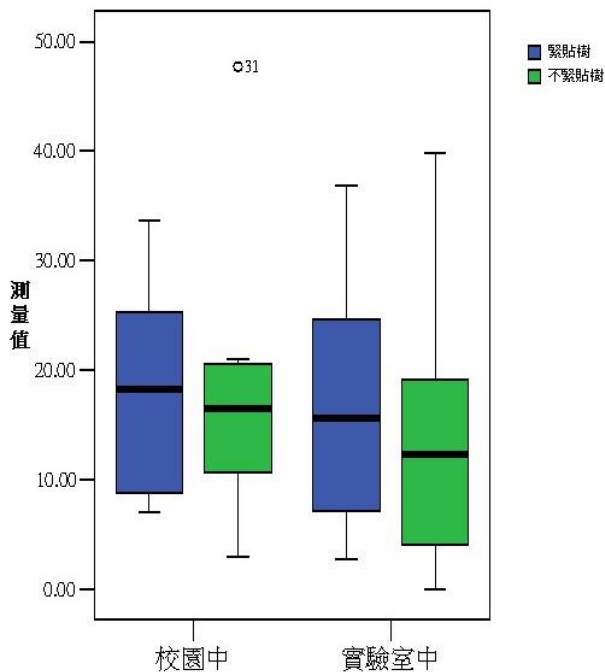


圖十三、校園中骨碎補所攀附的樹種。

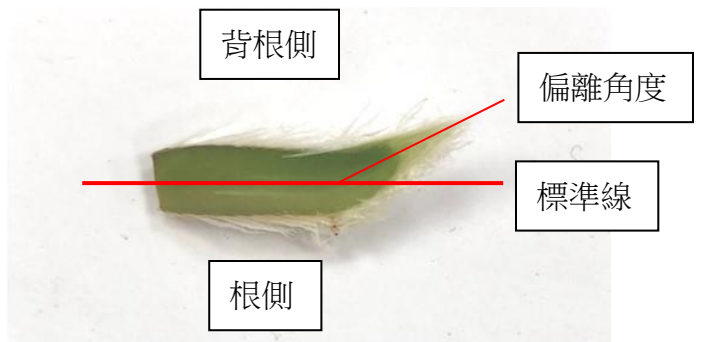
校園中骨碎補所攀附的樹的種類共有五種，分別是樟樹佔有 41 %、其次是小葉欖仁樹 22 %、茄苳 19 %、崖柏 11 %，黑松 7 %。

二、骨碎補的根狀莖頂端組織及測量其生長方向。

(一) 測量骨碎補的根狀莖頂端生長方向



圖十四、根狀莖頂端組織彎曲角度 (n=10)。



圖十五、本實驗的樣本分校園組緊貼樹幹與不緊貼樹幹兩組，和實驗室中緊貼接觸物及不緊貼接觸物兩組，共四組。標準線的定義是到樣本兩側等距的水平線。

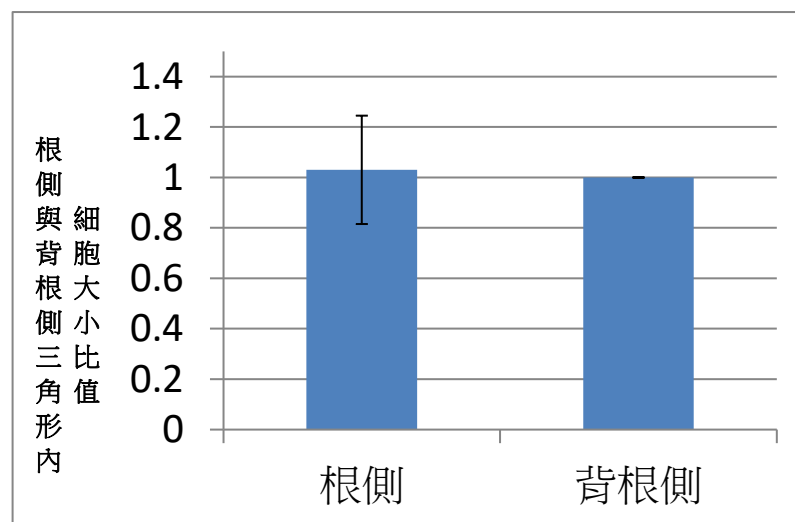
結果顯示樣本皆會偏離且多數樣本的偏離角度為正值，校園中緊貼的樣本角度在 8-26 度之間，不緊貼的樣本角度在 2-37 度之間，實驗室中緊貼的樣本在 3-20 度之間，不緊貼的樣本在 0-40 度之間。從縱切的型態來看，不管是在樹上的生長方向為朝上、朝下或橫向，其頂端都會往背根側偏斜。經由獨立樣本 T 檢定後發現緊貼接觸物與沒有緊貼接觸物的偏離角度並沒有顯著差異（校園中緊貼接觸物與不緊貼接觸物的 P 值=0.922 >0.05、實驗室中緊貼接觸物與不緊貼接觸物的 P 值=0.462 >0.05）。

（二）測量樣本背根側與根側的細胞大小與細胞數量。

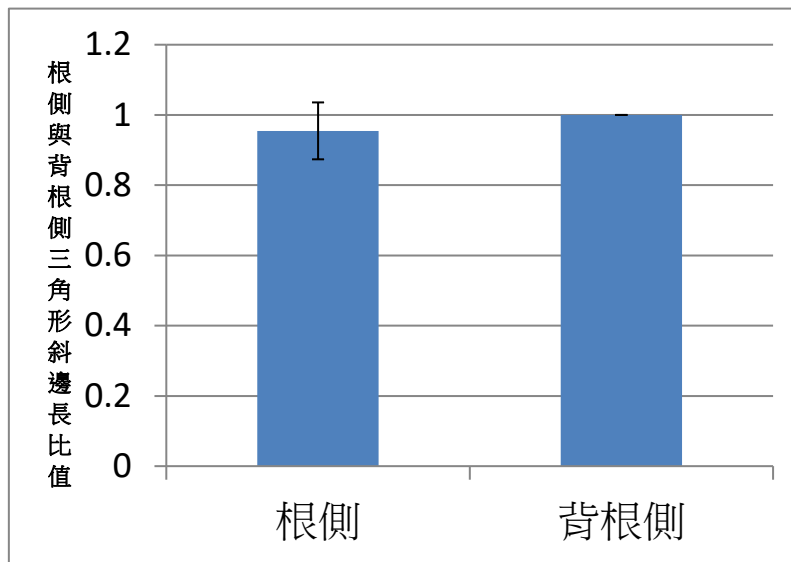
1. 距離根狀莖頂點 50 微米內測量背根側與根側的細胞大小與估計細胞數量。

如圖四，將骨碎補根狀莖徒手切片後，在放大 40 倍下拍照，利用 ImageJ 畫出中軸後在距頂點 50 微米處畫三角形，得到根側與背根側兩個三角形，測量三角形內的細胞平均大小與三角形的斜邊長，以了解 50 微米處是否有不對稱生長的現象。

分別在根側與背根側的三角形內取 10 個細胞，以影像分析軟體 ImageJ 測量其細胞直徑，經獨立樣本 T 檢定判定其是否具有差異，如圖十六。再以影像分析軟體 ImageJ 測量頂端三角形的斜邊長度。以背根側的斜邊長及平均細胞大小為 1，計算出根側與背根側的比值後，再將根側與背根側的斜邊長度及細胞平均面積以獨立樣本 T 檢定判定其是否具有差異，如圖十七。



圖十六、根狀莖頂背根側與根側三角形內相對細胞大小圖。將三角形內背根側細胞大小定為 1，計算出根側與背根側的比值後繪製成此圖（n=10），經由獨立樣本 T 檢定分析後，並無顯著差異（P 值=0.73 >0.05）。

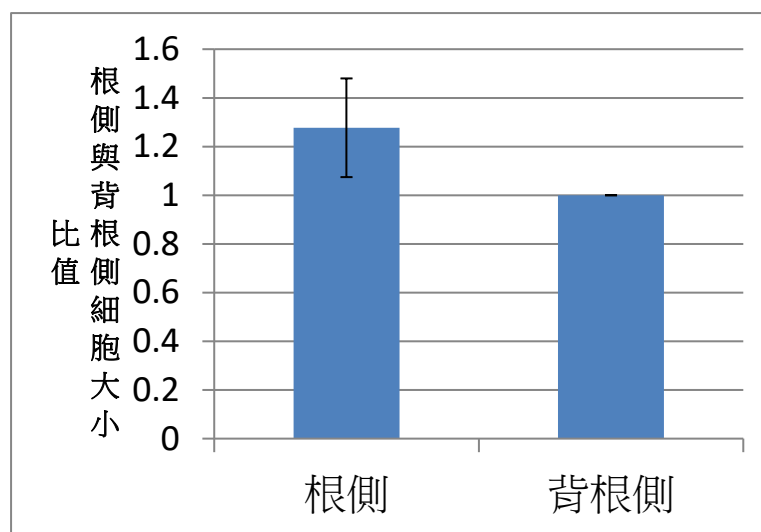


圖十七、根狀莖莖頂 50 微米內根側和背根側與頂點相對長度圖，圖中以背根側與頂端的距離為 1，計算出背根側與根側比值後繪製成此圖 (n=10)。

結果顯示，經由獨立樣本 T 檢定後發現在根側與背根側以 50 微米為高的三角形斜邊長並無顯著差異 (P 值=0.0939 > 0.05)，代表根狀莖頂端的細胞數量沒有差異。且測量過後的平均細胞面積大約為 62.5 微米平方。

2. 距離根狀莖頂點 150 微米內測量背根側與根側的細胞平均大小。

如圖四，在距離頂點 150 微米處取面積相同的圓，此圓距離邊緣 25 微米，以影像分析軟體 ImageJ 分析樣區的細胞數量，再以樣區面積除以細胞數量，得到細胞平均大小。

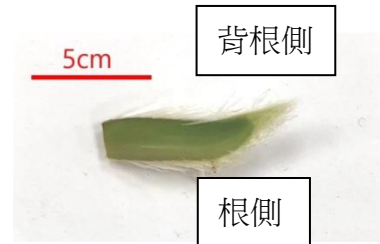


圖十八、距離根狀莖頂點 150 微米根側與背根側的相對大小圖，圖中以背根側細胞平均大小為 1，計算出背根側與根側比值後繪製成此圖 (n=10)。根側與背

根側的細胞平均大小經由獨立樣本 T 檢定後發現有顯著差異 (P 值=0.0002 <0.05)，且根側的細胞平均大小大於背根側。

(三) 觀察根狀莖頂端背根側與根側的葉綠體分布。

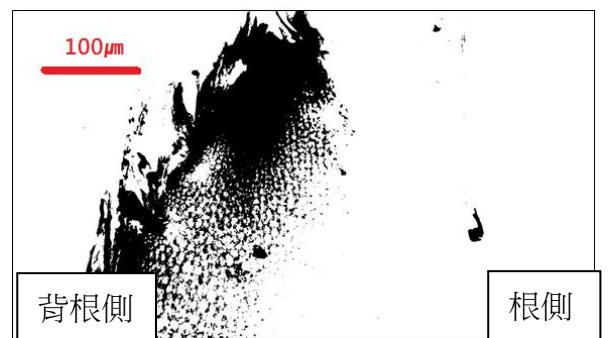
1. 將緊貼於樹幹的根狀莖頂端縱切製成玻片標本後，用顯微拍照軟體 T capture 拍攝，我們發現從圖二十可以看到，根側的組織為白色，背根側為綠色，放大 40 倍後可以知道組織為綠色的部分有許多葉綠體。



圖十九、緊貼樹幹的樣本巨觀圖。



圖二十、緊貼樹幹的樣本放大 40 倍下葉綠體的分布組織圖。

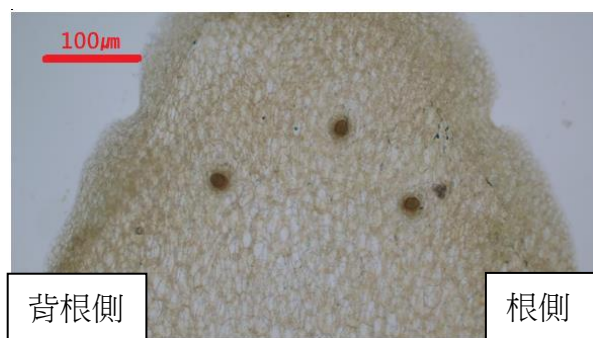


圖二十一、將每個樣本的組織圖在 ImageJ 的固定閾值下的葉綠體分布。

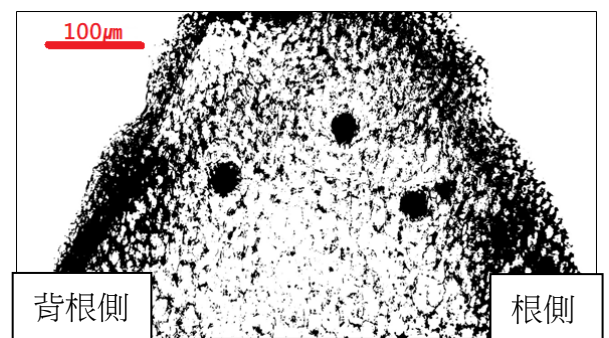
2. 將懸空樹幹 5 公分的根狀莖頂端縱切製成玻片標本後，用顯微拍照軟體 T capture 拍攝，我們發現從圖二十三可以看到，根側與背根側皆為綠色。



圖二十二、緊貼樹幹的樣本巨觀圖。

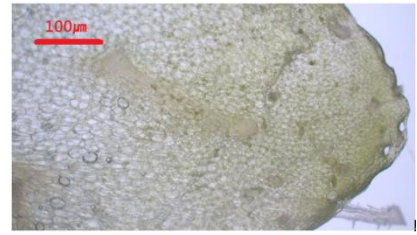


圖二十三、懸空的樣本放大 40 倍下葉綠體的分布組織圖。



圖二十四、將每個樣本的組織圖在 ImageJ 的固定閾值下的葉綠體分布。

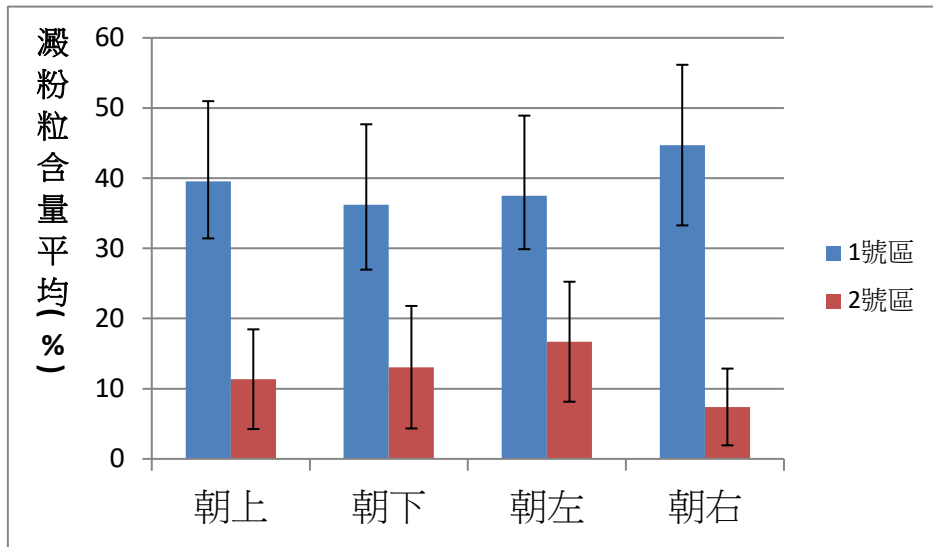
3. 將完全懸空的根狀莖頂端縱切製成玻片標本後，用顯微拍照軟體 T capture 拍攝，我們發現從圖二十五可以看到，葉綠體在根狀莖頂端均勻分布。



圖二十五、完全懸空的根狀莖頂端組織葉綠體分布圖。

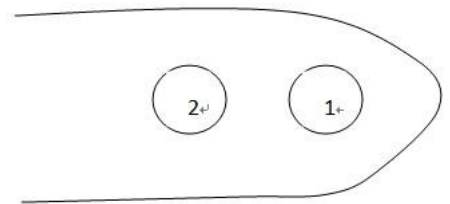
三、探討骨碎補的根狀莖頂端與重力的關係。

(一) 骨碎補的根狀莖頂端組織內澱粉粒的分布情形。



圖二十六、各方向生長的海洲骨碎補根狀莖頂端組織內 1 號區與 2 號區澱粉粒分布數量比較圖 (n=8)。

我們將根狀莖的頂端組織切片利用顯微測量軟體 Tcapture 定位 2 個區域。1 為距離尖端角質層 30 微米處，第 2 區與第 1 區邊界固定為 30 微米，以測量根狀

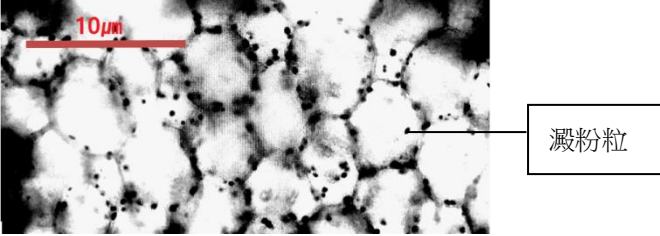
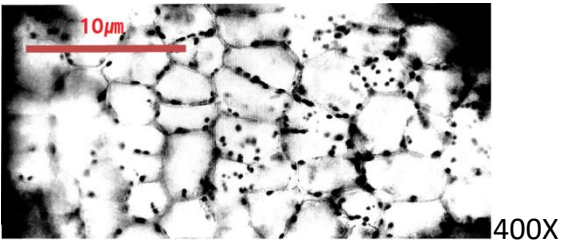
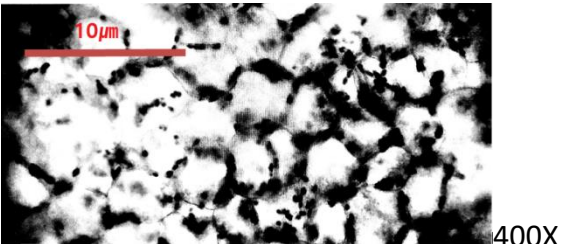


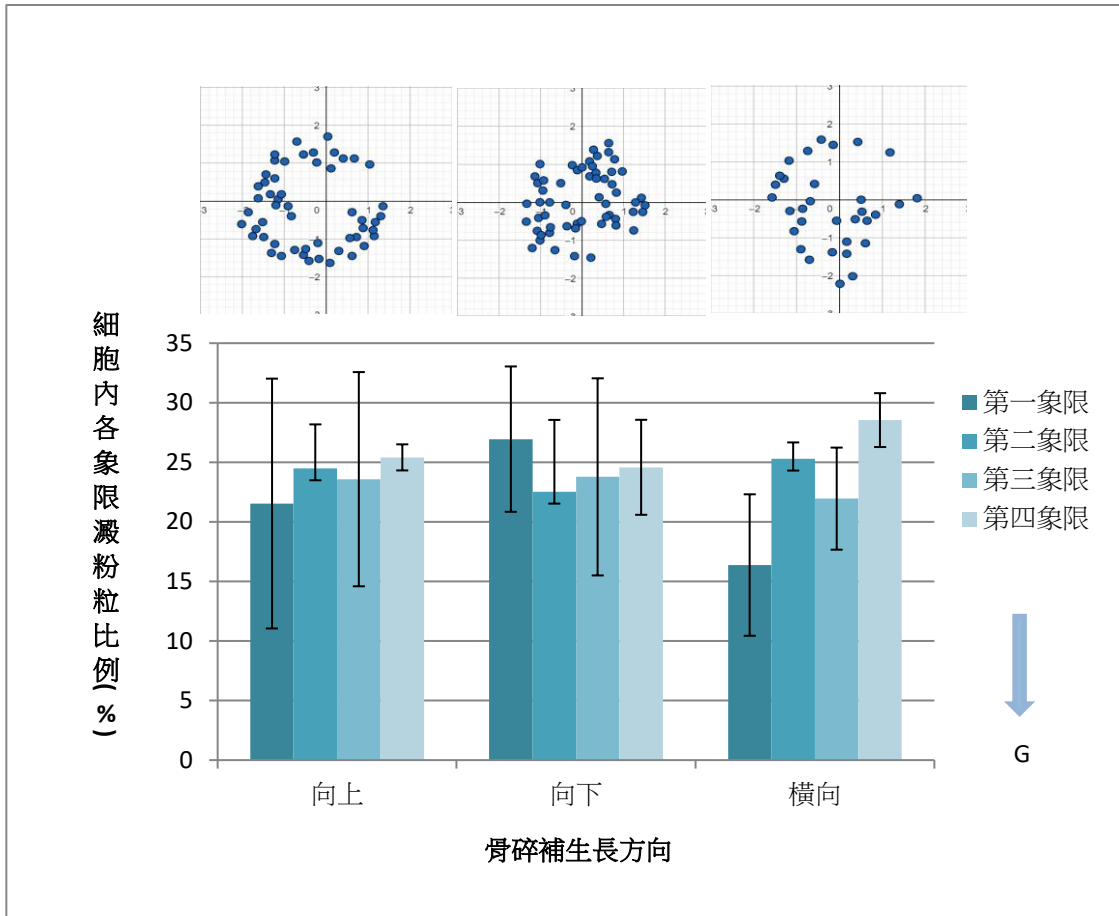
圖二十七、取樣區域示意圖。

莖頂端不同區域的澱粉粒分布，取樣區域如圖二十七。由圖二十六可以看到不管是哪個方向，1 號區的澱粉粒比例皆大於 2 號區，也就是澱粉粒分布在根狀莖最前端。(經由獨立樣本 T 檢定確認 1 號區與 2 號區的澱粉粒比例有顯著差異)。

(二) 骨碎補的根狀莖頂端組織的細胞內澱粉粒的分布情形。

表四、各方向骨碎補的根狀莖頂端切片圖。放大倍率為 400 倍。

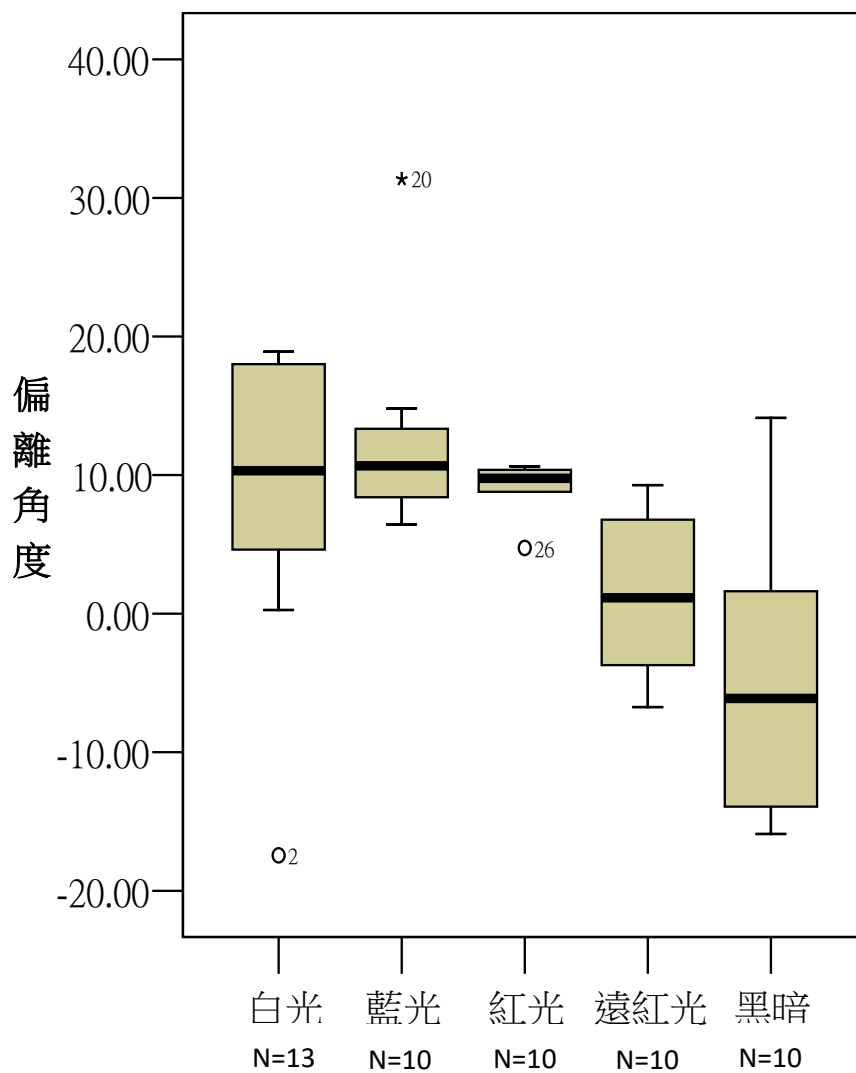
樹幹著生方向	放大 400 倍下澱粉粒分布情形
朝上	
朝下	
橫向	



圖二十七、根狀莖頂端組織的細胞內澱粉粒的分布情形 (n=3)。

我們將根狀莖的頂端組織切片利用影像分析軟體 **ImageJ** 調整至能清楚看見細胞邊緣與澱粉粒後 (閾值為 100)，使用 **GeoGebra** 將細胞內澱粉粒的位置轉換在自訂座標中，一個樣本隨機選取三個細胞，並計算四個象限內澱粉粒的比例。以獨立樣本 **T** 檢定分析第一第二象限與第三第四象限的數值，不管是向上、向下或橫向都無顯著差異 (向上 P 值=0.75、向下 P 值=0.89、橫向 P 值=0.1)。

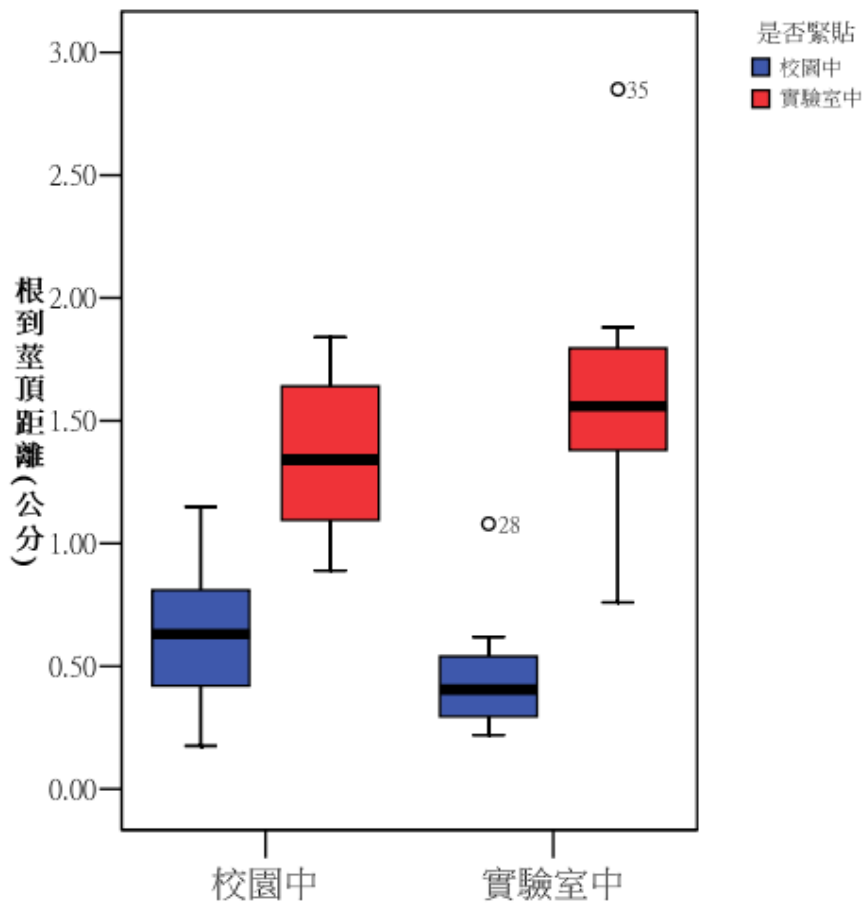
四、探討骨碎補的根狀莖頂端與光線的關係。



圖二十八、不同色光下骨碎補根狀莖頂端的偏離角度。對照組為黑暗。

實驗材料皆為骨碎補根狀莖的莖頂，將樣本置於白光、藍光、紅光、遠紅光以及黑暗的環境下 14 天，測量其偏離角度。白光環境下的偏離角度中位數為 10.31，藍光為 10.67，紅光為 9.41，遠紅光為 1.15，黑暗為-0.61。以中位數來看，根狀莖莖頂在白光、藍光及紅光下會明顯向光源彎曲，而對遠紅光較不敏感，在黑暗的環境下沒有光源的牽引，因此並沒有特別向光源彎曲的情形。

五、探討骨碎補的根狀莖頂生長方向與根距的關係。

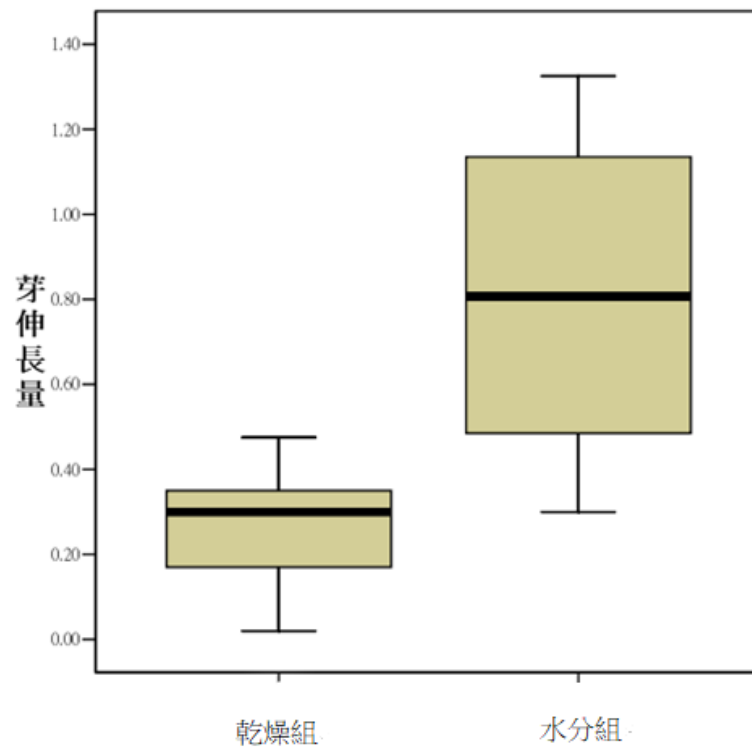


圖二十九、骨碎補根狀莖頂點與第一個新生根的距離圖 (n=10)。

實驗材料分為校園中自然攀附於樹幹上之緊貼與懸空樹幹 5 公分以上的根狀莖 (不緊貼)，及實驗室馴化後根狀莖緊貼土壤與莖頂懸空 5 公分以上的樣本，測量自頂點到第一個根的距離。

校園中緊貼樹幹的樣本第一新生根距的中位數為 0.605，懸空樹幹 5 公分的第一新生根距中位數為 1.108；實驗室中緊貼樹幹的樣本第一新生根距的中位數為 0.443，懸空樹幹 5 公分的第一新生根距中位數為 1.56。經由獨立樣本 T 檢定後發現，校園中與實驗室中的樣本，緊貼接觸物與沒有緊貼接觸物的根距有顯著差異 (校園中 P 值 < 0.01、實驗室中 P 值 < 0.01)。實驗結果顯示，不論是在校園中或實驗室都呈現緊貼接觸物的根距皆小於懸空的根距，第一個根到頂點的距離 (根距) 與根狀莖頂端是否緊貼接觸物有關。

六、探討骨碎補的根狀莖側芽伸長量與水分的關係。



圖三十、水分對根狀莖側芽伸長量的影響 (n=5)。

實驗樣本為去除頂芽後有 2 個以上側芽的根狀莖，分為水分組與乾燥組，放置 21 天後，用游標尺測量實驗後每個側芽的長度，得出伸長量。結果顯示，有給水的側芽伸長量中位數為 0.808，保持乾燥的側芽伸長量中位數為 0.3，有水的側芽伸長量大於乾燥。經由獨立樣本 T 檢定後發現伸長量具有顯著差異 (P 值=0.035 < 0.05)，因此有無水分會對根狀莖的伸長量造成影響。

陸、 討論

一、 普查校園中海洲骨碎補攀附的樹種及其在校園中的位置。

校園中海洲骨碎補所攀附的樹種共有五種，樟樹佔有 41 %、其次是小葉欖仁樹 22 %、茄苳 19 %、崖柏 11 %，黑松 7 %。顯示其普遍生長在校園中，並無特別偏好或需要特別的環境。而其根狀莖的生長方向不規則，如圖一，大部分會繞著樹徑生長，但也有離開樹幹懸空生長的植株。

至於我們所好奇的植物的生長運動，大部分在教科書上提及的都是作用於分生組織中，如向光性實驗中的燕麥芽鞘、向地性實驗中的根尖等，因此，我們所有的實驗都是使用海洲骨碎補的根狀莖莖頂作為實驗部位。

二、 觀察海洲骨碎補的根狀莖頂端組織及測量其生長方向。

在此實驗中，主要是想釐清海洲骨碎補根狀莖莖頂是否有彎曲生長的現象，於是我們觀察了校園中緊貼樹幹及懸空生長的根狀莖頂端，縱切後測量其偏離角度，我們發現不管在樹上的生長方向為向上、向下或橫向，其頂端都會往背根側偏離且偏離角度可達 40 度，如圖十四。

而在徒手切片後經由細部觀察得知，其頂端前 50 微米之內的根側及背根側的細胞平均面積及數量並無差別，見圖十七；但在 50 微米到 150 微米之間因為根側細胞相對背根側細胞變大而發生了不對稱生長的現象，見圖十八。至於，細胞大小的不同是否與生長素分布不平均有關，可以設計進一步實驗來證明。

另外，我們也發現海洲骨碎補根狀莖的根側組織為淺色，背根側為綠色，顯微觀察後得知其綠色部分是葉綠體含量較多所致，見圖二十。我們推測，這些細胞型態及根側葉綠體的缺乏與根側緊貼著生樹幹的光強度較弱有關，雖然有實驗指出蕨類在黑暗中可以合成葉綠素，但有更多實驗中都提及光線可以促使葉綠素合成^[15]。若這假設成立，則懸空的根狀莖應會看到較均勻分布的現象，我們在圖二十二、二十三的觀察中證明了此現象。

三、探討海洲骨碎補的根狀莖頂端生長方向與重力的關係。

向地性是植物的根會受重力的影響，引發生長素分布不均，造成差異生長的現象。植物生理學中提到，其機制是當根在重力場中改變方位時，由澱粉粒組成的平衡石會沉降到內質網上，產生壓力，植物可以藉此感知重力，經由鈣離子等次級傳訊者使細胞膜鈣離子通道和 IAA 幫浦打開，造成 IAA 重新分布，使植物根或莖兩側組織的生長速率不均，造成彎曲。因此澱粉粒在細胞內的位置會影響 IAA 的分布進而影響根的向地反應與莖的背地反應^[3]。

在 Michio Kawasaki, Saki Kanehira, Mohammad Nazrul Islam.(2014).的研究中指出，將山藥塊莖擺放成 90 度及 180 度時，澱粉體會沉降在細胞底部，使塊莖向地生長。若將塊莖每天轉向 90 度，持續 14 天後，細胞內的澱粉粒的分布不再位於細胞底部，塊莖因此長出多個方向的莖頂。

而我們在校園中觀察到骨碎補的根狀莖會攀附在喬木上，向各個方向生長，如圖一，並沒有發現其生長方向重力的關係。進一步分別取向上、向下以及橫向的根狀莖莖頂縱切，由圖二十六可以看到三種方向的海洲骨碎補的澱粉粒皆集中在頂端處，由圖二十七得知細胞下半部也就是我們定義的第三與第四象限的澱粉粒比例並沒有比較高，也就是說細胞內的澱粉粒並無沉降在細胞底部，綜合以上三個原因，我們認為海洲骨碎補莖頂細胞對重力並不敏感，其生長方向應有其他因素影響。

四、探討海洲骨碎補的根狀莖頂端與光線的關係。

植物朝向有光的一面生長稱為正向光性，反之，則稱為負向光性，在正常環境中只要光子的通亮率不均就會發生向光反應。其機制是種子植物的莖頂有受體蛋白，可以感受藍光，使生長素往陰側（背光側）移動，引起植物向光側與背光側差異生長^[7]。

由於我們在實驗二中推測光線是使根狀莖頂端彎曲生長的因素，所以我們進一步想探討不同色光對莖頂的影響。我們的結果以中位數來看在白光、藍光與紅光的環境下偏離角度都很大，遠紅光偏離角度最小，而在黑暗的環境下，由於沒有光源的導引，根狀莖莖頂的彎曲角度沒有規律且範圍很大，如圖二十八。

許多資料中提及藍光可以誘導向光性的發生，且生長點和莖都可能是感受部位，與

我們的結果相符^[4]。

雖然紅光下的偏離角度以中位數來看會大於遠紅光，但經由 T 檢定後發現沒有顯著差異，我們推測在野外時根狀莖會受固定比例的紅光及遠紅光影響，而我們是以單一色光照射，並不是最適條件，何種比例的紅光與遠紅光會對根狀莖影響最大還值得進一步釐清。

而有些蕨類擁有雜合的紅光/藍光光受體，例如鐵線蕨(*Adiantum capillus-veneris*) 的新色素 (neochrome)，可以調節藍光紅光及遠紅光。我們的結果顯示，骨碎補的根狀莖對藍光紅光遠紅光都有反應，骨碎補是否也有此受體值得進一步探討^[7]。

另外，根據 Maarten J. M. Christenhusz and Mark W. Chase.(2014).的文獻指出，在遮陰的環境下，紅光及藍光會被上層的樹葉吸收，而遠紅光及綠光可以穿透到下層，因此在陰影下生長的植物，雖然被相同強度的光照射，但是紅光與遠紅光的比值降低，所以，下胚軸會比在正常光照下的植物來得長，此現象稱為遮陰迴避(shade avoidance)。而海洲骨碎補著生於樹幹上，環境中的光源是否也受遮蔽效應所影響，我們的數據是否因樣本數太少產生偏差，這是我們進一步想釐清的。

五、探討海洲骨碎補的根狀莖莖頂生長方向與根狀莖莖頂新生根根距的關係。

由於在校園中有觀察到大部分的海洲骨碎補根狀莖會緊貼在樹幹上，但實驗一結果顯示其根狀莖的莖頂有向背根側彎曲生長的現象，那為何在樹幹上整體的根狀莖並沒有往頂端方向偏斜呢？我們認為與根狀莖頂點和第一個新生根距離有關。由實驗五的圖二十九得知不管是在校園中或實驗室中根狀莖懸空生長的第一個新生根與根狀莖頂點的距離都會大於緊貼接觸物的根距。且緊貼接觸物的根距在 1.15 公分內就會長出，且在實驗室的觀察中，新生根的位置都發生在與土壤的摩擦點上，因此，我們推測緊貼樹幹上的根狀莖頂端分生組織在產生新細胞後會因光線而偏離著生樹幹的平面，但隨後近距離的第一新生根具有定錨的效果。而懸空根狀莖的第一新生根根距較長的的機制和原因須進一步的探討。

六、探討海洲骨碎補的根狀莖頂端伸長量與水分的關係。

水分是植物的重要資源，骨碎補若沒有頂芽時，頂芽優勢消失，側芽會有生長的優勢，而哪一個側芽的生長速度最快，甚至可能取代原本的頂芽，取決於該側芽的環境周圍是否有足夠的水分。由圖三十可以知道，骨碎補的側芽會因水分不均會影響其平均伸長量。

柒、結論

- 一、海洲骨碎補根狀莖頂端（150 微米處）因細胞大小不同而造成根狀莖頂端有偏離其著生物表面的現象。
- 二、背根側照光會促進葉綠素的形成，影響根側與背根側的葉綠體含量。
- 三、骨碎補根狀莖頂端偏離著生物表面的現象與澱粉粒無關。根狀莖頂端偏離著生物表面的現象跟光線有關。
- 四、根狀莖莖頂偏離其著生物表面的現象與第一新生根的距離有關，第一新生根有定錨的效果，對根狀莖莖頂的偏離角度產生限制。
- 五、環境中水分的分布會影響根狀莖的伸長量，根狀莖會傾向往較多水資源的地方生長。

捌、未來展望

1. 細胞大小的不同是否與生長素分布不平均有關，可以設計進一步實驗來證明。
2. 骨碎補著生於樹幹上，環境中的光源是否也受遮蔽效應所影響，以及釐清我們的數據是否因測量方法產生偏差。
3. 骨碎補是否有新色素可以調節藍光紅光及遠紅光。
4. 探討懸空根狀莖的第一新生根根距較長的的機制和原因。

玖、參考資料及其他

1. 鄭武燦 (2000)。台灣植物圖鑑上冊 (頁 124)。國立編譯館。
2. 施河、黃啟穎。植物的生殖與生長。高中選修生物課上冊(第 3 章)。南一書局。
3. 高景輝(1991)。植物的向性。植物生長與分化 (第 12 章)。茂昌圖書有限公司。
4. 易希道、許志超、李春序、謝萬權、宋世謹、周惠慈(1980)。向性及感性運動:於空間上安置植物的定位。普通植物學，初版 (第 23 章)。環球書社。
5. 陳暉凱(2006)。台灣稀有水生植物蓴菜生長型態構造觀察及成分分析研究。取自 <https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=98&a=6822&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=5&sid=3027>
6. 葉綠舒(民 108)。種子植物專屬反應:迅速向下扎根。取自 <https://case.ntu.edu.tw/blog/?p=34385>
7. 潘瑞熾。植物的生長生理(2012)。植物生理學，初版 (第 10 章)。藝軒出版有限公司。
8. 林金和(2008)。石蠟包埋切片法。生物顯微技術(24-28)。
9. S. P. Maslova and T. K. Golovko.(2016).Tropisms of Underground Shoots—Stolons and Rhizomes. *Biology Bulletin Reviews*, 2018, Vol. 8, No. 3, 181–192.
10. Ester Sztein A, Cohen JD, de la Fuente IG, TJ.(1999).Auxin Metabolism in Mosses and Liverworts. *American Journal of Botany*, 86(11) , 1544–1555.
11. Yilun ma, taylor a. Steeves.(1992).Auxin Effects on Vascular Differentiation in Ostrich Fern.
12. A. Ester Sztein, Jerry D Cohen, Ines Garcia de la Fuente, Todd Joseph Cooke.(1999). Auxin metabolism in mosses and liverworts. *Annals of Botany* ,70 , 277-282.
13. Nobuyuki Takahashi, Yutaka Yamazaki, Akie Kobayashi, Atsushi Higashitani, Hideyuki Takahashi. (2003). Hydrotropism Interacts with Gravitropism by Degrading Amyloplasts in Seedling Roots of Arabidopsis and Radish.*Plant Physiology*.2003 Jun.132(2) , 805-810.
14. Maarten J. M. Christenhusz and Mark W. Chase.(2014). Trends and concepts in fern classification. *Annals of Botany*,113(4),571–594.
15. Michio Kawasaki, Saki Kanehira, Mohammad Nazrul Islam.(2014). Effects of the Direction of Gravistimulation on Tuber Formation and Amyloplast Distribution in Tuber Tips of Chinese Yam. *Plant Production Science*,4, 298-304.
16. 楊棋明、楊佳豪、蔡慧美 (民 85 年 5 月)。談葉綠素的合成。科學月刊，317。取自 <http://resource.blsh.tp.edu.tw/science-i/content/1996/00050317/0006.htm>

【評語】 052107

1. 研究主題清楚，且聚焦。
2. 設計周全，控因及變因清楚，適當完整。
3. 本研究的實驗方式簡易，主要為單純之顯微切片觀察與性狀分析，結論說明仍待探討驗證。

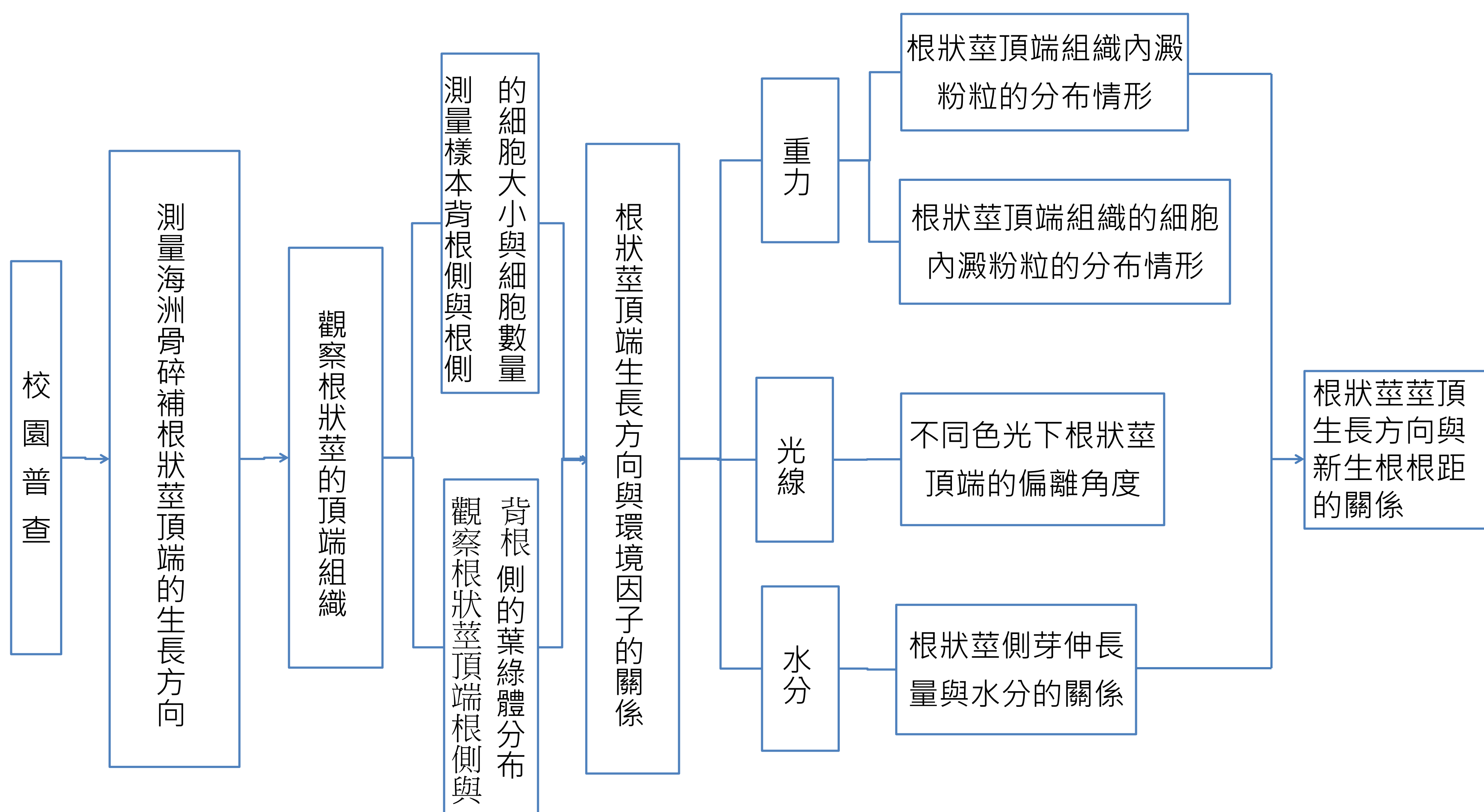
摘要

植物向性的研究大多以種子植物為研究對象，探討蕨類向性的文獻相當少。本研究將探討海洲骨碎補根狀莖頂端（150微米以內）是否有不對稱生長的現象，並討論生長方向與環境因子關係。利用根狀莖頂端的顯微切片及分析，發現頂端組織會因根側與背根側細胞大小不同而造成根狀莖頂端背離接觸物，而澱粉粒頂端區域及細胞內的分布與重力無關。但葉綠體在頂端組織有分布不均的現象；且根狀莖頂端會受藍光（波長440到450奈米）刺激而偏向藍光光源生長。綜合以上發現我們認為光是使其根狀莖頂端不對稱生長的原因。另外，植株在著生樹幹上並不因莖頂的偏離而大幅度彎曲生長，可能與莖頂的新生不定根的定錨作用有關，且莖頂會受水分所牽引。

研究動機

在高中選修生物課本中提到種子植物的莖具有背地性與向光性，然而我們在校園中無意發現有一種攀附植物的莖沒有固定生長方向，這令我們非常好奇，比對圖鑑後了解此植物是一種蕨類名叫海洲骨碎補(*Davallia mariesii*)。骨碎補根狀莖的生長方向會感應何種環境因子，造成差異生長，這是我們想釐清的問題。

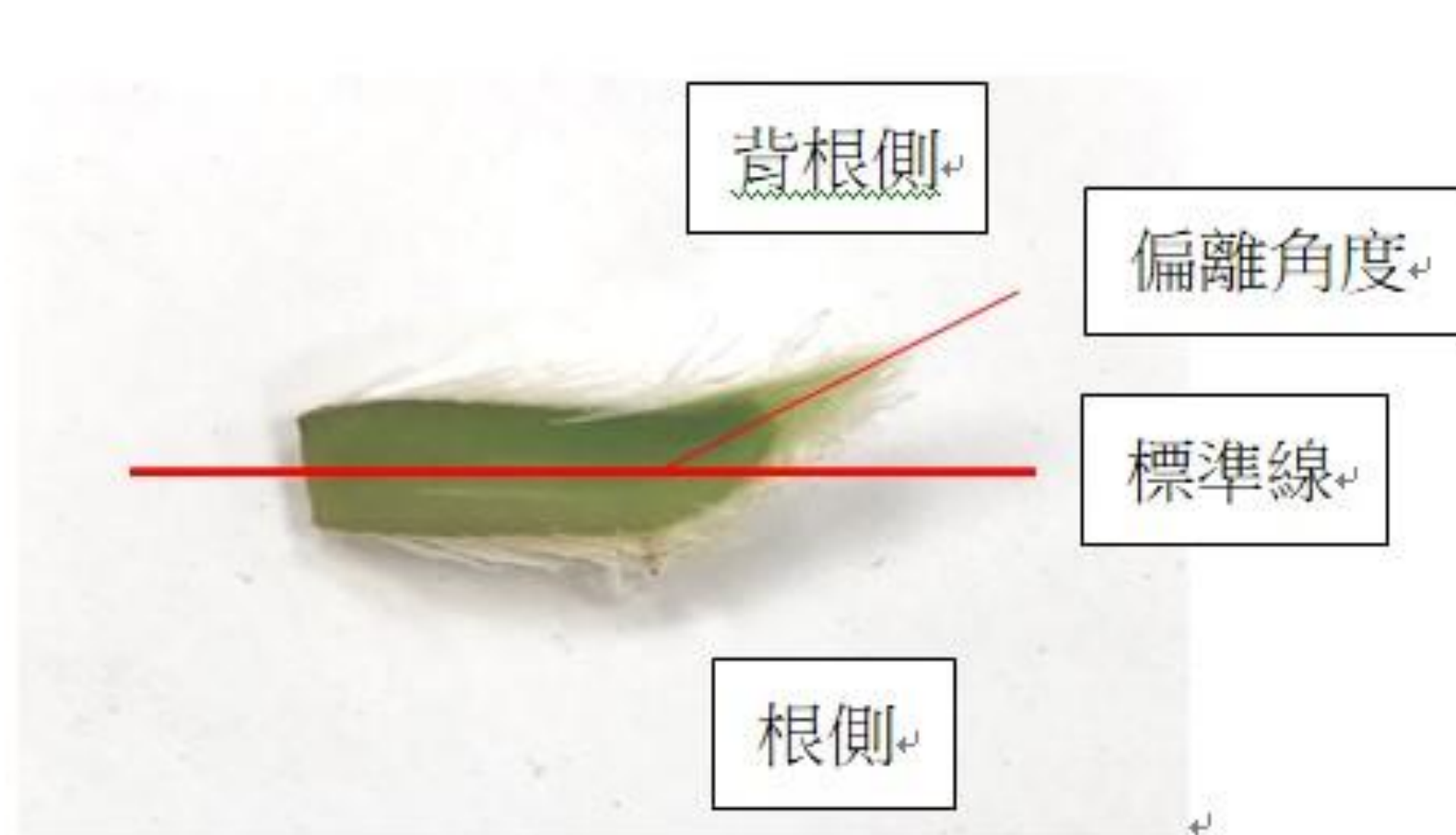
研究過程



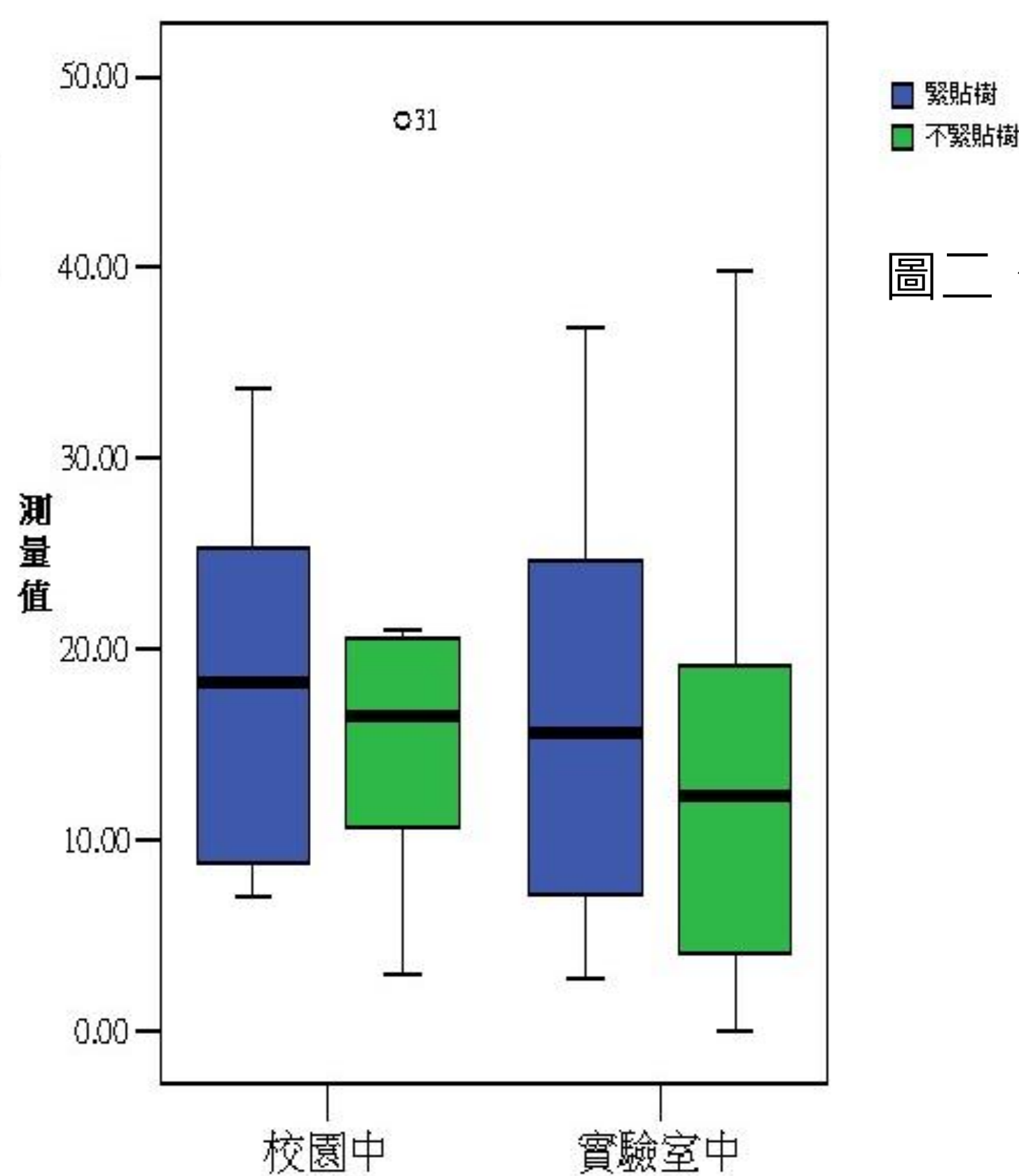
研究方法、結果與討論

一、海洲骨碎補的根狀莖頂端組織及測量其生長方向。

(一) 測量海洲骨碎補的根狀莖頂端生長方向

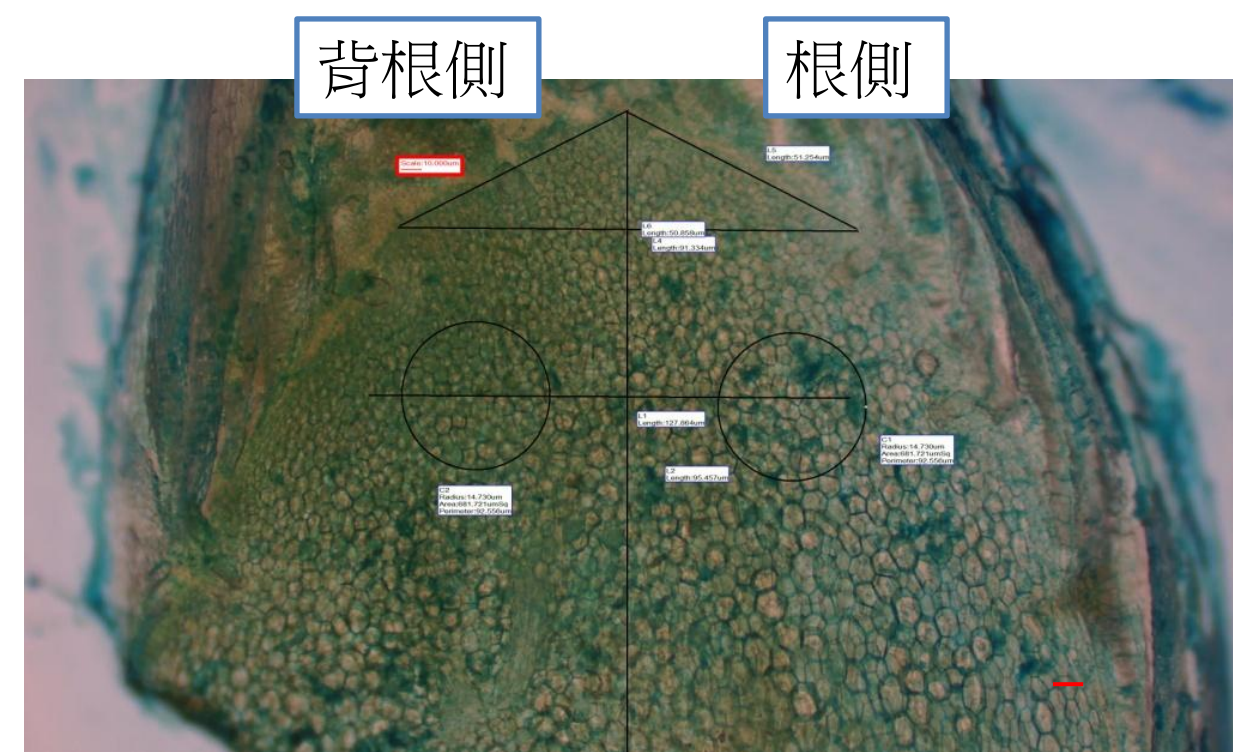


圖一、本實驗的樣本分校園組緊貼和不緊貼樹幹兩組，和實驗室中緊貼接觸物及不緊貼接觸物兩組，共四組。標準線的定義是到樣本兩側等距的水平線。

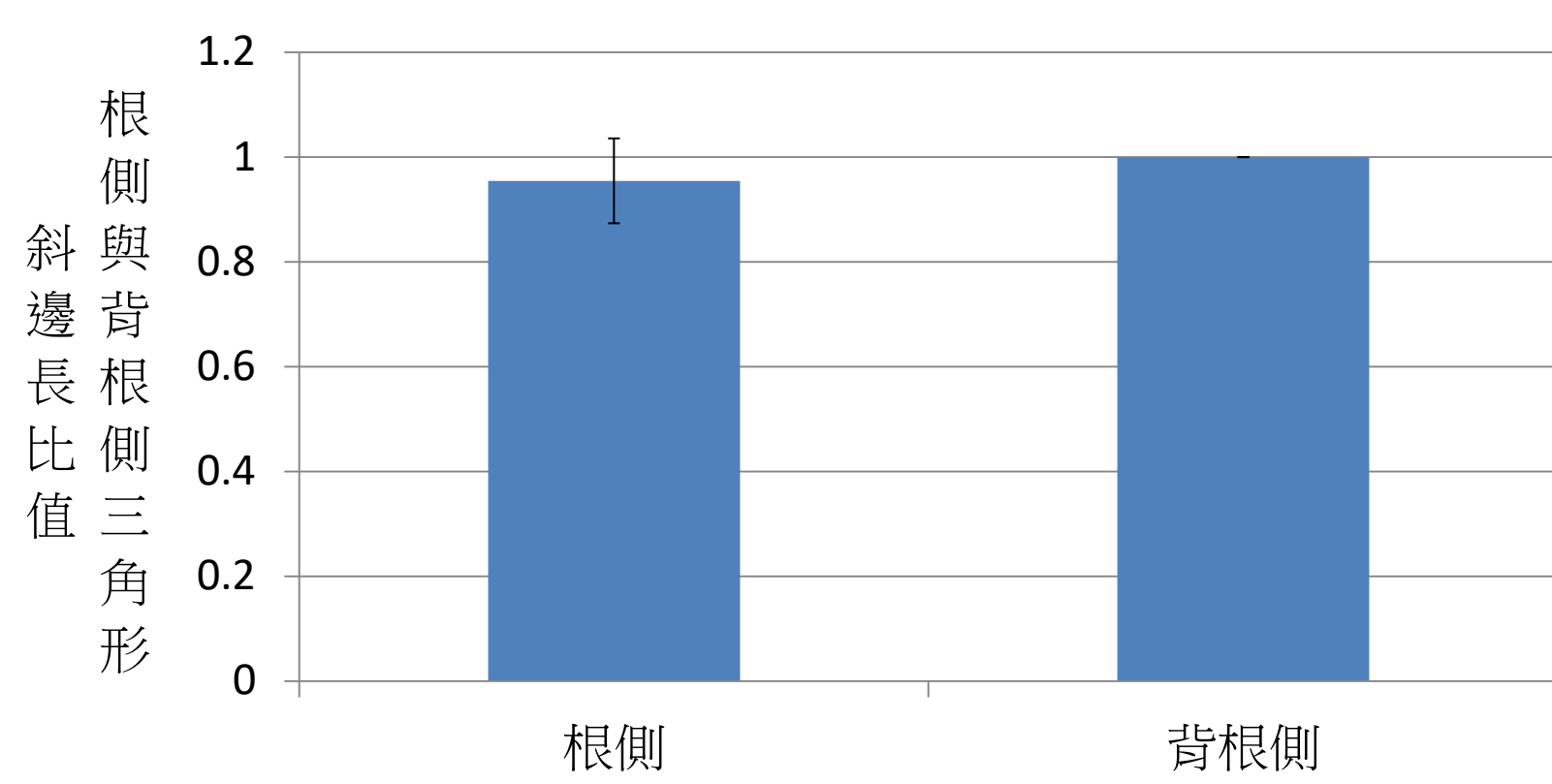


圖二、根狀莖頂端組織彎曲角度 (n=10)。結果顯示，校園中與實驗室中莖頂緊貼接觸物和莖頂不緊貼接觸物的樣本皆無顯著差異，不管在樹上的生長方向為向上、向下或橫向，其頂端都會往背根側偏離。

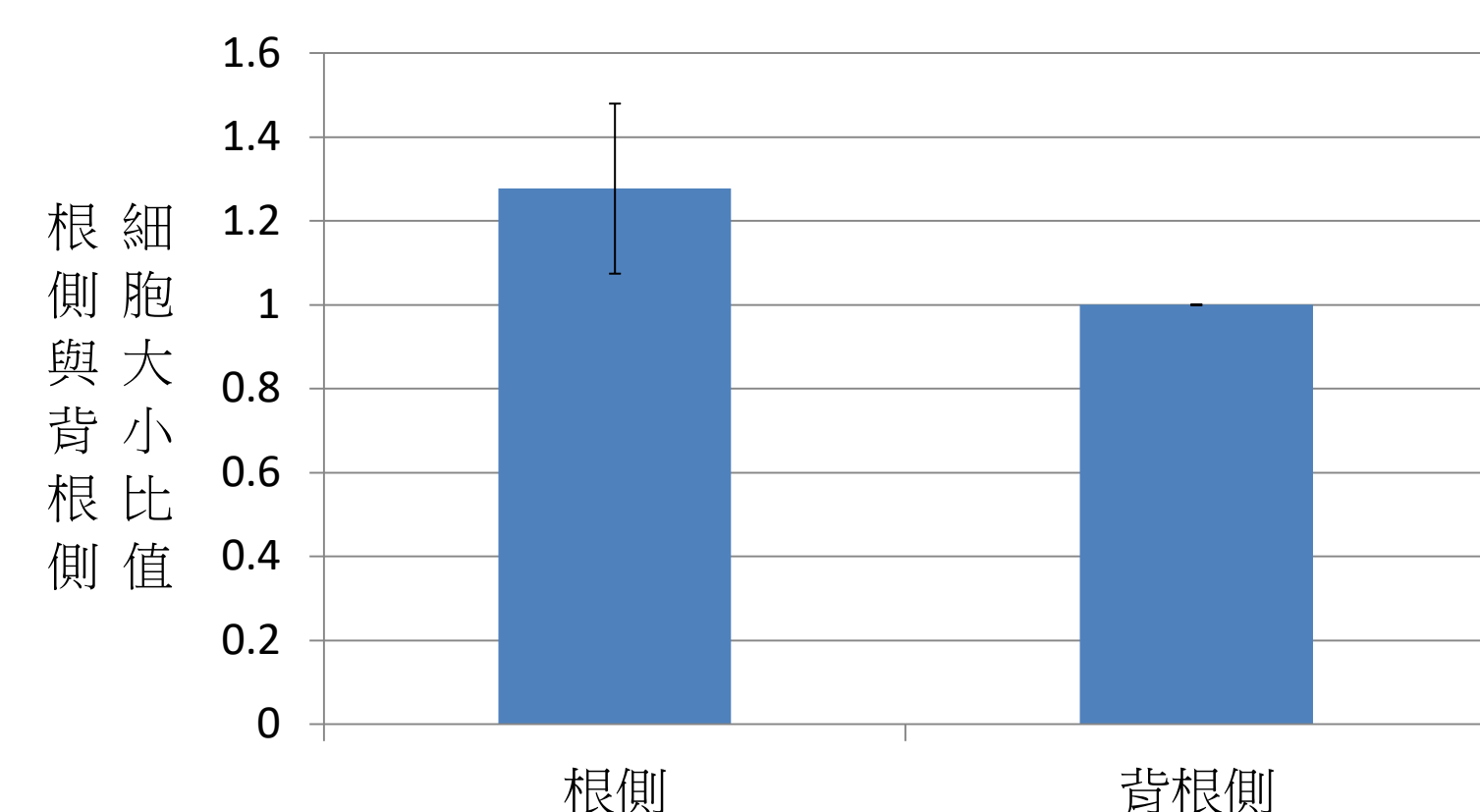
(二) 測量樣本背根側與根側的細胞大小與細胞數量。



圖三、取樣位置。畫出中軸後在距頂點50微米處畫三角形，接著在距離頂點150微米處取樣兩個固定面積的圓。



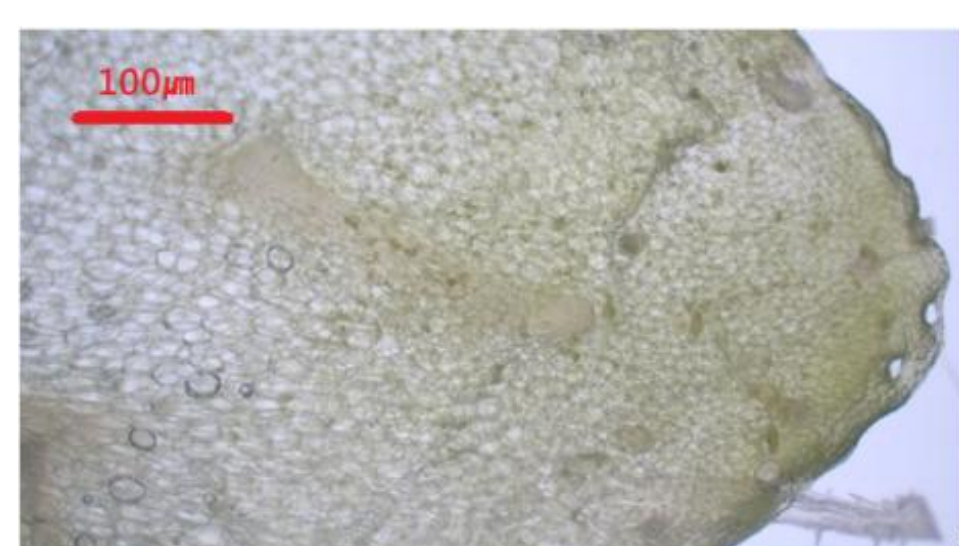
圖四、距根狀莖頂50微米內根側和背根側與頂點相對長度圖，圖中以根側與頂端的距離為1，計算出背根側與根側比值後繪製成此圖 (n=10)。



圖五、距根狀莖頂點150微米根側與背根側的相對大小圖，圖中以根側細胞平均大小為1，計算出背根側與根側比值後繪製成此圖 (n=10)。

(三) 觀察根狀莖頂端背根側與根側的葉綠體分布。

樣本	樣本巨觀圖	放大40倍下葉綠體的分布組織圖	在ImageJ的固定閾值下的葉綠體分布
緊貼樹幹			
懸空樹幹5公分			



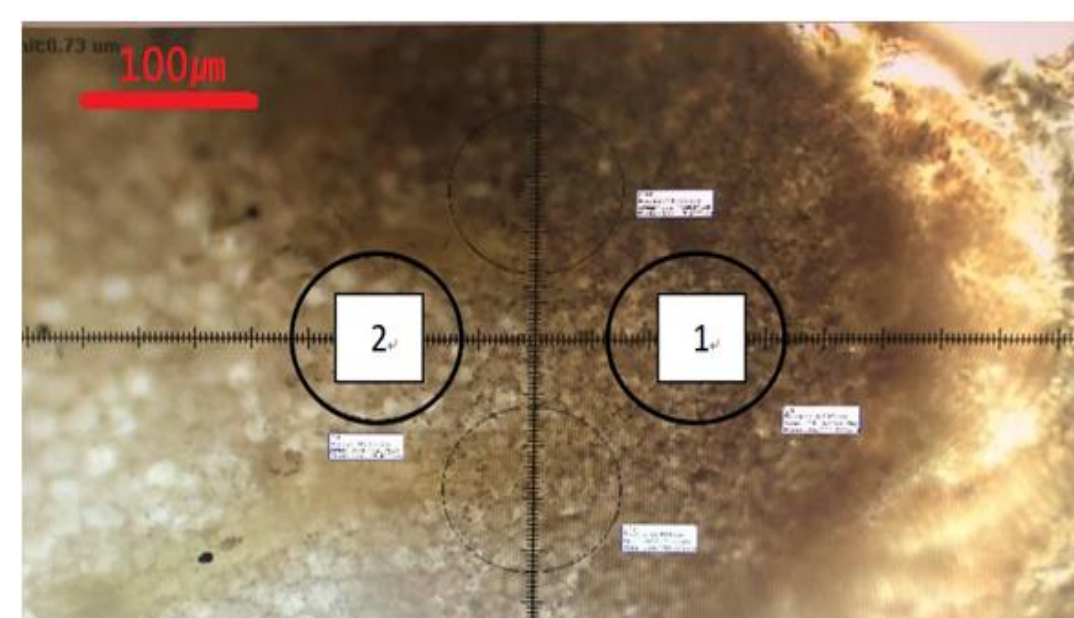
圖六、懸空的根狀莖頂端組織葉綠體分布圖。受光均勻所以根側與背根側的葉綠體均勻分布。

結果顯示，頂端前50微米之內的根側及背根側的細胞平均面積及數量並無差別，見圖四；但在50微米到150微米之間因為根側細胞相對背根側細胞變大而發生了不對稱生長的現象造成彎曲生長，見圖五。至於細胞大小的不同是否與生長素分布不平均有關，可以設計進一步實驗來證明。

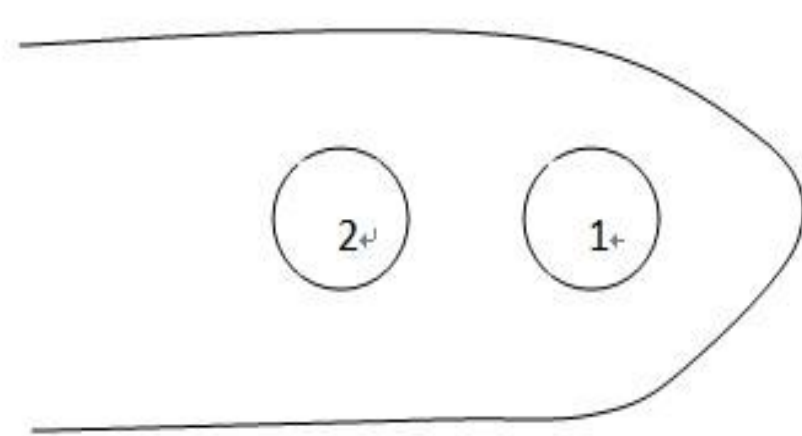
由表我們得知綠色部分是葉綠體含量較多所致。我們推測，細胞型態及根側葉綠體的缺乏與根側緊貼樹幹的光強度較弱有關，雖然有實驗指出蕨類在黑暗中可以合成葉綠素，但有更多實驗中都提及光線可以促使葉綠素合成。[11] 若這假設成立，因懸空的根狀莖根側與背根側的受光均勻，因此應會看到葉綠體分布較均勻分布的現象，我們在圖六觀察中證明了此現象。

二、探討骨碎補的根狀莖頂端與重力的關係。

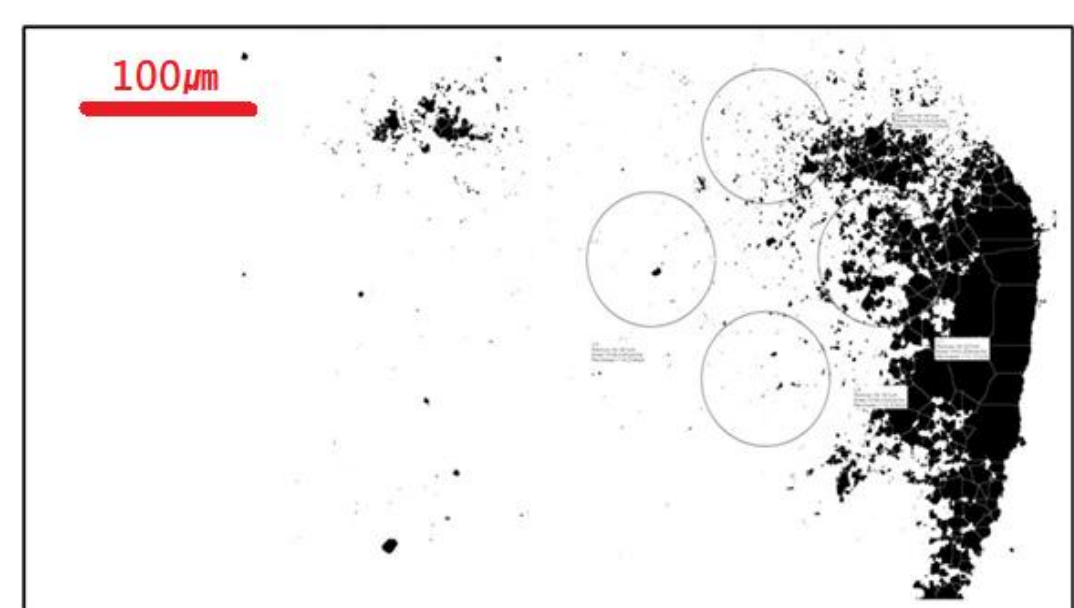
(一) 骨碎補的根狀莖頂組織內澱粉粒的分布情形。



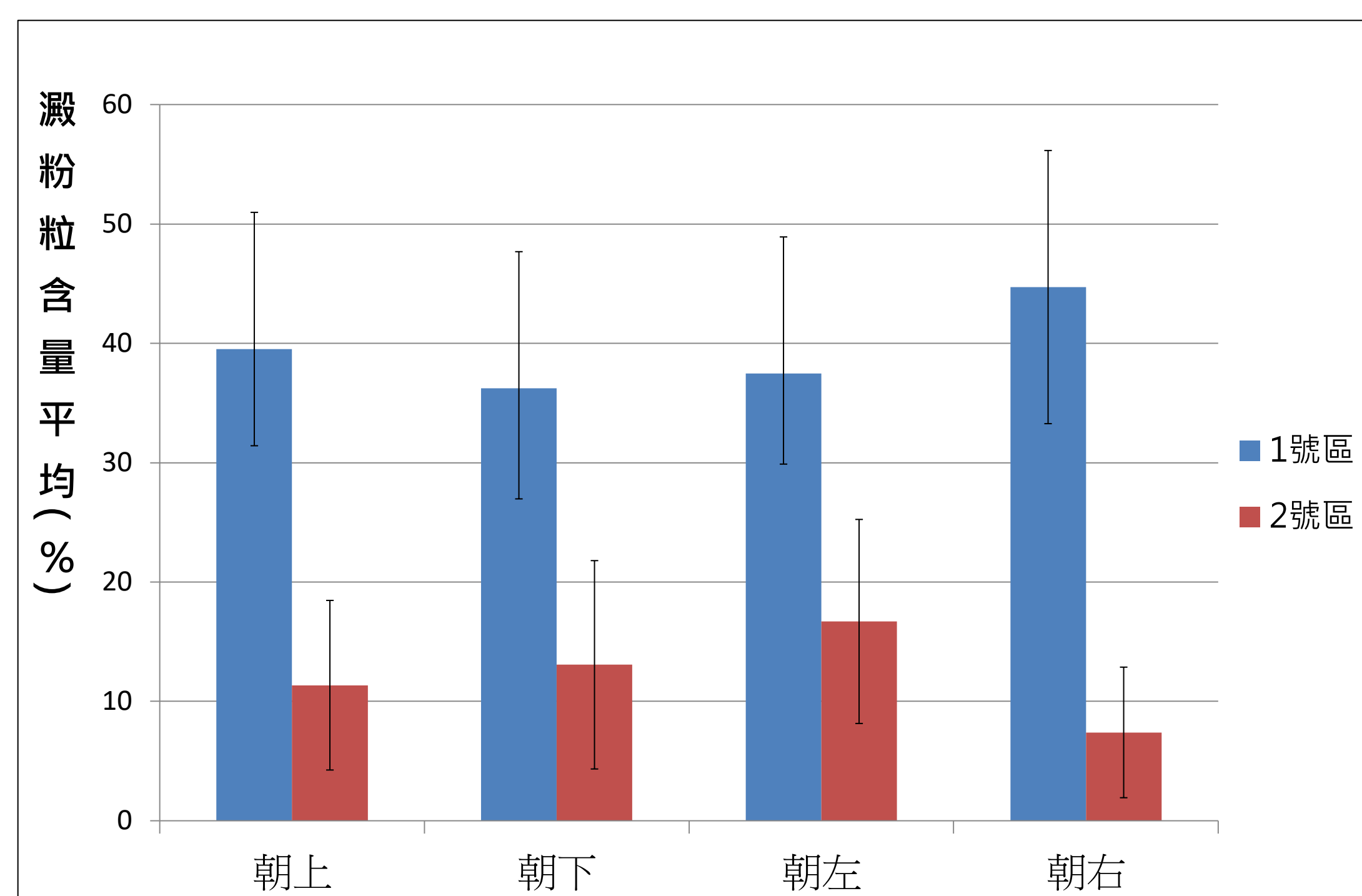
圖七、在顯微測量軟體下標記2個面積相同的區域並編號，使每個圓彼此距離固定，與根狀莖頂點的距離也固定，每個圓的直徑為50微米。



圖八、取樣區域示意圖。



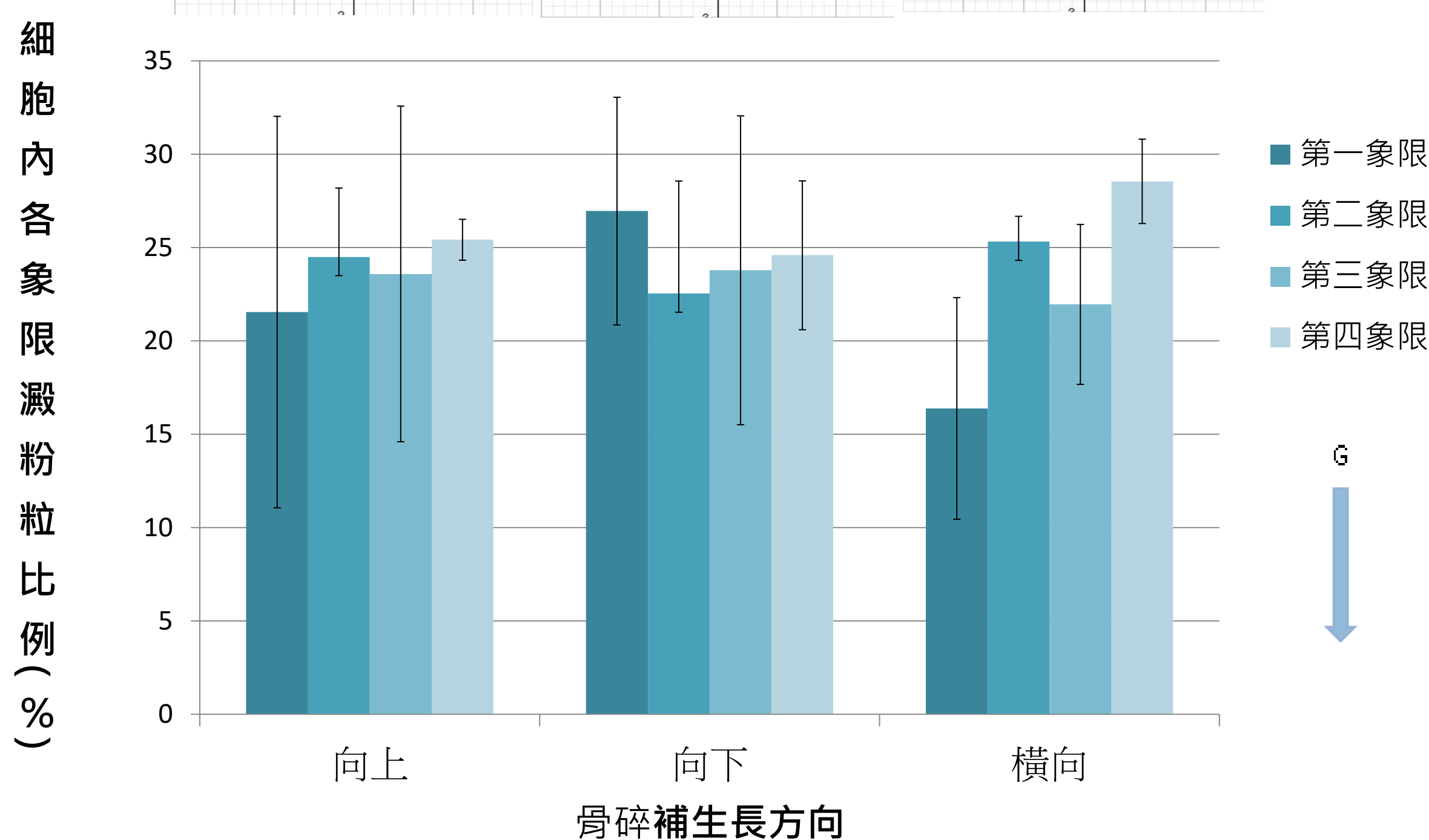
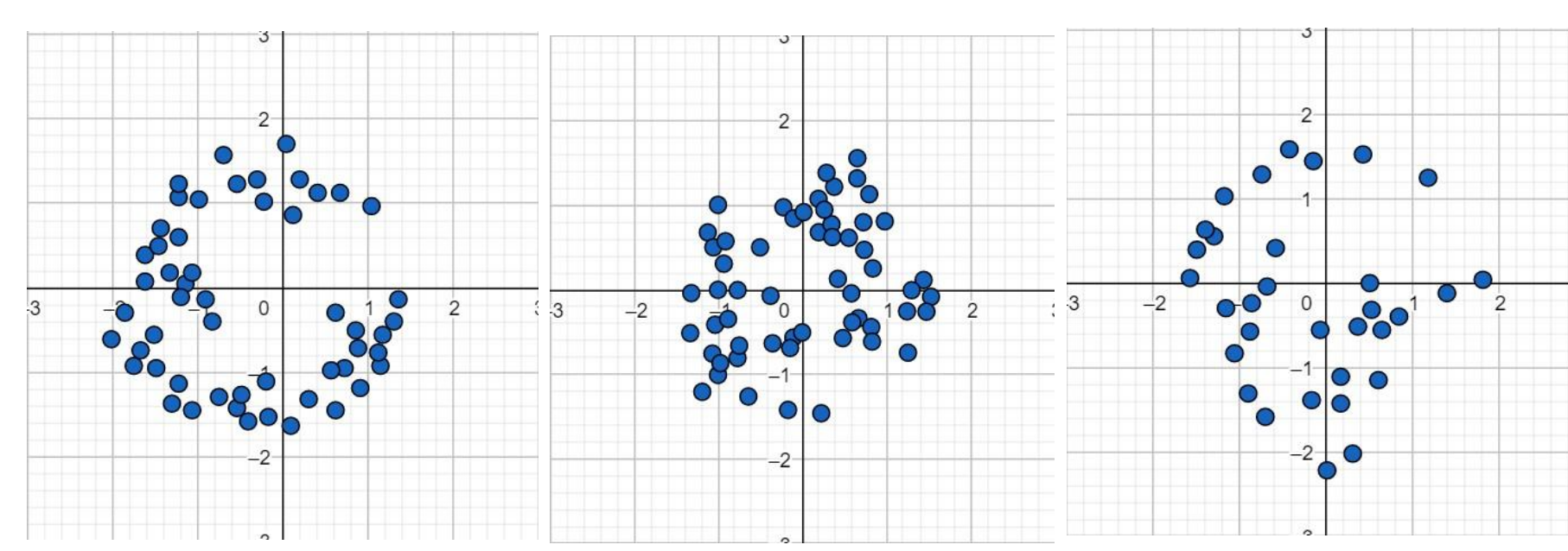
圖九、使用Image J軟體在設定固定閾值下各區域澱粉粒數量。



圖十、各方向生長的海洲骨碎補根狀莖頂端組織內1號區與2號區澱粉粒分布數量比較圖 (n=8)。

(二) 骨碎補的根狀莖頂端組織的細胞內澱粉粒的分布情形。

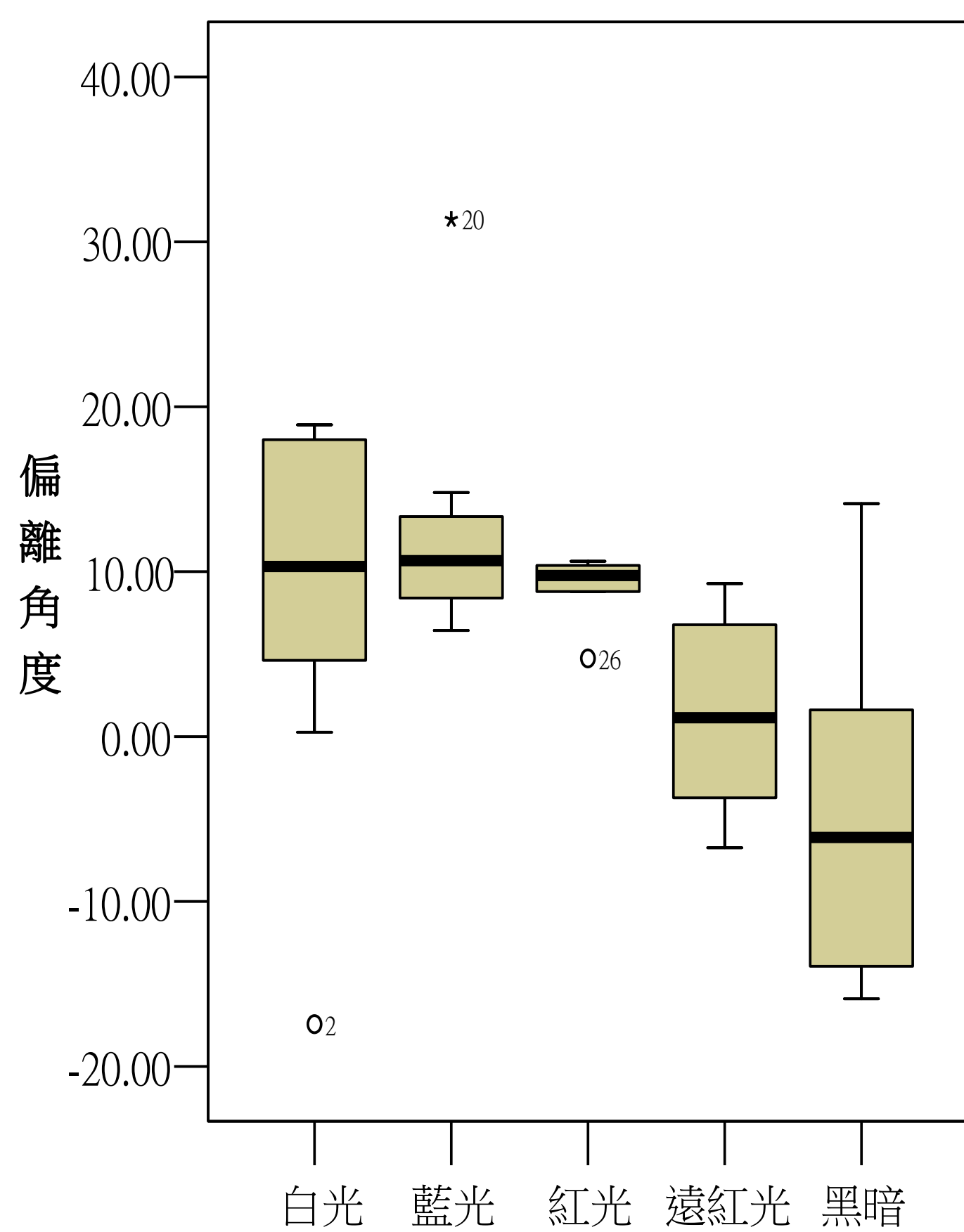
樹幹著生方向	放大400倍下澱粉粒分布情形
朝上	
朝下	
橫向	



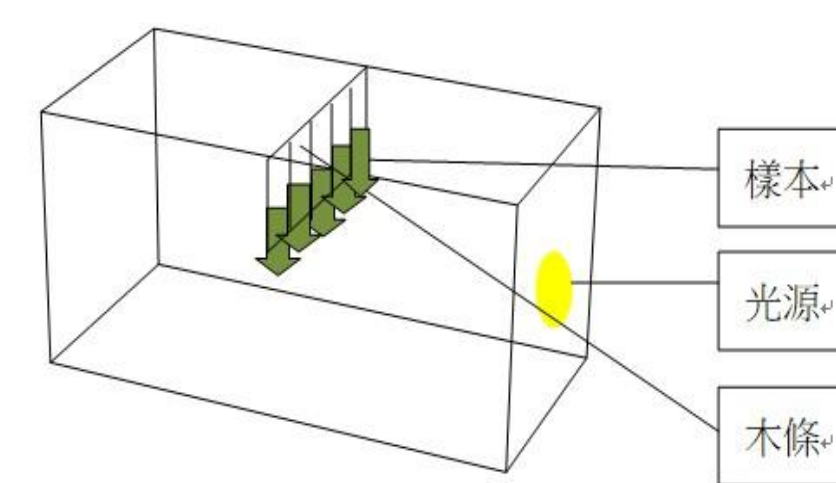
圖十一、根狀莖頂端組織的細胞內澱粉粒的分布情形 (n=3)。

我們在校園中觀察到骨碎補的根狀莖會攀附在喬木上，向各個方向生長，並沒有發現其生長方向重力的關係。進一步分別取向上、向下以及橫向的根狀莖莖頂縱切，由圖十可以看到三種方向的海洲骨碎補的澱粉粒皆集中在頂端處，由圖十一得知細胞下半部也就是我們定義的第三與第四象限的澱粉粒比例並沒有比較高，也就是說細胞內的澱粉粒並無沉降在細胞底部，綜合以上三個原因，我們認為海洲骨碎補莖頂細胞對重力並不敏感，其生長方向應有其他因素影響。

三、探討海洲骨碎補的根狀莖頂端與光線的關係。



對照組為黑暗。實驗材料皆為骨碎補根狀莖的莖頂，將樣本置於白光、藍光、紅光、遠紅光以及黑暗的環境下14天，測量其偏離角度。以中位數來看，根狀莖莖頂在白光、藍光及紅光下會明顯向光源彎曲，而對遠紅光較不敏感，在黑暗的環境下沒有光源的牽引，因此並沒有特別向光源彎曲的情形。



圖十二、光線實驗裝置圖。

許多資料中提及藍光可以誘導向光性的發生，且生長點和莖都可能是感受部位，與我們的結果相符。[4]

另外，有些蕨類擁有雜合的紅光/藍光光受體，可以調節藍光紅光及遠紅光，我們的結果顯示，骨碎補的根狀莖對藍光紅光遠紅光都有反應，骨碎補是否也有此受體值得進一步探討。[5]

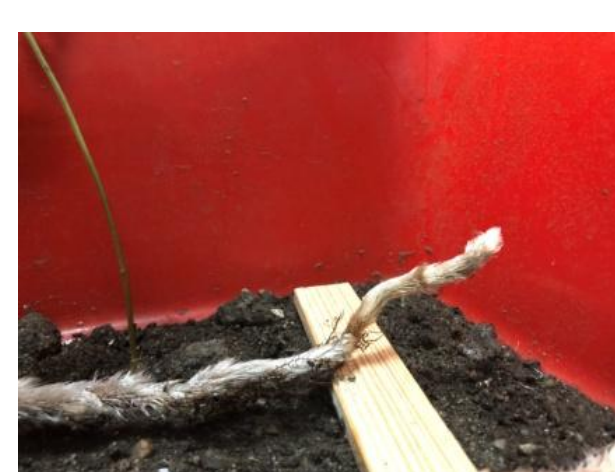
雖然紅光下的偏離角度會大於遠紅光，但經由T檢定後發現沒有顯著差異，我們推測在野外時根狀莖會受固定比例的紅光及遠紅光影響，而我們是以單一色光照射，並不是最適條件，何種比例的紅光與遠紅光會對根狀莖影響最大還值得進一步釐清。

圖十三、不同色光下骨碎補根狀莖頂端的偏離角度。

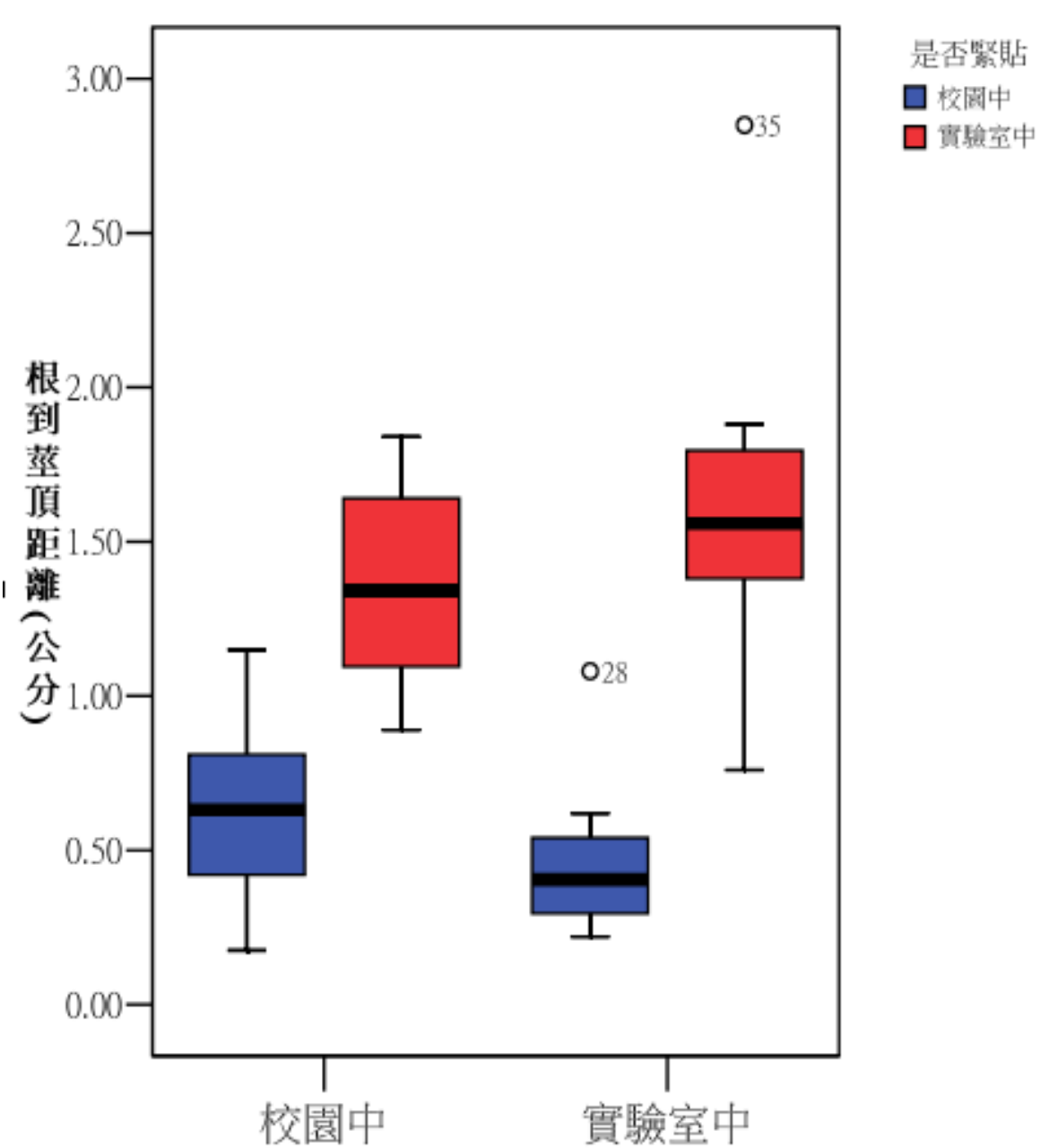
四、海洲骨碎補的根狀莖莖頂生長方向與根狀莖莖頂新生根根距的關係。



圖十四、根狀莖頂端接觸土壤。



圖十五、根狀莖頂端5公分處懸空。



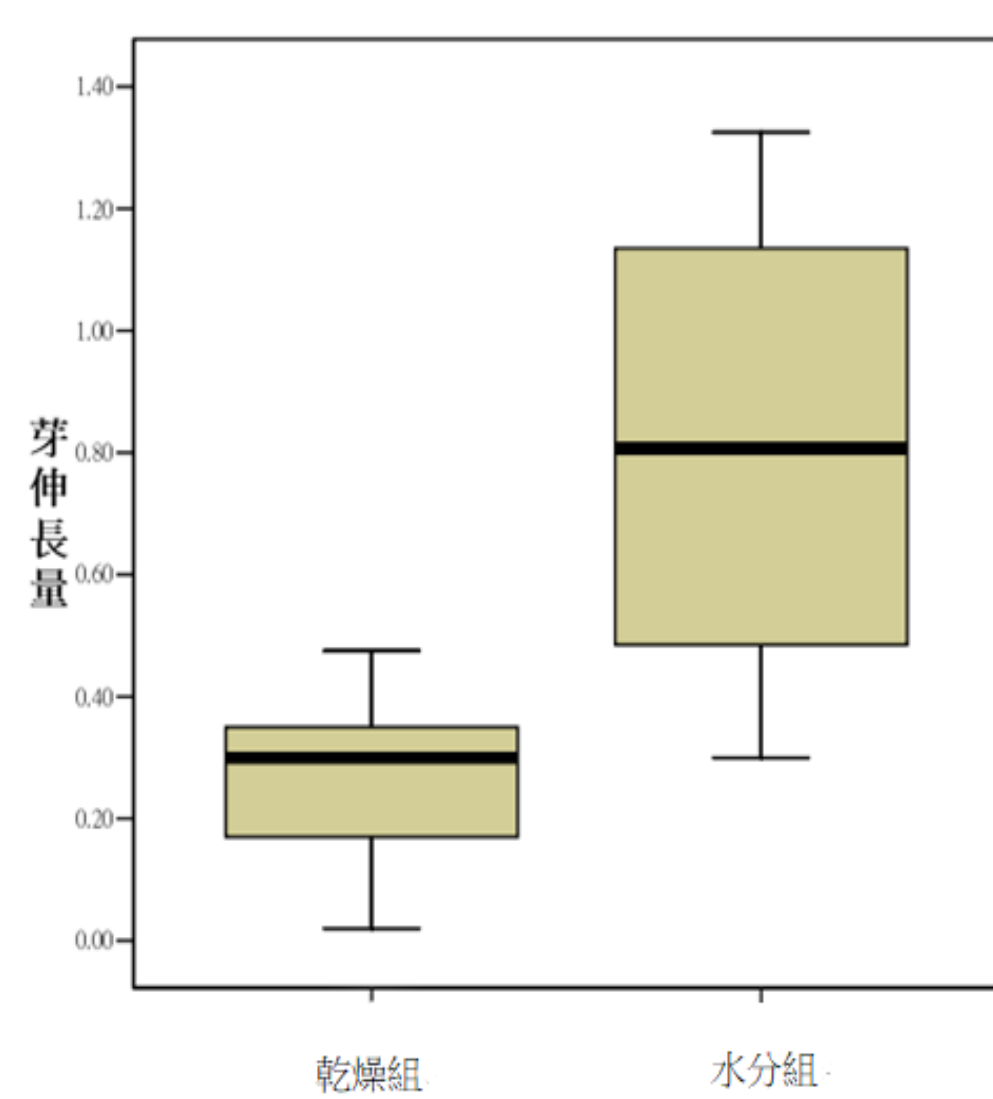
圖十六、骨碎補根狀莖頂點與第一個新生根的距離圖 (n=10)。

不管是在校園中或實驗室中根狀莖懸空生長的第一個新生根與根狀莖頂點的距離都會大於緊貼接觸物的根距。且在實驗室的觀察中，新生根的位置都發生在與土壤的摩擦點上，因此，我們推測緊貼樹幹上的根狀莖頂端分生組織在產生新細胞後會因光線而偏離著生樹幹的平面，但隨後近距離的第一新生根具有定錨的效果。而懸空根狀莖的第一新生根根距較長的機制和原因須進一步的探討。

五、探討海洲骨碎補的根狀莖側芽伸長量與水分的關係。



圖十七、實驗方法示意圖。



圖十七、水分對根狀莖側芽伸長量的影響 (n=5)。

實驗樣本為去除頂芽後有2個以上側芽的根狀莖，分為水分組與乾燥組，放置21天後，用游標尺測量實驗後每個側芽的長度，得出伸長量。結果顯示，有水的側芽伸長量大於乾燥，且兩者伸長量具有顯著差異。

水分是植物的重要資源，骨碎補若沒有頂芽時，頂芽優勢消失，側芽會有生長的優勢，而哪一個側芽的生長速度最快，甚至可能取代原本的頂芽，取決於該側芽的環境周圍是否有足夠的水分。

結論

- 海洲骨碎補根狀莖頂端 (150微米處) 因細胞大小不同而造成根狀莖頂端有偏離其著生物表面的現象。
- 背根側照光會促進葉綠素的形成，影響根側與背根側的葉綠體含量。
- 海洲骨碎補根狀莖頂端偏離著生物表面的現象與澱粉粒無關。根狀莖頂端偏離著生物表面的現象跟光線有關。
- 根狀莖莖頂偏離其著生物表面的現象與第一新生根的距離有關，第一新生根有定錨的效果，對根狀莖莖頂的偏離角度產生限制。
- 環境中水分的分布會影響根狀莖的伸長量，根狀莖會傾向往較多水資源的地方生長。

未來展望

- 細胞大小的不同是否與生長素分布不平均有關，可以設計進一步實驗來證明。
- 海洲骨碎補著生於樹幹上，環境中的光源是否也受遮蔽效應所影響，以及釐清我們的數據是否因測量方法產生偏差。
- 海洲骨碎補是否有新色素可以調節藍光紅光及遠紅光。
- 探討懸空根狀莖的第一新生根根距較長的的機制和原因。

參考資料

- 鄭武燦 (2000)。台灣植物圖鑑上冊 (頁124)。國立編譯館。
- 高景輝 (1991)。植物的向性。植物生長與分化 (第12章)。茂昌圖書有限公司。
- 易希道、許志超、李春序、謝萬權、宋世謹、周惠慈 (1980)。向性及感性運動：於空間上安置植物的定位。普通植物學，初版 (第23章)。環球書社。
- 葉綠舒 (民108)。種子植物專屬反應：迅速向下扎根。取自 <https://case.ntu.edu.tw/blog/?p=34385>
- 潘瑞熾。植物的生長生理 (2012)。植物生理學，初版 (第10章)。藝軒出版有限公司。
- S. P. Maslova and T. K. Golovko. (2016). Tropisms of Underground Shoots—Stolons and Rhizomes. *Biology Bulletin Reviews*, 2018, Vol. 8, No. 3, 181–192.
- Yilun ma, taylor a. Steeves. (1992). Auxin Effects on Vascular Differentiation in Ostrich Fern.
- A. Ester Sztain, Jerry D Cohen, Ines Garcia de la Fuente, Todd Joseph Cooke. (1999). Auxin metabolism in mosses and liverworts. *Annals of Botany*, 70, 277–282.
- Nobuyuki Takahashi, Yutaka Yamazaki, Akie Kobayashi, Atsushi Higashitani, Hideyuki Takahashi. (2003). Hydrotropism Interacts with Gravitropism by Degrading Amyloplasts in Seedling Roots of Arabidopsis and Radish. *Plant Physiology*, 2003 Jun. 132(2), 805–810.
- Maarten J. M. Christenhusz and Mark W. Chase. (2014). Trends and concepts in fern classification. *Annals of Botany*, 113(4), 571–594.
- 楊棋明、楊佳豪、蔡慧美 (民85年5月)。談葉綠素的合成。科學月刊，317。取自 <http://resource.blsh.tp.edu.tw/science-i/content/1996/00050317/0006.htm>