

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生物科

第三名

080308

「蕨」妙好計-探討蕨類孢子囊的結構、孢子彈射機制與演化的關係

學校名稱：康橋學校財團法人新北市康橋中學

作者： 小五 鍾宜恩 小五 張詠程 小五 潘述安 小五 張宜誼	指導老師： 黃丰乃
---	--------------

關鍵詞：蕨類孢子囊、孢子彈射機制、演化

摘要

好奇著生蕨類到較原始蕨類的孢子囊開啟，在周遭環境找到十二種進行研究。結果顯示，擬蕨和厚囊蕨類孢子囊厚且無柄，孢子直接掉落；原始薄囊蕨海金沙頂生環帶開啟未彈射，芒萁與鬼杪欏斜生環帶具短柄與無柄，五種較進化薄囊蕨垂直環帶具長柄和唇細胞，開啟並彈射；孢子受保護減少。環帶構造和水與空氣移動影響開啟角度、機制和射程，伏石蕨平均開啟角度最大，杯狀蓋骨碎補平均每秒開啟最快；海金沙和芒萁為第一類型槓桿，鬼杪欏、伏石蕨為第三類型，鹿角蕨、毛蕨、台灣山蘇花和杯狀蓋骨碎補為第一、三類型；開啟角度與射程成反比，推測與生長方式有關。擬蕨、厚囊蕨和原始薄囊蕨多為地生，較進化薄囊蕨多為著生；最後，分析演化過程並繪圖。

壹、研究動機

有一次到校園觀察植物，我們發現蕨類植物很特別，好奇的問老師它們的外形和生長位置有什麼不同？如何進行繁殖？過去與現在的蕨類植物有什麼不同？這其中一定隱藏著許多的秘密，於是我們查閱資料和實際踏查，詳細比對圖鑑確認各種蕨類的名稱，並參考學長們的作品後，開始著手進行實驗。

在三年級上學期自然課學過「植物的身體」，認識植物構造並察覺它們具有不同的外形特徵；五年級上學期學過「植物世界面面觀」，認識植物的繁殖的方式和分類的方法；最後，五年級上學期學過「力與運動」，介紹力的作用和日常生活中的「力」(參考資料 7.8)。

此外，在 56 屆全國科展作品曾探究台灣山蘇花孢子囊的孢子彈射機制與附生歷程(參考資料 4)，這次研究增加 11 種在演化樹分岔處具有重要性的蕨類，進行加深、加廣的探討(參考資料 1-台灣蕨類演化樹圖)；第 51 屆全國科展作品(參考資料 3)提到在含水量降低時唇細胞開啟，環帶細胞隨之開啟釋放孢子。我們試著運用這些背景知識並閱讀相關資料進行一系列的研究，以解開蕨類植物之謎。

貳、研究目的

- 一、認識十二種蕨類植物的分類與基本資料。
 - (一)認識十二種蕨類植物的外形特徵。
 - (二)認識十二種蕨類植物的分類與生長方式。
- 二、探究十二種蕨類植物孢子囊的結構與孢子彈射歷程。
 - (一)進行孢子囊形態的觀察與記錄，並確認孢子囊的類型。
 - (二)進行孢子囊開啟與關閉歷程和射程的觀察與記錄。
 - (三)探討孢子囊開啟與閉合的原因。
 - (四)探討孢子囊開合、孢子彈射與槓桿原理的相關性。
- 三、探究十二種蕨類孢子囊結構、孢子彈射與生長方式的關係
 - (一)確認蕨類植物的生長方式。
 - (二)分析孢子囊結構、孢子彈射與生長方式的相關性。
- 四、探究十二種蕨類孢子囊結構、孢子彈射與演化的關係
 - (一)查詢蕨類植物的演化時期。
 - (二)分析孢子囊結構、孢子彈射與演化的相關性。

參、研究設備及器材

一、研究樣本：

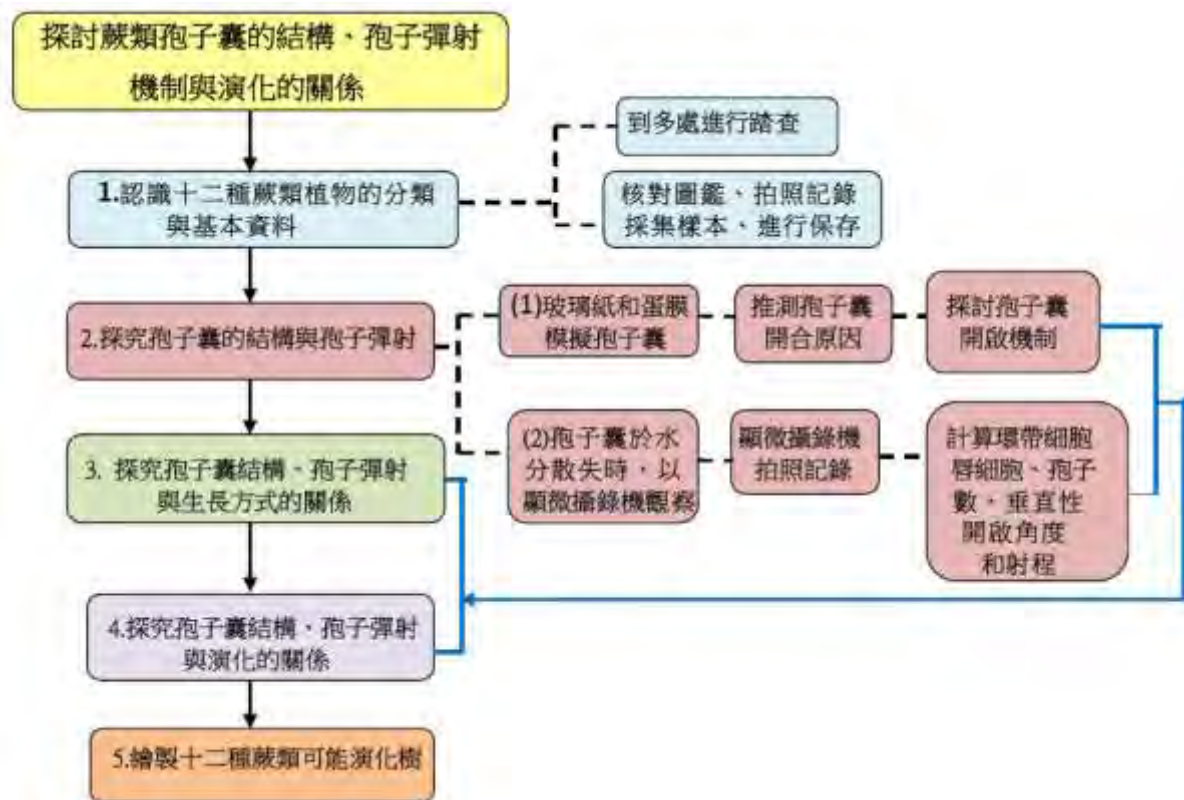
十二種蕨類植物 (異葉卷柏、松葉蕨、狹葉瓶爾小草、觀音座蓮、海金沙、芒萁、鬼杪櫞、伏石蕨、鹿角蕨、毛蕨、台灣山蘇花和杯狀蓋骨碎補)的葉片和孢子囊

二、研究設備與用品：

(一)儀器：顯微攝錄機、光學顯微鏡、電腦、相機

(二)用品：玻璃紙、雞蛋、醋酸、甘油、燒杯、滴管、剪刀、量角器、塑膠袋、牙籤、載玻片、蓋玻片、筆、標籤、放大鏡、記錄紙

肆、研究過程或方法



一、認識十二種蕨類植物的分類和基本資料

(一)認識十二種蕨類植物的外形特徵

從文獻中選擇想要研究的蕨類植物後，便開始前往福山植物園(圖 1)認識與拍照和了解其生長環境，之後在校園(圖 2)、宜蘭設治紀念館、三峽區公所(圖 3)、桃園大溪(圖 4)和苗栗後龍進行踏查，核對圖鑑(參考資料 1、2)，觀察外形特徵並確認後，以相機拍照記錄和進行樣本的採集。

(二)認識十二種蕨類植物的分類與生長方式

從文獻與實際觀察植株的外形和生長方式後，核對圖鑑認識他們的分類情形。



二、探究十二種蕨類植物孢子囊的結構與孢子彈射的歷程

(一)進行孢子囊形態的觀察與記錄，並確認孢子囊的類型

再次核對圖鑑(圖 5)後取十二種蕨類植物 (異葉卷柏、松葉蕨、狹葉瓶爾小草、觀音座蓮、海金沙、芒萁、鬼杪欏、伏石蕨、鹿角蕨、毛蕨、台灣山蘇花和杯狀蓋骨碎補)
葉背孢子囊(圖 6)，以光學顯微鏡和顯微攝錄機觀察與拍照(圖 7.8)。



(二)進行孢子囊開啟與關閉歷程和射程的觀察與記錄

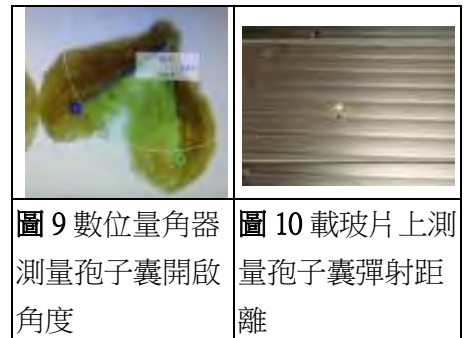
1.從參考文獻中得知蕨類植物在缺水的時候會開啟孢子囊，取孢子囊進行觀察時，以完全蒸乾水分的方式觀察孢子囊細胞變化，以顯微攝錄機(圖 8)進行拍照。

2.記錄孢子囊的環帶細胞、唇細胞和孢子數量和開合時細胞內外的變化(附錄一)。

3.孢子囊開合歷程以數位量角器測量(附錄二、圖 9)。

4.計算每秒鐘孢子囊開啟角度，推測開啟速度(附錄二)。

5.計算孢子囊彈射距離，並與開啟角度進行比較(圖 10)。



(三)探討孢子囊開啟與關閉的原因: 查詢相關文獻(參考資料 6.7)後進行實驗如下:

1.模擬芒萁(原始薄囊蕨類):以玻璃紙(環帶細胞-輻射細胞)進行實驗，將實驗分為兩組，一組沒有折疊，另一組有折疊，將玻璃紙進行泡水 20 分鐘後在烤箱中烘乾。

2.模擬真蕨類較進化薄囊蕨類: 取玻璃紙(輻射細胞)和蛋膜(唇細胞-側邊細胞)

(1)玻璃紙:以酒精浸泡去掉表面物質，接著泡水 20 分鐘。

(2)蛋膜:雞蛋尖端戳洞取出內容物，浸泡 70 毫升醋酸中後去掉蛋殼，將蛋膜洗淨。

(3)取蛋膜包覆在玻璃紙上，再放入烤箱中，觀察水分散失和彎曲的情況。

(四) 探討孢子囊開合、孢子彈射與槓桿原理的相關性

- 1.查詢書籍了解槓桿原理，比對不同情況孢子囊開啟與關閉的歷程，找出相關性。
- 2.以顯微攝錄機進行拍照紀錄，依實驗結果製成表格。

三、探究十二種蕨類孢子囊結構、孢子彈射與生長方式的關係

(一)確認十二種蕨類植物的生長方式:查詢相關文獻並實際觀察後，確認蕨類生長方式。

(二)分析孢子囊結構、孢子彈射與生長方式的相關性

- 1.從已拍攝好的十二種蕨類的孢子囊結構(計算環帶細胞結構的垂直與否、環帶細胞數、唇細胞數)、孢子彈射機制和計算開啟角度進行分析與討論。
- 2.計算環帶細胞結構傾斜或垂直的方式，取可以進行彈射的蕨類各三個孢子囊，每個孢子囊上選取 5 個不同部位，先測量相鄰環帶細胞的上下的寬度，再將兩個數值相減最後再計算平均數，共 15 個數值(附錄三)。平均數值差異越小，表示環帶細胞越趨近於垂直，以海金沙為例(圖 11)。



圖 11 海金沙環帶細胞

四、探究十二種蕨類孢子囊結構、孢子彈射與演化的關係

(一)查詢十二種蕨類植物的演化時期。

(二)分析孢子囊結構、孢子彈射與演化的相關性。




從拍攝好的十二種蕨類的孢子囊結構(計算環帶細胞結構的垂直與否、環帶細胞數、唇細胞數和孢子數)、孢子彈射機制和計算開啟角度進行分析與討論，並繪製演化流程圖。

伍、研究結果

一、認識十二種蕨類植物的分類和基本資料

比對圖鑑和實際拍攝(參考資料 1.2)後，針對研究內容將分類、棲息地、分布、特徵、生態帶和演化進行整理(表一)。蕨類繁殖過程中，包含孢子體和配子體的世代所看到的孢子囊、孢子囊開啟彈射出孢子後發芽形成配子體前，即為孢子體的世代。

表一：十二種蕨類植物的分類和基本資料

植物名	異葉卷柏	松葉蕨	狹葉瓶爾小草
植株外形 (拍攝: 校園)			
學名	<i>Selaginella Mollendorffii Hieron</i>	<i>Psilotum nudum</i>	<i>Ophioglossum thermale</i>
分類	擬蕨類、卷柏科	擬蕨類、松葉蕨科	真蕨類(厚囊蕨)瓶爾小草科
棲息地	低海拔地區林緣或路邊	林內	空曠地
分布	分佈中國大陸南部、中南半島、臺灣低海拔山區	台灣全島低海拔地區	西伯利亞、日本、中國及太平洋西北部島嶼
特徵	主莖直立，主軸上的小葉貼伏莖上，螺旋狀排列。孢子囊穗四角柱形。	不具真正的根，二叉分支地下莖。孢子囊具三突起長在葉腋。	具短直立莖幼葉不捲旋、呈湯匙狀；孢子囊自葉基部叉出，具膜狀托葉。
生態帶與習性	亞熱帶闊葉林 地生	熱帶、亞熱帶闊葉林 著生、岩生	亞熱帶闊葉林 地生
演化	2 億多年前[三疊紀-侏儸紀]	2 億多年前[三疊-侏儸紀]	2 億多年前[三疊紀-侏儸紀]

續表一

植物名	觀音座蓮	海金沙	芒萁
植株外形 拍攝: 校園和 大溪)			
學名	<i>Angiopteris lygodifolia Rosenst.</i>	<i>Lygodium japonicum (Thunb.)</i>	<i>Dicranopteris linearis</i>
分類	真蕨類(厚囊蕨)合囊蕨科	真蕨類(原始薄囊蕨)莎草蕨科	真蕨類(原始薄囊蕨)裡白科
棲息地	林內	林緣	路旁的山坡或森林的邊緣
分布	日本南部、台灣低海拔山區	印度、中國大陸、亞洲熱帶區、台灣低海拔	台灣低海拔林緣和開闊地
特徵	莖塊狀，葉為二回羽狀複葉，具托葉。孢子囊大型，葉緣處的兩側。	根莖橫走狀，葉軸可無限生長。孢子葉末端具指狀突起，孢膜口袋形內有一孢子囊。	莖為橫走莖，質地堅硬，被覆褐色毛。孢子囊群圓形排列在中脈兩側。
生態帶與習性	熱帶、亞熱帶地區 地生	熱帶、亞熱帶闊葉林 藤本地生	熱帶至亞熱帶地區 地生
演化	2 億多年前[三疊-侏儸紀]	2 億多年前[三疊紀-侏儸紀]	2 億多年前[三疊紀-侏儸紀]

續表一

植物名	鬼杪櫨	伏石蕨	鹿角蕨
植株外形 (拍攝: 校園和 三峽)			
學名	<i>Cyathea podophylla</i>	<i>Lemnaphyllum microphyllum</i>	<i>Platycerium bifurcatum</i>
分類	真蕨類(原始薄囊蕨類) 杪櫨科	真蕨類(較進化薄囊蕨類) 水龍骨科	真蕨類(較進化薄囊蕨類) 水龍骨科
棲息地	林內	平野、谷地、山坡	林內
分布	中國大陸華南、琉球、越南、泰國及臺灣低海拔北部	台灣從平地到中海拔	原產澳大利亞東部波利尼西亞等熱帶地區，台灣常見溫室栽培。
特徵	高約 2 公尺，二回羽狀複葉，孢子囊群圓形長在脈上。	根狀莖細長，橫走，有孢子葉和營養葉。孢子囊群長線形。	根狀莖肉質，短而橫臥。基生葉貼生於樹幹，孢子囊群聚孢子葉先端。
生態帶與習性	熱帶、亞熱帶地區 地生	熱帶、亞熱帶闊葉林 著生、岩生	熱帶及亞熱帶地區 著生
演化	2 億多年前[三疊紀-侏儸紀]	1 億多年前[白堊紀至早第三紀]	1 億多年前[白堊紀至早第三紀]

續表一




植物名	毛蕨	台灣山蘇花	杯狀蓋骨碎補
植株外形 (拍攝: 苗栗和 宜蘭)			
學名	<i>Cyclosorus interruptus</i>	<i>Asplenium antiquum</i>	<i>Davallia mariesii</i>
分類	真蕨類(較進化薄囊蕨類) 金星蕨科	真蕨類(較進化薄囊蕨類) 鐵角蕨科	真蕨類(較進化薄囊蕨類) 骨碎補科
棲息地	空曠地、濕地	林內、林緣	林緣
分布	熱帶、台灣中、低海拔沼澤濕地	亞、非洲之熱帶、亞熱帶地區、台灣低海拔地區	印度北部、中國大陸西南部、台灣低海拔地區
特徵	根莖長匍匐狀；孢子囊群位於裂片側脈中上段，孢膜圓腎形	莖粗短直立、葉長橢圓形全緣之單葉；孢膜長線型，長度為葉軸至葉緣一半或較短	根莖匍匐狀，具白色鱗片；葉片五角形，革質，三至四回羽狀分裂，孢膜呈杯狀
生態帶與習性	熱帶、亞熱帶闊葉林 地生、水生	亞熱帶闊葉林 著生、岩生	亞熱帶闊葉林 著生、岩生
演化	1 億多年前[白堊紀至早第三紀]	1 億多年前[白堊紀至早第三紀]	1 億多年前[白堊至早第三紀]

二、探究十二種蕨類植物孢子囊的結構與孢子彈射的歷程

(一)進行孢子囊形態的觀察與記錄，並確認孢子囊的類型




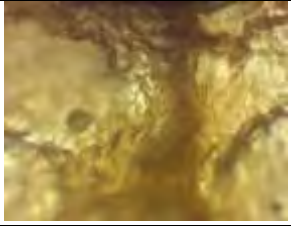

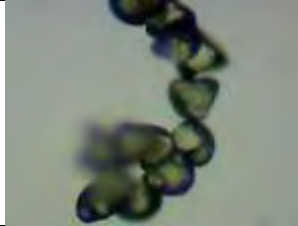
1.以相機拍攝孢子囊群，再以顯微攝錄機拍攝孢子囊和孢子(表二)。取擬蕨類異葉卷柏小小葉上的一孢子囊穗，可看到許多孢子；擬蕨類松葉蕨三突起黃色孢子囊很硬，橫切可看到一圈圈厚細胞和許多的孢子；厚囊蕨類狹葉瓶爾小草的孢子囊凹進去，孢子藏在裡面，縱切後孢子掉落。孢子囊均無柄，孢子數多(表二)(粗估孢子囊大小，單位:mm)

表二: 十二種蕨類植物分類、植株外形、孢子囊和孢子(「→」孢子囊,「←」孢子囊柄)







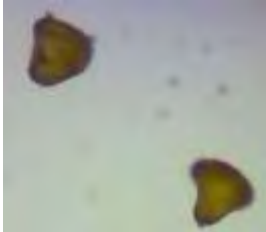
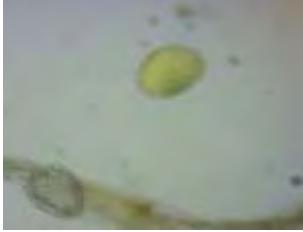

植物名	異葉卷柏	松葉蕨	狹葉瓶爾小草
分類	擬蕨類、卷柏科	擬蕨類、松葉蕨科	真蕨類(厚囊蕨)瓶爾小草科
孢子囊穗、孢子囊和孢子囊枝			
孢子囊形態 (4x10)	 1.3	 0.6	 2.5
孢子 (4x10)或 (10x10)			

續表二:厚囊蕨類的觀音座蓮，孢子囊很大一圈一圈的在葉緣處，孢子較不易看到。原始薄囊蕨類海金沙，孢子囊綠色橄欖球狀，藏在胞膜內，出現頂生環帶細胞，幾乎無柄。芒萁綠色孢子囊由葉片特化一圈斜生環帶包覆孢子，具短柄，孢子數比擬蕨和厚囊蕨少(表二)。




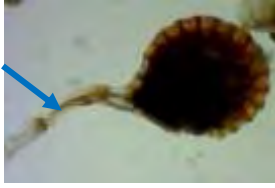

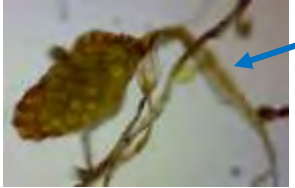
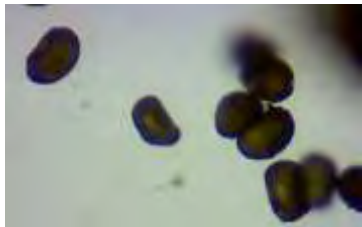
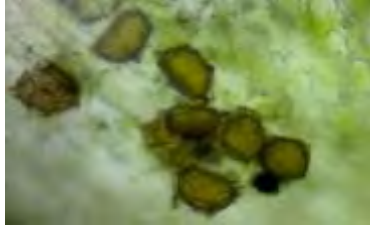

植物名	觀音座蓮	海金沙	芒萁
分類	真蕨類(厚囊蕨)合囊蕨科	真蕨類(原始薄囊蕨)莎草蕨科	真蕨類(原始薄囊蕨)裡白科
孢子囊群			

孢子囊 形態 (4×10)	 1.2	 0.2	 0.8
孢子 (4×10) 或 (10×10)			

續表二: 真蕨類(原始薄囊蕨類)鬼杪欏斜生環帶細胞開始呈現厚薄相間的形態, 看起來無柄。
真蕨類(較進化薄囊蕨類)水龍骨科的伏石蕨和鹿角蕨, 由葉片特化出具長柄孢子囊, 厚薄相間的垂直的環帶細胞, 以及較薄的唇細胞, 環帶沒有完全包覆。孢子數目較原始薄囊蕨類少。

植物名	鬼杪欏	伏石蕨	鹿角蕨
分類	真蕨類(原始薄囊蕨類) 杪欏科	真蕨類(較進化薄囊蕨類) 水龍骨科	真蕨類(較進化薄囊蕨類) 水龍骨科
孢子囊 群			
孢子囊 形態 (4×10)	 0.03	 0.1	 0.5
孢子 (4×10) 或 (10×10)			

續表二:較進化的薄囊蕨類由葉片特化出具長柄孢子囊，厚薄相間的垂直的環帶細胞，以及較薄的唇細胞包覆孢子，孢子數較少，形態仍然有些不同。

植物名	毛蕨	台灣山蘇花	杯狀蓋骨碎補
分類	真蕨類(較進化薄囊蕨類) 金星蕨科	真蕨類(較進化薄囊蕨類) 鐵角蕨科	真蕨類(較進化薄囊蕨類) 骨碎補科
孢子囊群			
孢子囊形態 (4x10)	 0.1	 0.2	 0.3
孢子 (4x10) 或 (10x10)			

2.計算環帶細胞、唇細胞和孢子數並進行比較：

(1)環帶細胞: 取 10 個孢子囊計算環帶細胞數目和平均數(附錄一.表三)，並繪製環帶細胞平均數變化圖(圖 12)。結果顯示，從原始薄囊蕨海金沙頂生環帶開始出現環帶細胞數較少，接著出現芒萁和鬼杪權斜生環帶，環帶細胞數較多，三種蕨類環帶細胞平均 22.1 個，較進化薄囊蕨類的五種蕨類垂直環帶細胞出現，總平均數為 17.08 個。從演化的角度分析，環帶細胞有減少並趨於穩定的趨勢。

表三:十二種蕨類環帶細胞平均數

植物名	環帶細胞平均數
異葉卷柏(擬蕨類)	0
松葉蕨(擬蕨類)	0
狹葉瓶爾小草(厚囊蕨)	0
觀音座蓮(厚囊蕨)	0
海金沙(原始薄囊蕨)	15.7
芒萁(原始薄囊蕨)	26.4
鬼杪權(原始薄囊蕨)	24.3
伏石蕨(較進化薄囊蕨)	13.9
鹿角蕨(較進化薄囊蕨)	19.8
毛蕨(較進化薄囊蕨)	17.8
台灣山蘇花(較進化薄囊蕨)	20.6
杯狀蓋骨碎補(較進化薄囊蕨)	13.3



圖 12:十二種蕨類環帶細胞平均數的變化

(2)唇細胞: 取 10 個孢子囊計算唇細胞數和平均數(附錄一.表四), 並繪製唇細胞平均數變化圖(圖 13)。結果顯示, 從原始薄囊蕨類海金沙、芒萁和鬼杪樺沒有唇細胞, 到較進化薄囊蕨類有觀察到唇細胞, 唇細胞總平均數 5.6 個。較多環帶細胞的蕨類(台灣山蘇花), 唇細胞數相對較少, 數量似乎影響孢子囊的開啟角度。

表四:十二種蕨類唇細胞平均數

植物名	唇細胞平均數
異葉卷柏(擬蕨類)	0
松葉蕨(擬蕨類)	0
狹葉瓶爾小草(厚囊蕨)	0
觀音座蓮(厚囊蕨)	0
海金沙(原始薄囊蕨類)	0
芒萁(原始薄囊蕨)	0
鬼杪樺(原始薄囊蕨)	0
伏石蕨(較進化薄囊蕨)	6.3
鹿角蕨(較進化薄囊蕨)	7.5
毛蕨(較進化薄囊蕨)	6
台灣山蘇花(較進化薄囊蕨)	2.4
杯狀蓋骨碎補(較進化薄囊蕨)	5.8

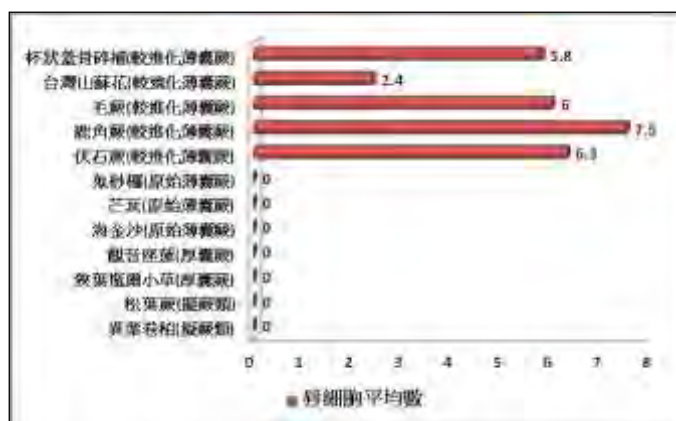


圖 13:十二種蕨類唇細胞平均數的變化

(3)孢子數: 約取 8 個孢子囊計算大約的孢子數和平均數(附錄一 .表五), 並繪製環帶細胞平均數變化圖(圖 14)。鹿角蕨因採集後立即彈射和觀音座蓮則未能觀察到群聚孢子所以未列出。結果顯示, 從擬蕨到較進化薄囊蕨類孢子數下降, 且趨於穩定(較進化薄囊蕨類平均為 57.6), 可能是保護孢子的結構越來越進步, 且孢子的形態多變。

表五:十種蕨類孢子數的平均數

植物名	孢子數平均數
異葉卷柏(擬蕨類)	600
松葉蕨(擬蕨類)	25000
狹葉瓶爾小草(厚囊蕨)	28000
海金沙(原始薄囊蕨類)	43.3
芒萁(原始薄囊蕨)	142.1
鬼杪樺(原始薄囊蕨)	47.3
伏石蕨(較進化薄囊蕨)	78
毛蕨(較進化薄囊蕨)	48.6
台灣山蘇花(較進化薄囊蕨)	56.3
杯狀蓋骨碎補(較進化薄囊蕨)	51.4





圖 14:十種蕨類孢子數平均數的變化

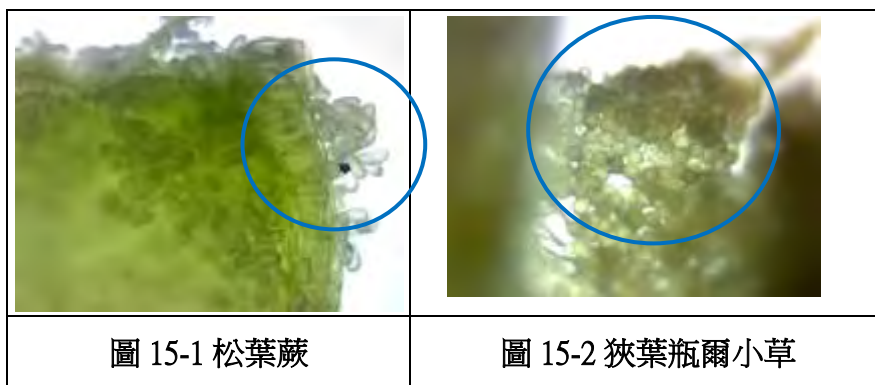
(4)依據以上結果進行孢子囊結構整理(表六):

表六:蕨類孢子囊結構整理與分析表

分類	環帶細胞	唇細胞	柄	孢子數	小結
擬蕨類	×	×	×	約 12800	葉子很小，孢子囊較厚於小葉上，孢子小、數量多，環帶和唇細胞均未出現。
厚囊蕨	×	×	×	約 28000	葉片開始變大，孢子囊較厚，位置開始改變，環帶和唇細胞均未出現，孢子數多。
原始薄囊蕨	頂生斜生 → 斜生 → 厚薄相間斜生 平均:22.1 個	×	無柄 短柄	平均:77.5	孢子囊結構改變，環帶細胞出現，形態有三種變化；開始出現「柄」固定孢子囊；唇細胞未出現，部分具孢膜保護孢子，孢子數量不具規律性。
較進化薄囊蕨	厚薄相間 垂直 平均:17.04 個	已出現 平均:5.6	長柄	平均:58.5	厚薄相間垂直環帶出現，長柄固定孢子囊於葉背，環帶與唇細胞數呈不同比例；孢子受保護數目減少。

(二) 進行孢子囊開閉歷程和射程的觀察與記錄(附錄二) (倍率:4×10;「」孢子囊開啟順序)

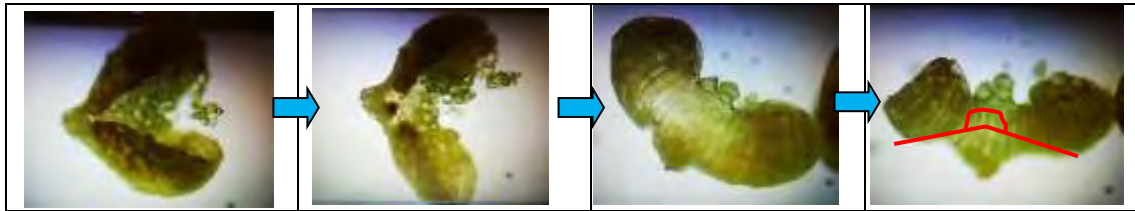
- 擬蕨類的異葉卷柏和松葉蕨，厚囊蕨類的狹葉瓶爾小草和觀音座蓮，孢子囊沒有彈射的情況。孢子在成熟後直接掉落，或者因乾燥或外力傳播，以松葉蕨和狹葉瓶爾小草為例(圖 15-1, 15-2)(「」孢子)。



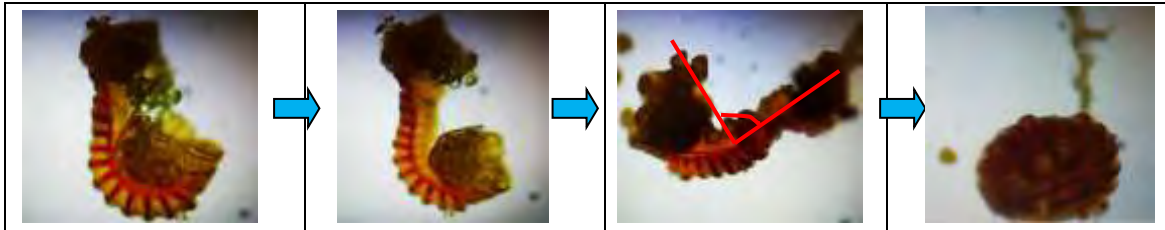
- 真蕨類(原始薄囊蕨)莎草蕨科海金沙，觀察到孢子囊的開啟不大且時間很長；角度從 40 到 48 度，沒有彈射；孢子囊有扭轉的情形，未觀察到其閉合(下圖 16)。



- 真蕨類(原始薄囊蕨)裡白科芒萁，斜生環帶的孢子囊開啟後閉合或彈開，在這過程中會進行扭轉(下圖 17)，開啟角度最大為 240 度，平均每秒開啟 3.91 度。



4.真蕨類(原始薄囊蕨)杪欏科的鬼杪欏(下圖 18)，斜生環帶細胞環繞整個孢子囊，開啟時似乎受到影響，因此角度較小之後閉合，最大為 146 度，平均每秒開啟 3.01 度。



5.真蕨類(較進化薄囊蕨類)水龍骨科的伏石蕨(圖 19)，厚薄相間的垂直的環帶細胞和較薄的唇細胞，開啟角度很大並反轉，可達 340 度，開啟時稍微扭轉，之後閉合或彈開，平均每秒開啟 3.14 度；水龍骨科的鹿角蕨(圖 20)，開啟時稍微扭轉，同樣開啟角度很大並反轉可達 350 度後彈開，平均每秒開啟 3.79 度。

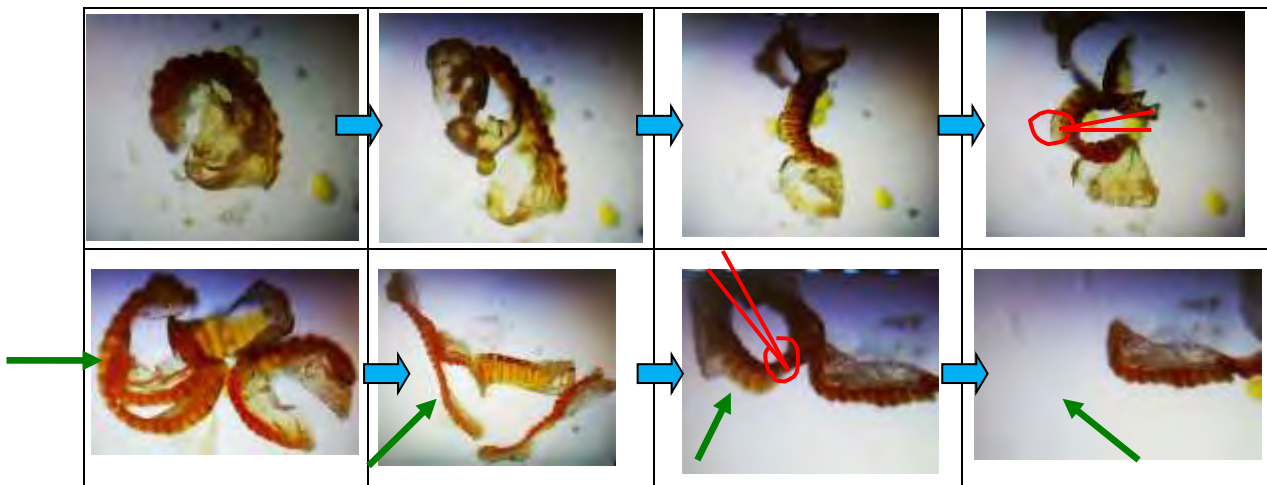
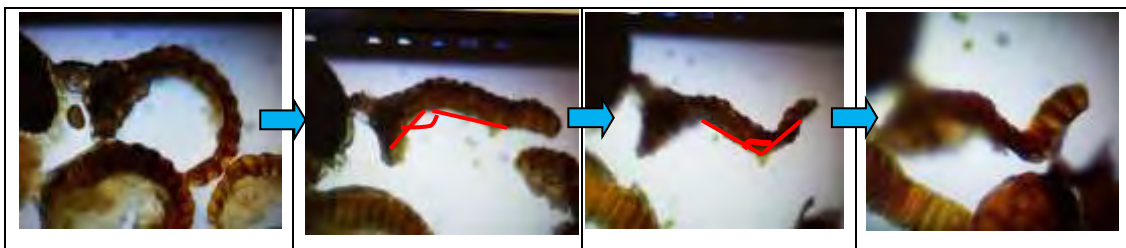
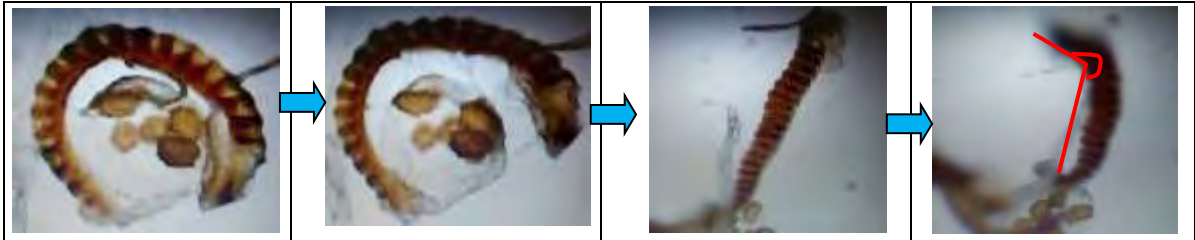


圖 19.20 伏石蕨(上)和鹿角蕨(下)孢子囊開啟的過程

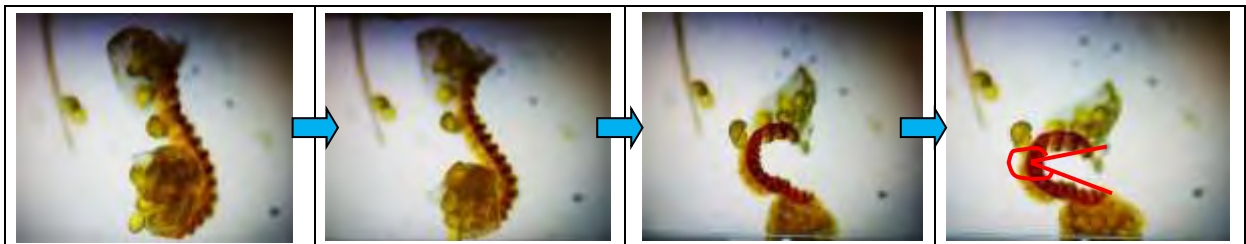
6.真蕨類(較進化薄囊蕨類)金星蕨科毛蕨(下圖 21)，具厚薄相間垂直環帶細胞和較薄的唇細胞開啟角度達 232 度之後彈開，扭轉的情形較多，平均每秒開啟 3.37 度。



7.真蕨類(較進化薄囊蕨類)鐵角蕨科台灣山蘇花(下圖 22)，在 56 屆全國科展中曾經研究過孢子囊開啟角度達 180 度，甚至達 225 度，本次研究再進行一次，實驗結果與之前差距不大，觀察到的具厚薄相間的垂直環帶細胞和較薄唇細胞，開啟角度達 275 度之後彈開或關閉，計算平均每秒開啟 2.58 度。



8.真蕨類(較進化薄囊蕨類)骨碎補科杯狀蓋骨碎補(下圖 23)，具厚薄相間的垂直環帶細胞和較薄唇細胞，開啟後反轉角度可達 338 度之後彈開或閉合，扭轉情形較少，平均每秒開啟 10.04 度，相較於其他所研究植物，開啟速度較快(圖 26)。推測孢子囊開啟過程越來越穩定並以較短的時間完成孢子散播。



9.從孢子囊能開啟的原始薄囊蕨類的海金沙、芒萁和鬼杪欏，到五種較進化薄囊蕨類，盡可能選取 3-4 個視訊影像，計算平均開啟角度、最大開啟角度和平均每秒開啟角度，接著比較並推測哪一種蕨類的開啟狀況較佳(附錄二):

(1)平均開啟角度: 較進化薄囊蕨類的骨碎補科的杯狀蓋骨碎補和水龍骨科的伏石蕨平均開啟角度較大，原始薄囊蕨類莎草蕨科的海金沙開啟角度較小(圖 24)。由大到小依序:

杯狀蓋骨碎補 > 鹿角蕨 > 伏石蕨 > 台灣山蘇花 > 毛蕨 > 芒萁 > 鬼杪欏 > 海金沙

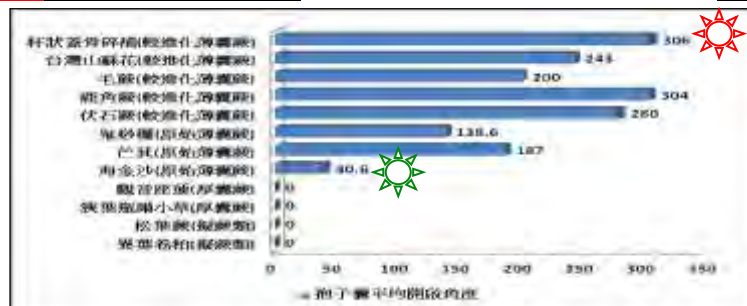




圖 24 十二種蕨類孢子囊平均開啟角度比較圖(「 較大」 較小)

(2)最大開啟角度: 較進化薄囊蕨類水龍骨科鹿角蕨和伏石蕨，以及骨碎補科杯狀蓋骨碎補，開啟 330 度，原始薄囊蕨類莎草蕨科海金沙開啟角度較小(圖 25)。由大到小依序:

鹿角蕨 > 伏石蕨 > 杯狀蓋骨碎補 > 台灣山蘇花 > 芒萁 > 毛蕨 > 鬼杪欏 > 海金沙

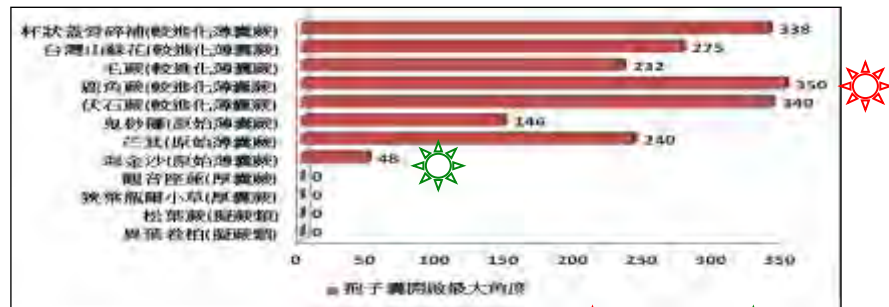


圖 25 十二種蕨類孢子囊最大開啟角度比較圖(「☀️」較大「☀️」較小)

(3)平均每秒開啟角度: 骨碎補科的杯狀蓋骨碎補開啟的速度較快，原始薄囊蕨類的裡白科的芒萁次之，原始薄囊蕨莎草蕨科的海金沙開啟的較慢 (圖 26)。由快到慢依序:

杯狀蓋骨碎補 > 芒萁 > 鬼杪欏 > 毛蕨 > 伏石蕨 > 鬼杪欏 > 台灣山蘇花 > 海金沙

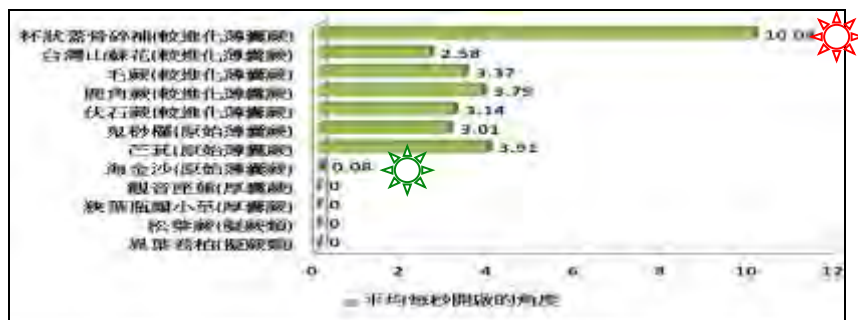


圖 26 十二種蕨類孢子囊平均每秒開啟角度比較圖(「☀️」較快「☀️」較慢)

10.孢子囊射程: 結果顯示(附錄三.圖 27) 鹿角蕨最大開啟角度為 350 度，但射程並不遠，推測與其著生有關；鬼杪欏平均開啟角度較小但最遠，推測與其地生有關。杯狀蓋骨碎補平均開啟角度最大，僅次於鬼杪欏和芒萁，推測演化的程度可能較高。

遠到近: 鬼杪欏 > 芒萁 > 杯狀蓋骨碎補 > 毛蕨 > 伏石蕨 > 台灣山蘇花 > 鹿角蕨

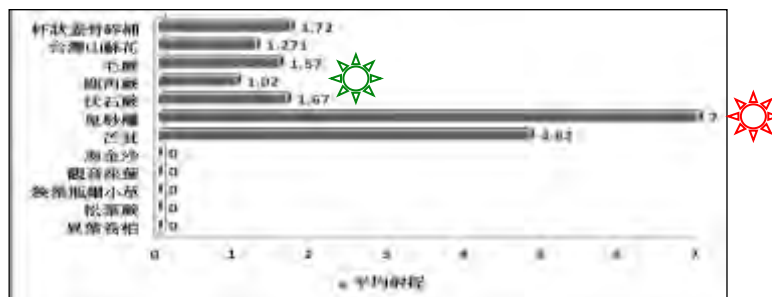


圖 27 孢子囊平均射程比較圖(「☀️」較遠「☀️」較近)

11.計算環帶細胞垂直性(附錄四)(下表七): 較進化薄囊蕨水龍骨科伏石蕨較近於垂直, 骨碎補科杯狀蓋骨碎補差異值為 0.12 次之; 鬼杪欏 0.77 垂直性不佳(圖 28)(表七)

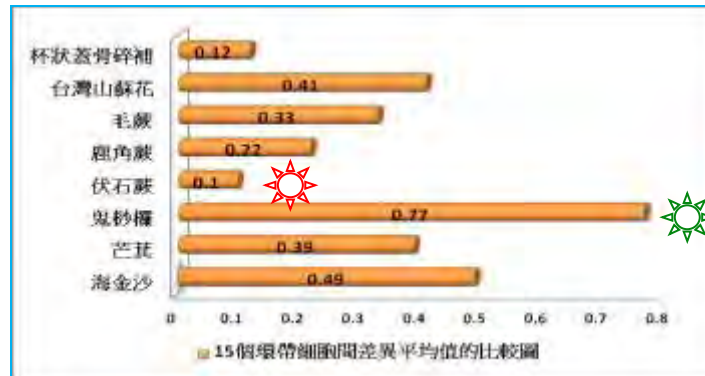





圖 28 孢子囊環帶細胞垂直程度比較圖(「 較垂直」 較不垂直)

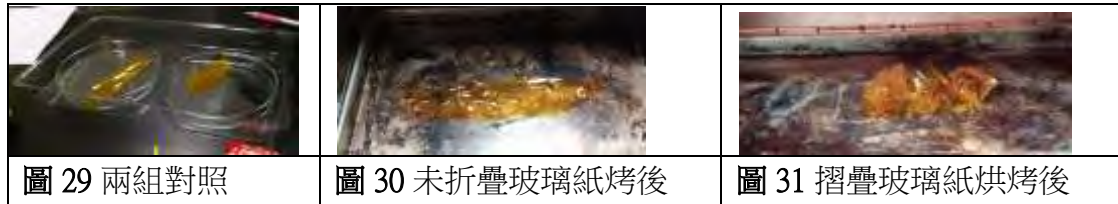
表七環帶細胞垂直性比較與分析表

傾斜 鬼杪欏 (4X10)		<ol style="list-style-type: none"> 1.鬼杪欏:垂直性最差 0.77, 開啟角度小, 地生, 推測與厚薄相間環帶完整包覆孢子囊有關。 2.海金沙:垂直性 0.49, 開啟角度很小不彈射, 地生。推測和斜生環帶有關。
居中 芒萁 (4X10)		<ol style="list-style-type: none"> 1.台灣山蘇花:垂直性 0.41, 環帶細胞數多, 唇細胞較少, 開啟角度大但速度慢。 2.芒萁:垂直性 0.39, 有傾斜環帶開啟角度小 3.毛蕨:垂直性 0.33, 開啟時扭轉情況嚴重, 開啟角度相對較小, 推測是地生的原因
垂直 伏石蕨 (4X10)		<ol style="list-style-type: none"> 1.鹿角蕨:垂直性 0.22 2.杯狀蓋骨碎補:垂直性 0.12 3.伏石蕨:垂直性 0.1 <p>三種蕨類開啟角度大, 扭轉情形較少, 環帶細胞與唇細胞比例為 2-2.5:1, 唇細胞數較多</p>

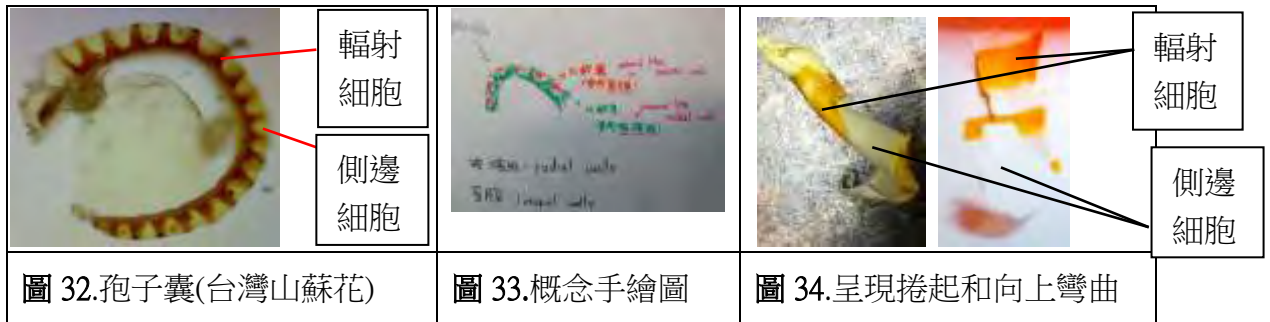
(三)探討孢子囊開啟與閉合的原因

相關文獻(參考資料 6.7)提到由於玻璃紙以棉漿、木漿等天然纖維為原料, 可以做為半透膜, 而半透膜為生物細胞膜上能讓水分或小分子物質進出, 而大分子物質不能通過;此外, 我們也運用蛋膜於實驗中。結果顯示如下:

1. 模擬芒萁(原始薄囊蕨類): 泡水後, 未進行折疊的玻璃紙, 在進行烘烤之後整個玻璃紙呈經過折疊的玻璃紙則有彎曲的情形。烘烤的過程中, 在水分散失的情況下, 呈現彎曲的情形(圖 29~31)。

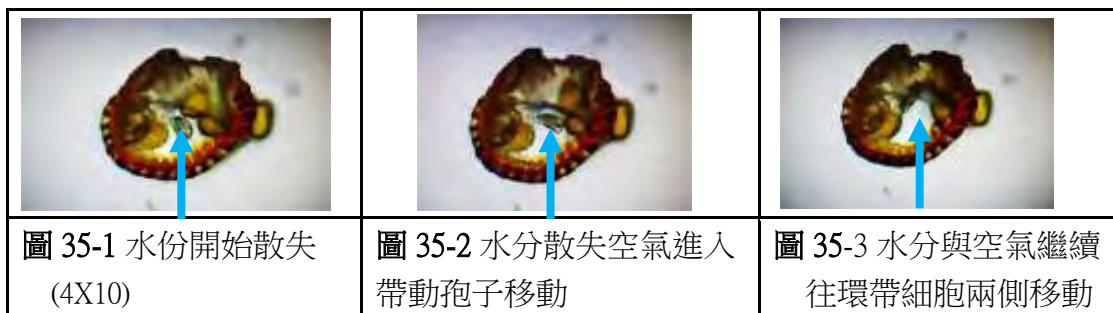


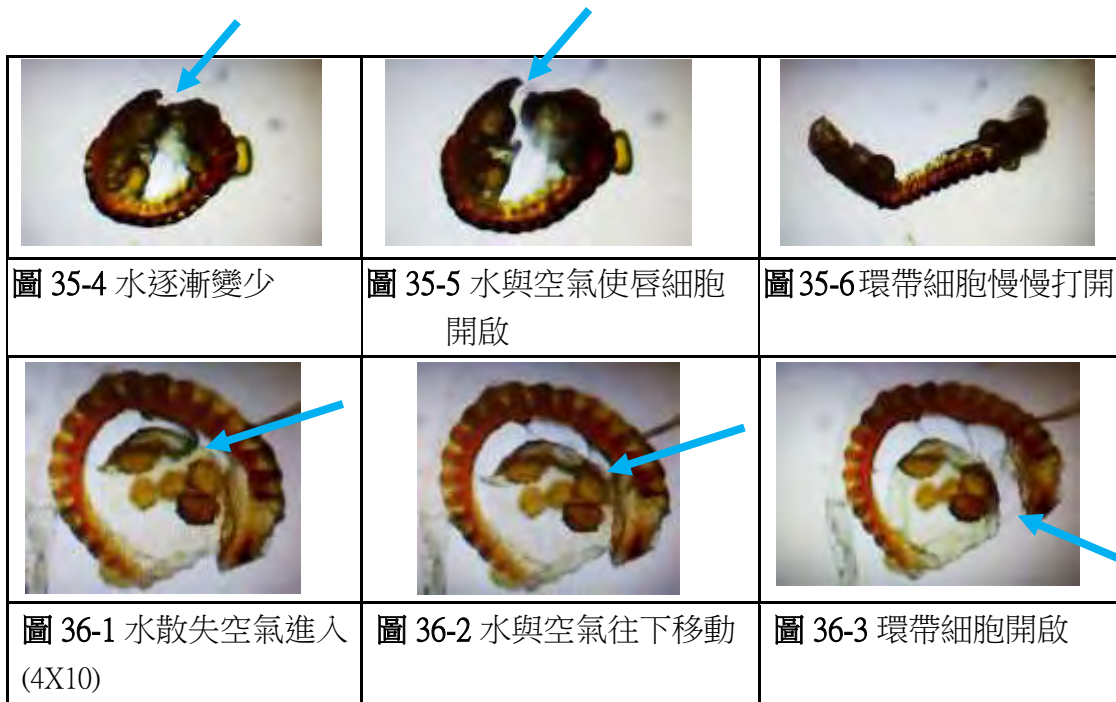
2. 模擬真蕨類的較進化薄囊蕨類: 自行設計與思考以玻璃紙和蛋膜進行實驗並製作概念圖
這是由於環帶細胞較厚(輻射細胞)和較薄(側邊細胞)(參考資料 5), 所以將玻璃紙替代較厚輻射細胞, 蛋膜為較薄的側邊細胞。(圖 32.33)實驗結果呈現捲起和向上彎曲(圖 34)



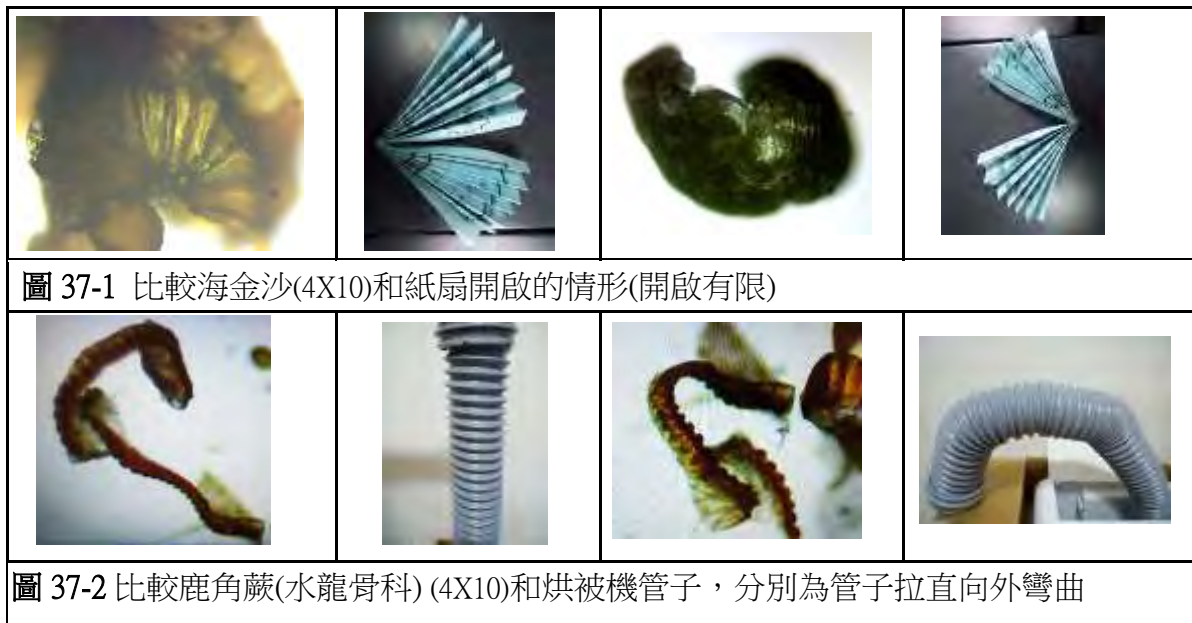
3. 結果顯示經過摺疊的玻璃紙有助於烘烤後彎曲, 同時整個實驗和實際我們拍攝到的(下圖 35.36 鹿角蕨和台灣山蘇花)進行思考, 並推測開啟與閉合的歷程和原因如下:

- (1) 根吸水後, 水分子間的內聚力和光照射進行蒸散作用的拉力, 使得假導管輸水到葉背的孢子囊群, 孢子囊的水分散失, 促使空氣進入水和空氣彼此碰撞的力量使環帶細胞開啟, 當壓力累積到一定程度時, 大量氣泡會出現在孢子囊中。
- (2) 環帶細胞結構使彈射的過程中容易開啟, 當纖維素失去彈性而無法完全回復原狀。
- (3) 孢子囊在顯微鏡下水分散失的過程會慢慢出現空氣, 先散失的位置促使較薄的唇細胞打開, 而參考資料 3 提到孢子囊具有通道似乎和我們的結果有所不同; 推測環帶細胞和唇細胞較薄, 可以讓水和空氣通過, 若水分散失和空氣移動的位置在中間, 將會往兩邊開啟(圖 35); 若側向一邊, 則利於單邊開啟(圖 36), 並沒有看到循一定路徑移動。





(4)我們觀察到環帶細胞結構的改變與設計，有利於孢子囊的開啟與關閉，綜合水分蒸散和厚薄設計，環帶的斜生與垂直也可能決定其彈射情形(在研究報告中也會進行計算)，而生活中物品可以看到(舉兩個例子)(圖 37-1,37-2)。






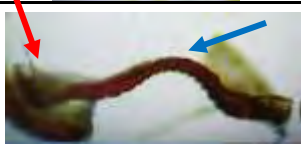



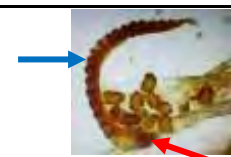

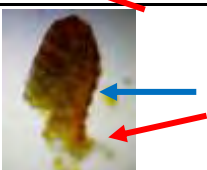


(四)探討孢子囊開合、孢子彈射與槓桿原理的相關性

我們分別觀察 3-4 個視訊，結果發現擬蕨類異葉卷柏和松葉蕨，真蕨類(厚囊蕨)狹葉瓶爾小草和觀音座蓮沒有開啟和彈射。真蕨類(原始薄囊蕨類)的海金沙和芒萁為第一類型槓桿支點在中央固定不動，兩邊同時開啟；真蕨類(原始薄囊蕨類)的鬼杪欏為第三類型槓桿，支點固定在右邊，施力點在中央，單邊開啟；真蕨類(較進化薄囊蕨類)伏石蕨支點固定於

右邊不動，環帶慢慢向後翹起，為第三類型槓桿；真蕨類(較進化薄囊蕨類)鹿角蕨、毛蕨、台灣山蘇花和杯狀蓋骨碎補，同時具第一類型槓桿和第三類型槓桿(費力省時)(表八)，如此可能更有利於孢子彈射和散播，在演化上也趨向於較為進化。

表八:十二種蕨類孢子囊開啟與槓桿原理的相關性(「←紅」為支點；「←藍」為施力點)

植物名	第一類型槓桿	第三類型槓桿
異葉卷柏	×	×
松葉蕨	×	×
狹葉瓶爾小草	×	×
觀音座蓮	×	×
海金沙 (原始薄囊蕨類)		×
芒萁 (原始薄囊蕨類)		×
鬼杪欏 (原始薄囊蕨類)	×	
伏石蕨 (較進化薄囊蕨類)	×	
鹿角蕨 (較進化薄囊蕨類)		
毛蕨 (較進化薄囊蕨類)		
台灣山蘇花 (較進化薄囊蕨類)		
杯狀蓋骨碎補 (較進化薄囊蕨類)		

三、探究十二種蕨類孢子囊結構、孢子彈射與生長方式的關係

(一)確認十二種蕨類植物的生長方式(習性)

1.擬蕨類(異葉卷柏)、厚囊蕨類(狹葉瓶爾小草、觀音座蓮)和原始薄囊蕨類(海金沙、芒萁和鬼杪欏)皆為地生，乾燥環境、孢子成熟後掉落或因外力而散播，芒萁和鬼杪欏射程遠有利於地生。唯獨擬蕨類松葉蕨為著生，推測具有三個圓形突起孢子囊成熟裂開孢子散出，具地下莖可著生於樹幹。

2.較進化薄囊蕨類的伏石蕨、鹿角蕨、台灣山蘇花和杯狀蓋骨碎補皆是著生，在乾燥的環境且孢子成熟後進行彈射，射程較不遠，唯有毛蕨是地生，射程僅次杯狀蓋骨碎補。

(二)分析孢子囊結構、孢子彈射與生長方式的相關性

從已拍攝好的十二種蕨類的孢子囊結構(計算環帶細胞結構的垂直與否、環帶細胞、唇細胞數)、孢子彈射機制和計算開啟角度進行分析與討論(表九)。

表九: 十二種蕨類孢子囊結構、孢子彈射與生長方式(習性)分析表

植物名	生長方式(習性)	照片	孢子囊結構與彈射	分析與討論
異葉卷柏	地生		孢子位於孢子囊穗上， 沒有彈射	孢子 <u>成熟後掉落</u> 或因外力而散播。
松葉蕨	著生		孢子囊具三個圓形突起孢子 沒有彈射	孢子囊 <u>成熟裂開</u> 時為褐色，孢子散播出去。
狹葉瓶爾小草	地生		半埋在孢子囊枝內的孢子， 沒有彈射	孢子 <u>成熟後掉落</u> 或因外力而散播。
觀音座蓮	地生		孢子囊壁厚，孢子個體清晰可見， 沒有彈射 。	孢子 <u>成熟後掉落</u> 或因外力而散播。
海金沙	地生		具 <u>頂生的斜生環帶</u> 的孢子囊呈現橄欖狀，開啟而 沒有彈射 。	斜生環帶平均 15.7 個，平均開啟角度約 40.6 度，平均每秒開啟 0.08 度。環帶細胞垂直性的差異值平均 0.49， 沒有彈射 和不利於著生。

芒萁	地生		具 <u>斜生環帶</u> 的孢子囊群圓形， <u>完整包覆</u> 孢子， <u>可以彈射</u> ， <u>射程較遠</u> ， <u>僅次於鬼杪欏</u> 。	斜生環帶平均 26.4 個，沒有唇細胞，環帶垂直性平均 0.39，平均開啟 187 度， <u>影響其著生</u> 。平均每秒開啟 3.91(比其他較進化薄囊蕨類快)，使其成群而廣泛生長。
鬼杪欏	地生		具 <u>斜生環帶</u> 且 <u>厚薄相間</u> 的孢子囊 <u>完整包覆</u> 孢子， <u>可以彈射</u> ， <u>射程最遠</u> 。	斜生環帶平均 24.3 個，沒有唇細胞，環帶垂直性平均 0.77，平均開啟 138.6 度，平均每秒開啟 3.01， <u>影響著生</u> 。
伏石蕨	著生 岩生		具 <u>垂直環帶</u> 且 <u>厚薄相間</u> 的孢子囊未完全包覆孢子， <u>可以彈射</u> 。	垂直環帶平均 13.9 個唇細胞平均 6.3 個，環帶垂直性平均 0.1，使得平均開啟 280 度，平均每秒開啟 3.14 度， <u>開啟和彈射佳</u> ，可高、中和低處著生。
鹿角蕨	著生		具 <u>垂直環帶</u> 且 <u>厚薄相間</u> 的孢子囊 <u>包覆</u> 孢子較多， <u>可以彈射</u> 。 <u>射程距離最近</u> 。	垂直環帶平均 19.8 個唇細胞平均 7.5 個，環帶垂直平均 0.22，使得平均開啟 304 度，平均每秒開啟 3.79 度。 <u>環帶細胞總數多</u> ，垂直性佳，平均開啟角度大，可見居高處著生。
毛蕨	地生 水生		具 <u>垂直環帶</u> 且 <u>厚薄相間</u> 的孢子囊 <u>包覆</u> 孢子較多， <u>可以彈射</u> 。 <u>彈射時扭轉情形較明顯</u> 。	垂直環帶平均 17.8 個唇細胞平均 6 個，環帶垂直性平均 0.33，使得平均開啟 200 度，平均每秒開啟 3.37 度。 <u>垂直性較差</u> ，開啟角度不大，且會扭轉，可能是地生原因。
台灣山蘇花	著生		具 <u>垂直環帶</u> 且 <u>厚薄相間</u> 的孢子囊 <u>包覆</u> 孢子較多， <u>可以彈射</u> 。	垂直環帶平均 20.6 個唇細胞平均 2.4 個，環帶垂直性平均 0.41，使得平均開啟 243 度，每秒平均開啟 2.58 度。 <u>推測垂直性較低</u> 和唇細胞數較少， <u>影響開啟角度和速度</u> 。透過觀察可發現一區的植株著生在一起。
杯狀蓋骨碎補	著生		具 <u>垂直環帶</u> 且 <u>厚薄相間</u> 的細胞的孢子囊 <u>包覆</u> 孢子較少， <u>可以彈射</u> ， <u>射程距離僅次於鬼杪欏和芒萁</u> 。	垂直環帶平均 13.1 個唇細胞平均 5.8 個，環帶垂直性平均 0.12，平均開啟 306 度，每秒平均開啟 10.04 度。 <u>環帶細胞垂直性佳</u> ，平均開啟角度大和速度快，可利於孢子彈射和居高位著生。

四、探究十二種蕨類孢子囊結構、孢子彈射與演化的關係

(一)查詢十二種蕨類植物的演化時期(參考資料 1)

- 1.擬蕨類的異葉卷柏、松葉蕨，真蕨類厚囊蕨類的狹葉瓶爾小草和觀音座蓮，原始薄囊蕨類的海金沙、芒萁和鬼杪欏，皆出現於 2 億多年前[三疊紀-侏羅紀]。
- 2.真蕨類五種較進化薄囊蕨類出現於 1 億多年前[白堊紀至早第三紀]。

(二)分析孢子囊結構、孢子彈射、習性與演化的相關性，並繪製演化樹(圖)(表十、圖 40)。

表十: 十二種蕨類孢子囊結構、孢子彈射、生長方式(習性)與演化分析表

植物名	孢子囊結構	孢子囊開啟與孢子彈射	習性	演化分析
1.擬蕨類和厚囊蕨-異葉卷柏、松葉蕨、狹葉瓶爾小草、觀音座蓮	(1)擬蕨類: 葉子很小 孢子囊較厚於小葉上 (2)厚囊蕨: 葉片開始變大, 孢子囊較厚, 位置開始改變。 (3)兩者環帶和唇細胞未出現	(1) 孢子小、數量多 (2)孢子成熟後掉落或因外力而散播, 沒有彈射。	地生	(1)年代:2 億多年前 (2)孢子囊結構厚且原始, 不利保護孢子 (3)由於厚囊蕨類葉片較大, 孢子囊位置開始改變, 推測比擬蕨類較早出現。
2.原始薄囊蕨類 (1)莎草蕨科海金沙 (2)裡白科芒萁 (3)杪欏科鬼杪欏	(1) 海金沙 頂生斜生環帶孢子囊 (2)芒萁 斜生環帶孢子囊完整包覆孢子, 短柄。 (3)鬼杪欏 斜生環帶且厚薄相間孢子囊完整包覆孢子, 無柄。	◎比較孢子囊開啟、槓桿和垂直性: (1)平均開啟角度: 芒萁 > 鬼杪欏 > 海金沙 (2)最大開啟角度: 芒萁 > 鬼杪欏 > 海金沙 (3)平均每秒開啟: 芒萁 > 鬼杪欏 (4)垂直性: 芒萁 > 海金沙 > 鬼杪欏 (5)射程: 鬼杪欏 > 芒萁 ◎槓桿: (1)海金沙、芒萁第一類型 (2)鬼杪欏第三類型 ◎孢子彈射: 僅海金沙不會彈射	地生	(1)年代:2 億多年前 (2)依據孢子囊結構、開啟和彈射, 都優於擬蕨和厚囊蕨類。 (3)依據孢子囊結構和開啟, 推測海金沙先出現, 鬼杪欏最後出現。 (4)鬼杪欏的開啟角度和垂直性均次於芒萁, 思考是因為環帶細胞形態近於較進化薄囊蕨類, 以及槓桿機制, 認為她較晚出現。
3.較進化薄囊蕨類 (1)水龍骨科 a.鹿角蕨 b.伏石蕨 (2)金星蕨科 毛蕨	(1)鹿角蕨和伏石蕨具垂直環帶且厚薄相間孢子囊未完全包覆孢子。 (2)毛蕨具垂直環帶且厚薄相間的孢子囊彈射時扭轉明顯。	◎比較孢子囊開啟角度與垂直性: (1)平均開啟角度: 杯狀蓋骨碎補 > 鹿角蕨 > 伏石蕨 > 台灣山蘇花 > 毛蕨 (2)最大開啟角度: 鹿角蕨 > 伏石蕨 > 杯狀蓋骨碎補 > 台灣山蘇花 > 毛蕨 (3)平均每秒開啟: 杯狀蓋骨碎補 > 鹿角蕨 > 毛蕨 > 伏石蕨 > 台灣山蘇花	著生	(1)年代:1 億多年前 (2)垂直環帶且厚薄相間孢子囊, 出現唇細胞利於開啟, 長柄利於固定和彈射。孢子囊結構、開啟角度、垂直性、槓桿和習性, 都優於原始薄囊蕨類

<p>(3)鐵角蕨科 台灣山蘇花</p> <p>(4)骨碎補科 杯狀蓋骨碎補</p>	<p>(3)台灣山蘇花具<u>垂直環帶</u>且<u>厚薄相間</u>孢子囊未完全包覆孢子。</p> <p>(4)杯狀蓋骨碎補具<u>垂直環帶</u>且<u>厚薄相間</u>的孢子囊未完全包覆孢子。</p> <p>(5)五種均具唇細胞和長柄</p>	<p>◎垂直性: 伏石蕨 > 杯狀蓋骨碎補 > 鹿角蕨 > 毛蕨 > 台灣山蘇花</p> <p>◎槓桿:第一、三類型, 只有伏石蕨為第三類型槓桿</p> <p>◎射程:均可以彈射, 但距離較原始薄囊蕨類近。推測與生長方式有關 → 杯狀蓋骨碎補 > 毛蕨 > 伏石蕨 > 台灣山蘇花 > 鹿角蕨</p> <p>◎孢子受到保護, 數目減少</p>	<p>(3)毛蕨開啟角度和垂直性不佳<u>扭轉情形</u>多不利著生</p> <p>(4)台灣山蘇花開啟角度較小, 推測與環帶細胞和唇細胞數的比例有關。</p> <p>(5)鹿角蕨、伏石蕨和杯狀蓋骨碎補, 環帶細胞和唇細胞數目比例近於2~2.5:1 垂直性佳開啟角度大, 利於著生。</p> <p>(6)從孢子囊結構、開啟角度、垂直性、射程和槓桿, 推測杯狀蓋骨碎補較進化</p>
--	--	---	--

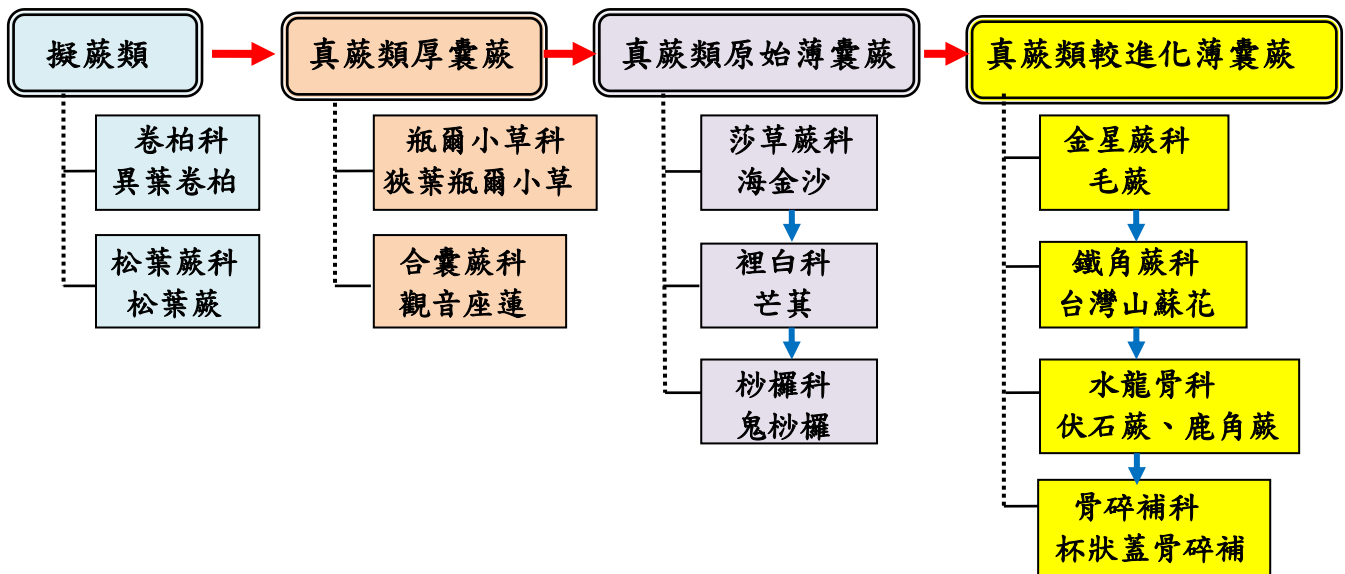


圖 40 十二種蕨類植物演化樹(圖)

陸、討論

一、認識十二種蕨類的分類和基本資料

- (一)起源：我們好奇可以生長在樹上、地上或岩石上的蕨類植物，找尋植物演化的過程，發現她們在 4 億多年就來臨，直到 1 億多年前開花植物和它競爭而占優勢，蕨類植物便開始發展出各種適應機制。
- (二)研究材料確認：查詢文獻、找尋研究樣本並確認，並希望能從周邊或可能會出現物種的地方，實際觀察其生長環境，我們便設定從校園出發，之後到宜蘭福山植物園、新北市三峽、桃園大溪到苗栗後龍，原本選定著生蕨類，查閱圖鑑後，決定一步步往較為原

始的蕨類研究。選定之後，確認它的分類、形態和特性。

二、探究十二種蕨類孢子囊的結構與孢子彈射歷程

(一)思考歷程：在 56 屆科展台灣山蘇花研究中，已知道她的孢子囊開啟與孢子彈射的機制

本次研究希望能更深入去探究較原始和其他較進化薄囊蕨類，她們的孢子囊結構、孢子彈射機制、開啟的原因是什麼？如何想辦法改變自己去適應環境？都是我們想要知道的

(二)研究方法確認：從孢子囊結構的認識開始，進行孢子囊開合過程的觀察、記錄和拍照，為了避免實驗誤差且時間有限，盡量多選取幾個孢子囊，進行研究與比較。

(三)深入探討：我們以透過拍照和實際量化的方式，進行以下的探討：

1.孢子囊的結構：拍攝和觀察孢子囊→計算環帶、唇細胞數和垂直性→進行探討

(1)擬蕨類：早期演化出的蕨類，本次研究的異葉卷柏和松葉蕨，孢子囊壁較硬形態較不同，結構簡單，因缺少保護孢子構造而產生大量的孢子。

(2)真蕨類厚囊蕨類：所研究的狹葉瓶爾小草和觀音座蓮中，狹葉瓶爾小草要生長在較濕冷的地方，外形和一般小草很像，所以花了一些時間找尋和紀錄，她的孢子埋在孢子囊中，切開後才找到。觀音座蓮的孢子囊像花朵，孢子不易觀察，這是要再努力的地方。在保護孢子方面似乎有了改善。跟擬蕨類不同點在於具托葉且葉子變大。

(3)真蕨類原始薄囊蕨類：觀察海金沙、芒萁和鬼杪櫨的孢子囊，看到蕨類嘗試改變結構的努力過程，孢子囊從無柄到短柄，頂生斜生環帶和斜生環帶出現，從只能開啟的海金沙到開啟後能彈射的芒萁和鬼杪櫨，雖然角度不大但有了進步。孢子開始有保護，數量開始降低。

(4)真蕨類較進化薄囊蕨類：觀察伏石蕨、鹿角蕨、毛蕨、台灣山蘇花和杯狀蓋骨碎補較薄的孢子囊有了長柄，其中的環帶細胞(輻射與側邊細胞)開始較為垂直，有利於開啟與彈射，我們聯想到生活中的物品，並試著操作得以更了解蕨類構造。同時，蕨類修正環帶細胞和唇細胞數量，以利於孢子散播。由於胞膜出現，孢子受到保護，數量較少並趨於穩定，相當有趣的動物從魚類、兩棲類、爬蟲類、鳥類和哺乳類是類似的。

2.孢子囊開啟機制：拍攝孢子囊開啟→測量開啟角度→製作模型探討開啟原因→

分析所使用的槓桿原理

(1) **角度測量**：所選取的蕨類中，從海金沙到杯狀蓋骨碎補都有開啟的情況，在這觀察和紀錄中，先讓孢子囊在顯微鏡下蒸乾(設定在乾燥環境下)，其中鹿角蕨對乾燥相當敏感很快彈開，海金沙相當緩慢。

(2) **開啟原因**：我們從不同方向思考，包括孢子囊結構(半透膜的特性)、植物輸送水份路徑、水與空氣分子特性，並找尋相關素材想建立模型。我們先透過摺疊玻璃紙，確認孢子囊環帶出現的必要性；接著，玻璃紙和蛋膜的彎曲，確認孢子囊厚薄相間的必要性。我們實際拍攝到水份散失的過程，發現其水分散失、空氣進入和移動，可能是決定其運用槓桿原理的原因之一。

3.生長方式(習性)與演化：

(1)**生長方式(習性)**：蕨類孢子囊結構大致上可以決定生長方式，但是我們進一步去思考發現，她們會以不同的其他構造，來因應環境的變動。例如：杯狀蓋骨碎補以葉片掉落的方式、海金沙莖的蔓性很強、松葉蕨的地下莖利於著生等。

(2)**演化**：我們從孢子囊結構(數目與垂直性)、孢子囊開啟角度、射程、孢子數量和槓桿機制探討演化歷程，試著了解其中的變化和學習她們的精神。由於時間有限，未來想研究紫萁科、蹄蓋蕨科和水生蕨類，相信蕨類孢子囊演化的拼圖能更加完整。

4.展望：

(1)在老師的協助下，我們試著了解和計算各種植物環帶細胞數、唇細胞和孢子數的標準差(參考資料 10，經過驗證可運用)，想知道他們(物種內)在演化上波動性(變異)的大小，是否仍有改變的可能，結果發現孢子數的波動(變異)較大，分析也可能在計算時有誤差

(下表 11-1,2,3 由左到右分別為環帶細胞、唇細胞和孢子數)，未來可以進行探討。

分類	植物名	N(取樣數)	M(平均數)	SD(標準差)
原始薄囊蕨	海金沙	10	15.7	1.84
	芒萁	10	26.4	1.85
	鬼杪櫛	10	16.7	0.9
較進化薄囊蕨	伏石蕨	10	13.9	1.09
	鹿角蕨	10	19.8	1.46
	毛蕨	10	17.8	1.83
	台灣山蘇花	10	20.6	1.28
	杯狀蓋骨碎補	10	13.3	0.45

分類	植物名	N(取樣數)	M(平均數)	SD(標準差)
原始薄囊蕨	海金沙	0	0	0
	芒萁	0	0	0
	鬼杪櫛	0	0	0
較進化薄囊蕨	伏石蕨	10	6.3	0.9
	鹿角蕨	10	7.5	0.92
	毛蕨	10	6	0.63
	台灣山蘇花	10	2.4	0.66
	杯狀蓋骨碎補	10	5.8	1.24

分類	植物名	N(取樣數)	M(平均數)	SD(標準差)
原始薄囊蕨	海金沙	8	43.3	5.03
	芒萁	8	142.1	9.7
	鬼杪櫛	8	47.3	3.7
較進化薄囊蕨	伏石蕨	8	72	5.19
	鹿角蕨	0	0	0
	毛蕨	8	48.6	6.34
	台灣山蘇花	8	56.25	6.88
	杯狀蓋骨碎補	8	51.3	3.46

(2)孢子囊和孢子外形變化:我們試著再採集演化重要分岔處的紫萁科粗齒紫萁觀察，發現是環帶居中的孢子囊；演化樹中最後出現的鱗毛蕨亞科的南海鱗毛蕨、蹄蓋蕨科的德式雙蓋蕨觀察孢子外形，發現孢子開始出現凸起，推測可能有助於傳播時附著。目前做初步的觀察，未來將繼續探討。



柒、結論

一、十二種蕨類可分成擬蕨類(異葉卷柏和松葉蕨)、真蕨類厚囊蕨類(狹葉瓶爾小草和觀音座蓮)、真蕨類原始薄囊蕨類(海金沙、芒萁和鬼杪權)和較進化薄囊蕨類(伏石蕨、鹿角蕨、毛蕨、台灣山蘇花和杯狀蓋骨碎補)，大部分生長於低海拔，外形特徵、習性和演化時間具有差異性。



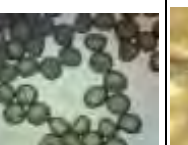
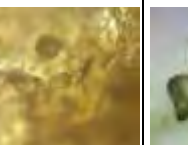
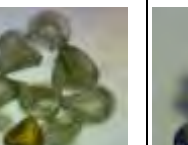


二、十二種蕨類中的擬蕨類和真蕨類厚囊蕨類孢子囊較厚，無柄，形態不相同。真蕨類原始薄囊蕨類海金沙出現頂生斜生環帶，芒萁和鬼杪權的斜生環帶包圍孢子，出現短柄。五種真蕨類較進化薄囊蕨類孢子囊為垂直環帶，具長柄和唇細胞。

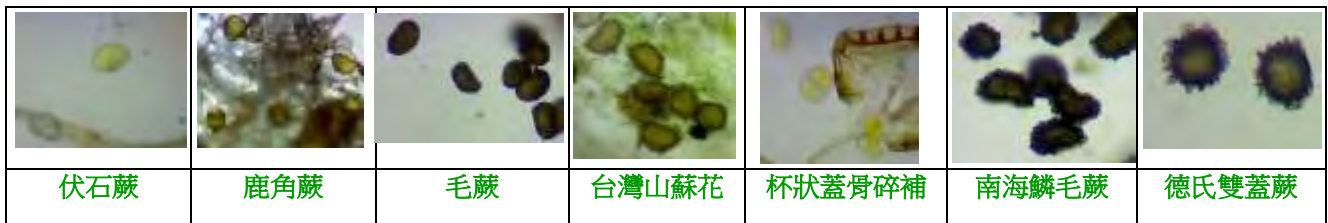
三、3種原始薄囊蕨類環帶細胞平均 22.1 個，沒有唇細胞；五種較進化薄囊蕨類環帶細胞平均 17.08 個，唇細胞 5.6 個。從擬蕨類到真蕨類較進化薄囊蕨類，因孢子受保護使數量逐漸減少並穩定，外形有所改變，所研究五種較進化薄囊蕨類孢子平均數為 57.6 個。以下是孢子囊結構和孢子外形變化的整理(加入已拍攝粗齒紫萁、南海鱗毛蕨和德氏雙蓋蕨):

(a)孢子囊結構變化(4X10):**擬蕨類**→**厚囊蕨類**→**原始薄囊蕨**→**較進化薄囊蕨**)

						
異葉卷柏 - 葉子很小 孢子囊厚	狹葉瓶爾小草 - 孢子囊厚	粗齒紫萁 - 環帶居中	海金沙 - 頂生斜生 環帶	芒萁 - 斜生環帶、 短柄	鬼杪權 厚薄相間 斜生環帶 無柄	杯狀蓋骨碎補 -厚薄相間 垂直環帶、唇 細胞、長柄

(b)孢子外形變化(4X10 或 10X10): **擬蕨類**→**厚囊蕨類**→**原始薄囊蕨**→**較進化薄囊蕨**)

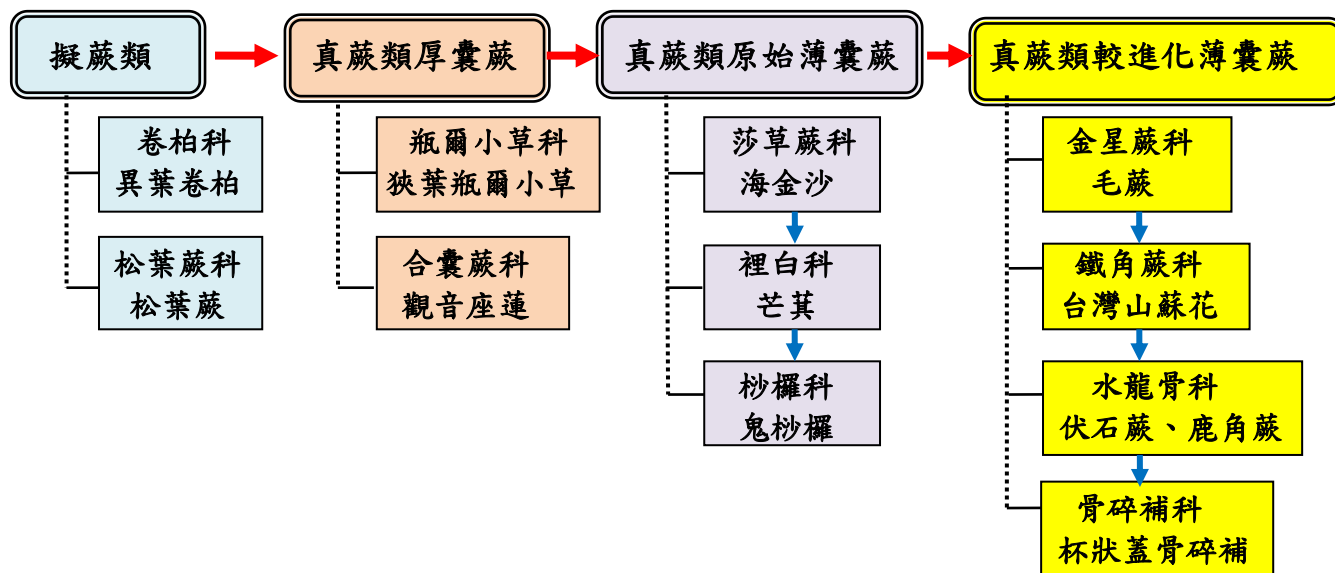
						
異葉卷柏	松葉蕨	狹葉瓶爾小草	觀音座蓮	海金沙	芒萁	鬼杪權



- 四、異葉卷柏、松葉蕨、狹葉瓶爾小草和觀音座蓮的孢子囊未開啟和彈射，孢子直接掉落；海金沙孢子囊開啟但未彈射，芒萁、鬼杪欏、伏石蕨、鹿角蕨、毛蕨、台灣山蘇花和杯狀蓋骨碎補孢子囊開啟，並進行彈射。
- 五、乾燥的情況下，水分散失和空氣進入，水和空氣的壓力促使孢子囊開啟，當壓力達到最大彈開或彈回。環帶細胞的位置和構造、唇細胞的數量，以及水與空氣移動的位置，促使其開啟的機制不同；這些結果與孢子囊具通道(參考資料 3)不同。
- 六、環帶垂直性會影響開啟角度，計算孢子囊環帶細胞的垂直性，伏石蕨平均為 0.1，垂直性佳，其次為杯狀蓋骨碎補 0.12。垂直性較差為杪欏科鬼杪欏 0.77。
- 七、比較孢子囊開啟角度，在平均開啟角度，杯狀蓋骨碎補 306 度最大，海金沙 40.6 度最小；最大開啟角度方面，伏石蕨 350 度最大，海金沙 48 度最小；平均每秒開啟角度，杯狀蓋骨碎補 10.04 度最快，海金沙 0.08 度最慢。
- 八、水龍骨科伏石蕨、鹿角蕨和骨碎補科杯狀蓋骨碎補，環帶垂直性佳且開啟角度大。
- 九、原始薄囊蕨類海金沙和芒萁運用第一類型槓桿進行孢子囊開啟；原始薄囊蕨類鬼杪欏、較進化薄囊蕨類伏石蕨為第三類型槓桿；較進化薄囊蕨類鹿角蕨、毛蕨、台灣山蘇花和杯狀蓋骨碎補皆為第一、三類型槓桿。
- 十、比較射程：鹿角蕨最大開啟角度為 350 度，但射程並不遠，推測為著生；鬼杪欏平均開啟角度較小但最遠，推測為地生。杯狀蓋骨碎補平均開啟角度最大，僅次於鬼杪欏和芒萁，推測演化的程度可能較高。
- 十一、十二種蕨類中的擬蕨類、真蕨類厚囊蕨類和原始薄囊蕨類大多為地生，只有松葉蕨因孢子囊結構和地下莖構造著生。真蕨類較進化薄囊蕨類大多為著生，只有毛蕨推測可能因孢子開啟時扭轉太大和環帶細胞垂直性影響。
- 十二、演化：孢子囊結構從無環帶、斜生環帶到垂直環帶，無柄、短柄到有長柄，較厚環帶細胞、厚薄相間的環帶(輻射細胞和側邊細胞)、唇細胞出現；孢子囊無彈射、開啟到開

啟後彈射；孢子彈射機制從直接掉落、開啟後掉落；第一類型槓桿開啟、第一類型、第三類型槓桿(費力省時)開啟後彈射；生長方式從地生到著生。為了適應環境變遷，蕨類想出許多好辦法改善自己結構而生存，值得我們效法和學習。

十三、十二種蕨類可能的演化流程圖(參考資料 1): (紅、藍箭頭為演化方向)



捌、參考資料

- 一、郭城孟(2001)。蕨類入門。台北市：遠流出版。
- 二、郭城孟(2001)。蕨類圖鑑。台北市：遠流出版。
- 三、陳紀如、鄒惠如、吳幸儒(2010)。我要彈得又高又遠-蕨類孢子傳播機制之探討。第 51 屆全國中小學科學展覽作品優勝集。國立科學教育館。P.1~6
- 四、林志欣、江柏鈞、李信和(2015)。「蕨」處逢生-探討台灣山蘇花的孢子彈射機制與附生的歷程。第 51 屆全國中小學科學展覽作品優勝集。國立科學教育館。
- 五、Nobin X,Rojas NO,Westbrook J,Llorens C,Argentina M,Dumais J.2012 The fern sporangium: a unique catapult. *Science* 335, 1322
- 六、劉議綺、黃丞偉、馬晟宴(2011)。做透透，玩透透。第 52 屆全國中小學科學展覽作品優勝集。國立科學教育館。P.2
- 七、李秉珊、鄭如宜、柯俊旭、葉雲喬、呂理翔、王振羽(2007)。神奇的滲透現象。第 43 屆全國中小學科學展覽作品優勝集。國立科學教育館。P.2
- 八、康軒文教事業(民 105)。自然與生活科技三上教師手冊。新北市：康軒文教事業

九、康軒文教事業(民 106)。自然與生活科技五上教師手冊。新北市：康軒文教事業

十、數學系(2017)。標準差計算器。<https://www.shuxuele.com/data/standard-deviation-calculator.html>

◎附錄一：環帶細胞、唇細胞和孢子數(第一列為影像或照片編號)

台灣山蘇花	89	81	83	87	82	98	305	303	5	80	平均
唇細胞數	3	2	2	2	2	3	2	2	2	4	2.4
環帶細胞數	22	20	20	22	19	23	21	20	19	20	20.6

編號	85	215	89	218	87	11.2	305	83	平均
孢子數	52	50	48	56	54	70	56	64	56.25

鹿角蕨	43	44	29	40 倍	81	視訊 1	視訊 2	140	24	176	平均
唇細胞數	7	8	8	6	8	8	9	8	7	6	7.5
環帶細胞數	20	22	18	22	21	20	19	18	18	20	19.8

伏石蕨	208	213	211	206	212	209	207	205	201	200	平均
唇細胞數	5	6	7	6	6	6	5	7	7	8	6.3
環帶細胞數	15	12	14	14	15	15	14	14	14	12	13.9

編號	478	198	199	200	201	305	207	201	平均
孢子數	70	62	66	76	74	76	78	74	72

杯狀蓋骨碎補	450	435	449	445	433	437	443	441	824	836	平均
唇細胞數	6	9	5	6	6	4	6	5	6	5	5.8
環帶細胞數	13	13	13	14	13	13	14	13	14	14	13.3

編號	513	514	515	436	438	826	827	829	平均	松葉蕨	403	409	平均(約)
孢子數	50	57	48	47	55	52	54	58	51.375	孢子數	25000	28000	25000

芒萁	283	357	359	359-2	364	364-2	391	356	373	367	平均
唇細胞數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
環帶細胞數	24	25	28	25	29	26	24	28	26	29	26.4

編號	視訊 47	視訊 48	895	901	961	168	177	171	平均	狹葉瓶爾小草	427	428	平均(約)
孢子數	140	130	135	150	140	160	150	132	142.1	孢子數	25000	30000	28000

鬼杪櫟	238	241	242	244	245	246	249	251	263	261	平均
唇細胞數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
環帶細胞數	25	23	27	23	24	25	26	23	24	23	24.3

編號	475	475-2	475-3	238	242	249	941	945	平均
孢子數	42	43	50	46	54	46	48	50	47.3

毛蕨	323	324	329	330	332	343	346	352	354	345	平均
唇細胞數	6	6	5	5	6	6	7	6	7	6	6
環帶細胞數	19	17	19	19	15	16	20	20	15	18	17.8

編號	300	340	328	327	335	125	145	160	平均
孢子數	50	40	52	42	56	44	46	59	48.6

海金沙	684	681	688	711	714	708	698	768	794	808	平均
唇細胞數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
環帶細胞數	17	14	12	16	14	15	18	16	17	18	15.7

編號	684	701	705	697	793	794	804	807	808	平均
孢子數	35	44	39	38	46	53	44	45	46	43.3

◎附錄二：孢子囊平均開啟角度和最大開啟角度

影像	芒萁	鬼杪櫟	伏石蕨	鹿角蕨	毛蕨	台灣山蘇花	杯狀蓋骨碎補
第一個	98.8	140	230	231.8	232	275	260

第二個	224.7	146	340	220	168	214	320
第三個	240	130	270	342		240	338
第四個			280	350		140	
平均	187	138.6	280	304	200	243	306

影像	芒萁	鬼杪權	伏石蕨	鹿角蕨	毛蕨	台灣山蘇花	杯狀蓋骨碎補
第一個	23 秒開 42.8 度	21 秒開 62 度	60 秒開 85 度	53 秒 220 度	47 秒開 182 度	76 秒 205 度	41 秒 260 度
第二個	32 秒開 99 度	44 秒開 86 度	58 秒開 325 度	74 秒 312 度	48 秒開 138 度	85 秒 214 度	20 秒開 320 度
第三個	28 秒開 190 度	13 秒 54 度	92 秒開 250 度	103 秒 308 度		96 秒 210 度	36 秒開 333 度
第四個			48 秒開 135 度			38 秒 112 度	
平均	每秒開 3.91 度	每秒開 3.01 度	每秒開 3.14 度	每秒開 3.79 度	每秒開 3.37 度	每秒開 2.58 度	每秒開 10.04 度

◎附錄三:射程距離

植物名和次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	平均
芒萁	4.5	6.7	7.6	5.5	3.2	2	6	4.2	3.4	5	7	6.1	3.5	2.8	4.82
鬼杪權	10	7	7.2	8	8.4	5.9	8.7	6.6	6.2	6.3	8.1	4.5	4.1	7	7
伏石蕨	3.3	0.5	2.2	2.9	0.4	1.5	1.1	1.6	2.5	2.4	0.9	1.2	0.2	2.7	1.67
鹿角蕨	3.2	0.9	1.1	1.2	1.3	1.7	1.5	0.2	0.4	0.3	0.7	0.5	1	0.4	1.02
毛蕨	0.6	1.6	0.2	0.9	0.7	1.1	4.2	1.9	1.6	0.5	0.6	3.5	3.4	1.2	1.57
台灣山蘇花	1.2	1	0.3	1.8	1.5	0.5	0.4	0.7	0.8	0.5	1.7	2.4	1	4	1.27
杯狀蓋骨碎補	4.5	2.7	1.4	1.9	3.6	1.3	0.9	1	0.4	0.6	1	2	1.4	1.5	1.72

◎附錄四: 計算環帶細胞的垂直性(程度)

海金沙上	0.5	0.9	0.4	0.5	0.2	0.7	0.5	0.9	0.8	0.6	0.5	0.2	0.7	1.4	1.7	0.8	0.8	0.5	0.7	0.7
下	0.1	0.1	0.1	0.2	0.7	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.2	0.4	0.4	0.2	0.5	0.2	0.4	0.3	0.3	0.3
差	0.4	0.8	0.3	0.3	0.5	0.5	0.3	0.6	0.5	0.2	0.3	0.2	0.3	1.2	1.2	0.6	0.4	0.2	0.4	0.4

上	1.3	0.7	0.5	0.9	0.7	0.5	0.3	0.3	0.5	0.4	0.5	0.6	0.4	0.5						
下	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	平均					
差	1	0.5	0.4	0.7	0.5	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.5	0.3	0.4	0.4914285					

芒萁上	0.7	0.7	0.9	0.8	0.6	1.8	1.7	1.2	1.8	1.8	1.5	1.7	2.2	1.4	2.3					
下	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	1.5	1.3	1	1	0.9	1.4	0.7	2	1	2.2	平均				
差	0.2	0.3	0.4	0.4	0.2	0.3	0.4	0.2	0.8	0.9	0.1	1	0.2	0.4	0.1	0.393333				

鬼杪權上	1.2	1.9	1.5	1.9	1.9	1.9	1.3	0.8	1.5	1.1	1.5	1.2	1.2	1.4	1.2	1.4				
下	0.2	0.9	0.7	0.9	0.3	0.8	0.7	0.2	0.8	0.6	0.8	0.6	0.7	0.6	0.9	0.9	平均			
差	1	1	0.8	1	1.6	1.1	0.6	0.6	0.7	0.5	0.7	0.6	0.5	0.8	0.3	0.5	0.76875			

伏石蕨上	0.5	0.4	0.5	0.3	0.4	0.5	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.4				
下	0.5	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.6	0.4	0.5	0.5	平均				
差	0	0.1	0.1	0	0	0.1	0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1				0.1

鹿角蕨上	0.6	0.6	0.6	0.9	0.5	0.8	0.9	1.2	1.3	1.2	0.4	0.4	0.3	0.3	0.5					
下	0.8	0.6	0.4	0.5	0.2	0.6	0.6	1	0.7	0.8	0.4	0.2	0.2	0.2	0.4	平均				
差	0.2	0	0.2	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	0.6	0.4	0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.22				

毛蕨上	0.9	0.9	0.9	1	0.8	1.3	0.9	0.8	1	0.9	1	1.1	1.2	0.9	0.8					
下	0.9	0.9	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.6	0.3	0.8	0.9	0.8	0.8	0.6	平均				
差	0	0	0.3	0.4	0.3	0.8	0.5	0.5	0.4	0.6	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.326667				

台灣山蘇花上	1.1	1.2	1	1.8	1	0.8	1.1	0.7	0.8	0.8	1.2	1	1.1	1.2	1					
下	0.7	0.5	0.8	0.8	0.6	0.7	0.5	0.5	0.4	0.6	0.8	0.7	0.7	0.9	0.5	平均				
差	0.4	0.7	0.2	1	0.4	0.1	0.6	0.2	0.4	0.2	0.4	0.3	0.4	0.3	0.5	0.406667				

杯狀蓋骨碎補上	0.5	0.4	0.4	0.5	0.3	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.8	0.5	0.6	0.5	0.6					
下	0.3	0.4	0.4	0.4	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	平均				
差	0.2	0	0	0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0	0.1	0.1	0.1	0.12				

【評語】 080308

1. 此作品屬於延續性研究，針對十二種蕨類孢子囊結構、孢子彈射與生長方式的相關性，研究主題清楚且聚焦，可用科學方法檢驗，是一份相當詳實敘述的研究作品
2. 實驗設計完整，有系統收集資料，可見研究者對於所研究的議題有相當的熱忱，付出可觀的心力，值得鼓勵。實驗方法設計周全，控因及變因清楚、適當及完整。實驗結果有適當地應用數學及統計方法，分析其差異性。數據足以證實結論及釋義。
3. 所得到的功能性分群如何與演化上互相扣合，則在論述上欠缺合理的解釋，是較為遺憾之處。從演化的大尺度觀點來研究孢子囊開裂彈射，頗有難度，能與教材相配合，建議以生態功能為主進行資料分析及統整，演化概念太廣。
4. 惟彈射距離設計算方式及研究計算方法宜詳細說明，以利討論推理的完整性。

壹、摘要

從好奇著生蕨類到較原始蕨類的孢子囊開啟，在周遭環境找到十二種進行研究。結果顯示，擬蕨和厚囊蕨類孢子囊厚且無柄，孢子直接掉落；原始薄囊蕨海金沙頂生環帶開啟未彈射，芒萁與鬼桫欏斜生環帶短柄與無柄，五種較進化薄囊蕨垂直環帶具長柄和唇細胞，開啟並彈射；孢子受保護減少。環帶構造和水與空氣移動影響開啟角度、機制和射程，杯狀蓋骨碎補平均開啟角度最大和平均每秒開啟最快；海金沙和芒萁為第一類型槓桿，鬼桫欏、伏石蕨為第三類型，鹿角蕨、毛蕨、台灣山蘇花和杯狀蓋骨碎補為第一、三型。開啟角度與射程成反比，推測與生長方式有關。擬蕨、厚囊蕨和原始薄囊蕨多為地生，較進化薄囊蕨多為著生；最後，分析演化過程並繪製演化圖。

貳、研究動機

有一次到校園觀察植物，我們發現蕨類植物很特別，好奇的問老師它們的外形和生長位置有什麼不同？如何進行繁殖？過去與現在的蕨類植物有什麼不同？這其中一定隱藏著許多的秘密，於是我們查閱資料和實際踏查後選擇十二種蕨類，並詳細比對圖鑑確認各種蕨類的名稱，開始著手進行實驗。

參、研究目的

- 一、認識十二種蕨類植物的分類與基本資料。
- 二、探究十二種蕨類植物孢子囊的結構與孢子彈射歷程。
- 三、探究十二種蕨類孢子囊結構、孢子彈射與生長方式的關係
- 四、探究十二種蕨類孢子囊結構、孢子彈射與演化關係

肆、研究材料、歷程與方法

一、材料：

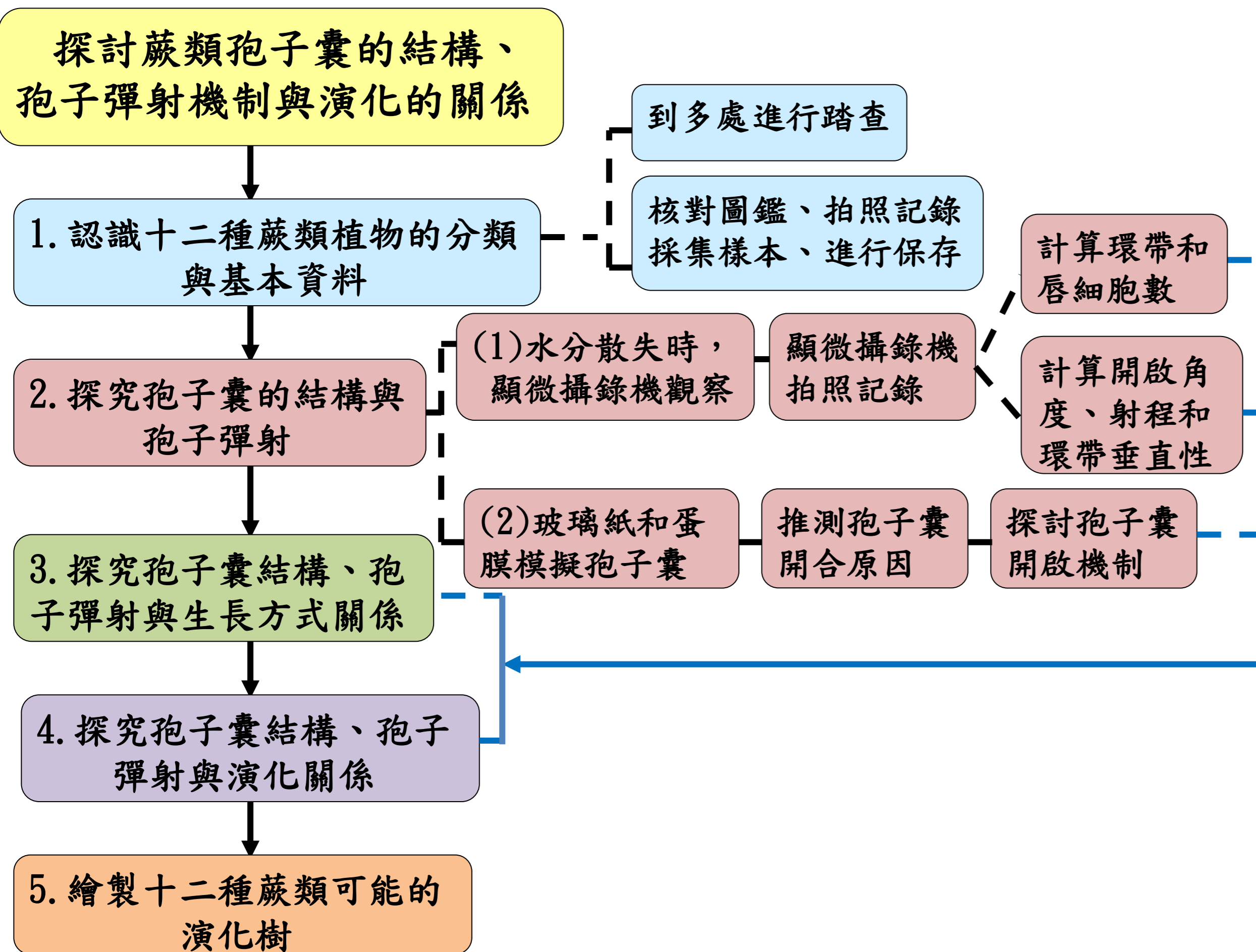
(一)樣本：(參考台灣蕨類演化樹)

十二種蕨類植物 (異葉卷柏、松葉蕨、狹葉瓶爾小草、觀音座蓮、海金沙、芒萁、鬼桫欏、伏石蕨、鹿角蕨、毛蕨、台灣山蘇花和杯狀蓋骨碎補)的葉片和孢子囊

(二)研究設備與用品：

1. 儀器：顯微攝錄機、光學顯微鏡、電腦、相機。
2. 用品：玻璃紙、雞蛋、醋酸、甘油、燒杯、滴管、剪刀、量角器、塑膠袋、牙籤、載玻片、蓋玻片、筆、標籤、放大鏡、記錄紙

二、歷程與方法：



伍、研究結果

一、認識與探究十二種蕨類植物的基本資料和孢子囊結構

(「→」孢子囊(群)；「←」孢子囊柄)

表一：十二種蕨類植物分類、孢子囊、孢子、習性和演化時間

植物名	異葉卷柏	松葉蕨	狹葉瓶爾小草
學名	<i>Selaginella Mollendorffii Hieron</i>	<i>Psilotum nudum</i>	<i>Ophioglossum thermale</i>
分類	擬蕨類、卷柏科	擬蕨類、松葉蕨科	真蕨類(厚囊蕨)瓶爾小草科
孢子囊穗、孢子囊和孢子囊枝			
孢子囊形態 (4x10) (單位:mm)			
孢子 (4x10)或(10x10)			
習性	地生	著生、岩生	地生
演化	2億多年前	2億多年前	2億多年前

◎續表一

植物名	觀音座蓮	海金沙	芒萁
學名	<i>Angiopteris lygodifolia Rosenst.</i>	<i>Lygodium japonicum (Thunb.)</i>	<i>Dicranopteris linearis</i>
分類	真蕨類(厚囊蕨)合囊蕨科	真蕨類(原始薄囊蕨)莎草蕨科	真蕨類(原始薄囊蕨)裡白科
孢子囊群			
孢子囊形態 (4x10) (單位:mm)			
孢子 (4x10)或(10x10)			
習性	地生	藤本地生	地生
演化	2億多年前	2億多年前	2億多年前

◎續表一

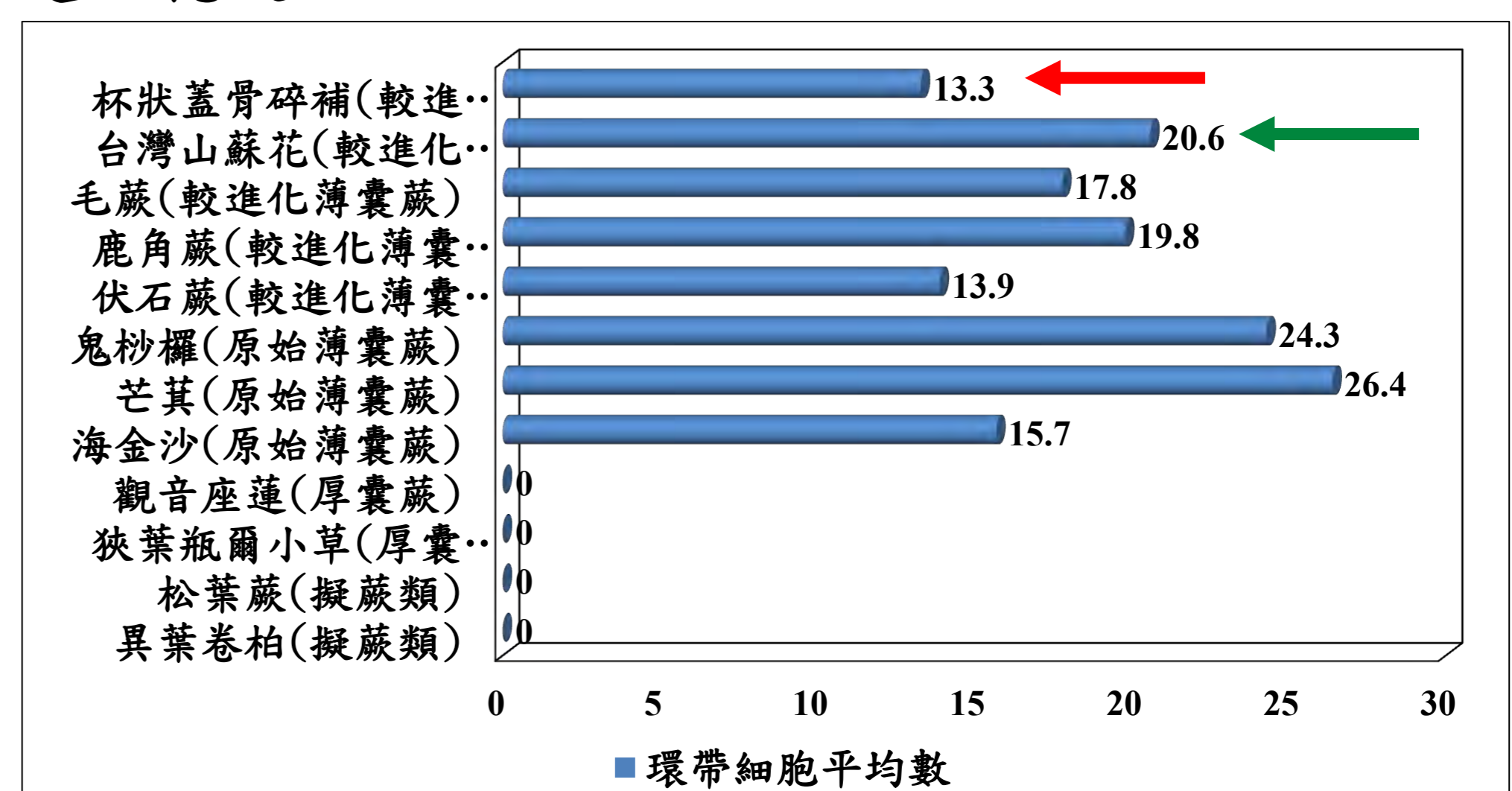
植物名	鬼桫欏	伏石蕨	鹿角蕨
學名	<i>Cyathea podophylla</i>	<i>Lemmaphyllum microphyllum</i>	<i>Platynerium bifurcatum</i>
分類	真蕨類(原始薄囊蕨類)桫欏科	真蕨類(較進化薄囊蕨類)水龍骨科	真蕨類(較進化薄囊蕨類)水龍骨科
孢子囊群			
孢子囊形態 (4x10) (單位:mm)			
孢子 (4x10)或(10x10)			
習性	地生	著生、岩生	著生
演化	2億多年前	1億多年前	1億多年前

◎續表一

植物名	毛蕨	台灣山蘇花	杯狀蓋骨碎補
學名	<i>Cyclosorus interruptus</i>	<i>Asplenium antiquum</i>	<i>Davallia mariesii</i>
分類	真蕨類(較進化薄囊蕨類)金星蕨科	真蕨類(較進化薄囊蕨類)鐵角蕨科	真蕨類(較進化薄囊蕨類)骨碎補科
孢子囊群			
孢子囊形態 (4x10) (單位:mm)			
孢子 (4x10)或(10x10)			
習性	地生、水生	著生、岩生	著生、岩生
演化	1億多年前	1億多年前	1億多年前

二、探究十二種蕨類植物孢子囊結構與孢子彈射歷程 (一)進行孢子囊形態的觀察紀錄-計算環帶細胞、唇細胞和孢子數

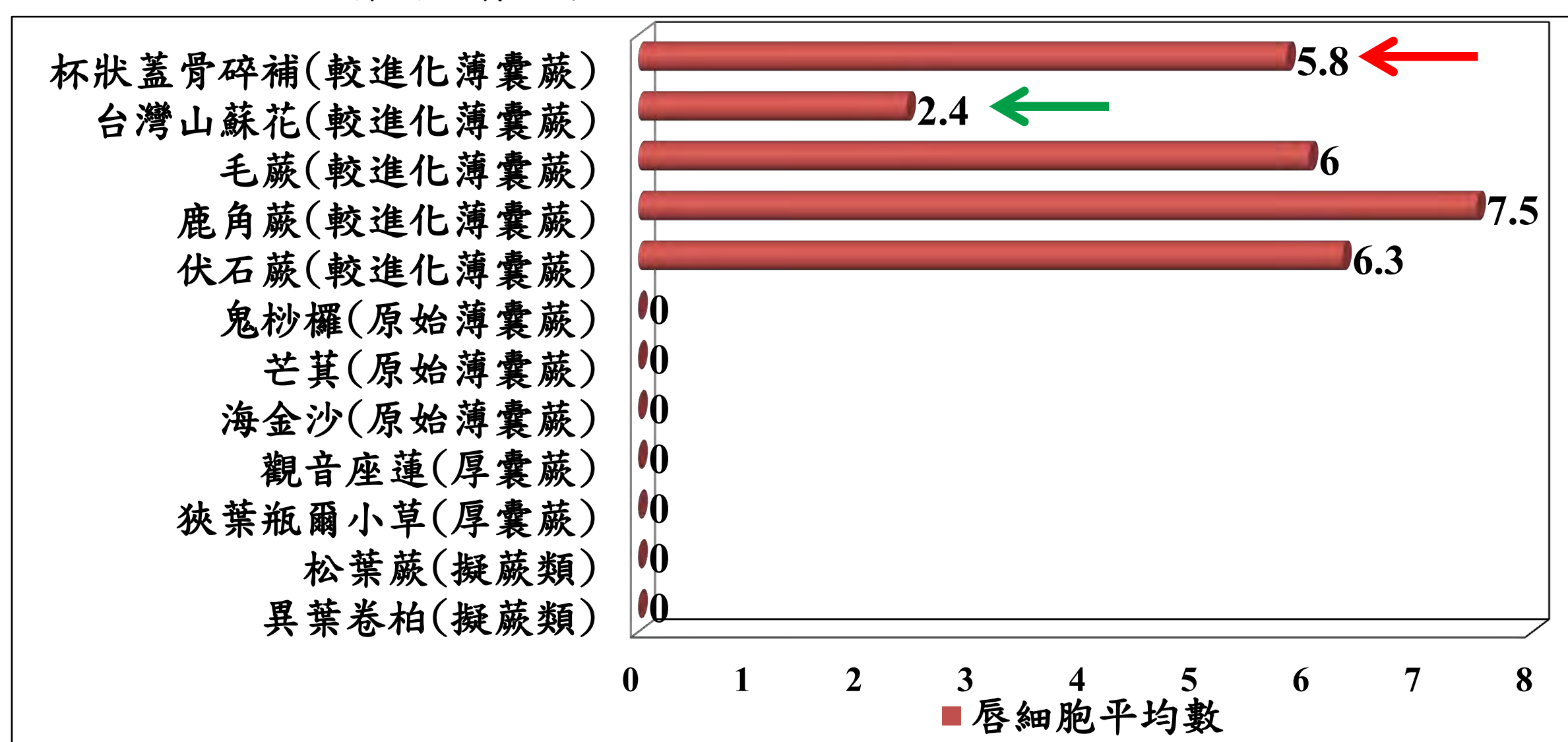
1.環帶細胞: 原始薄囊蕨斜生環帶出現，平均22.1個較進化薄囊蕨類平均17.08個，細胞數逐漸減少並趨於穩定。



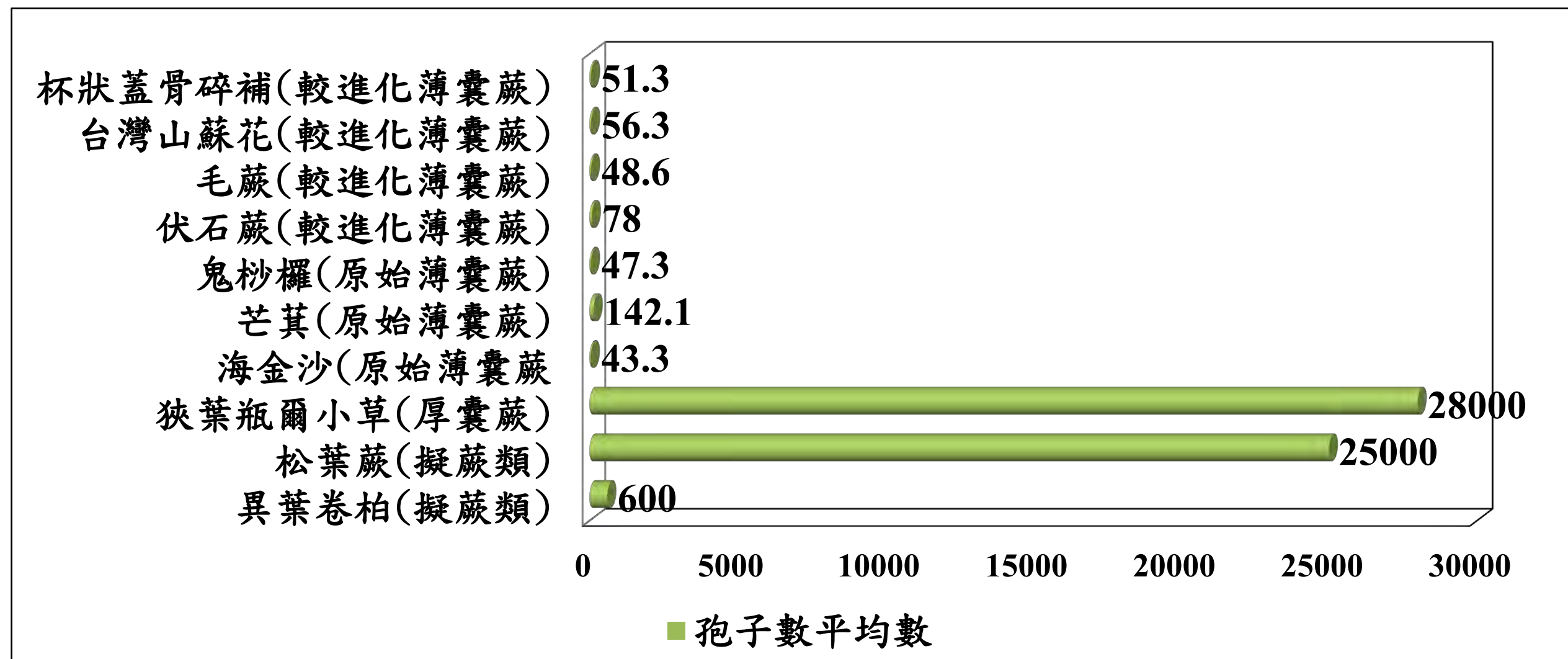
二、探究十二種蕨類植物的孢子囊結構與孢子彈射歷程

(一)進行孢子囊形態的觀察紀錄-計算環帶細胞、唇細胞和孢子數

2.唇細胞:三個原始薄囊蕨沒有唇細胞,五個較進化薄囊蕨平均5.6個,數量會影響開啟。

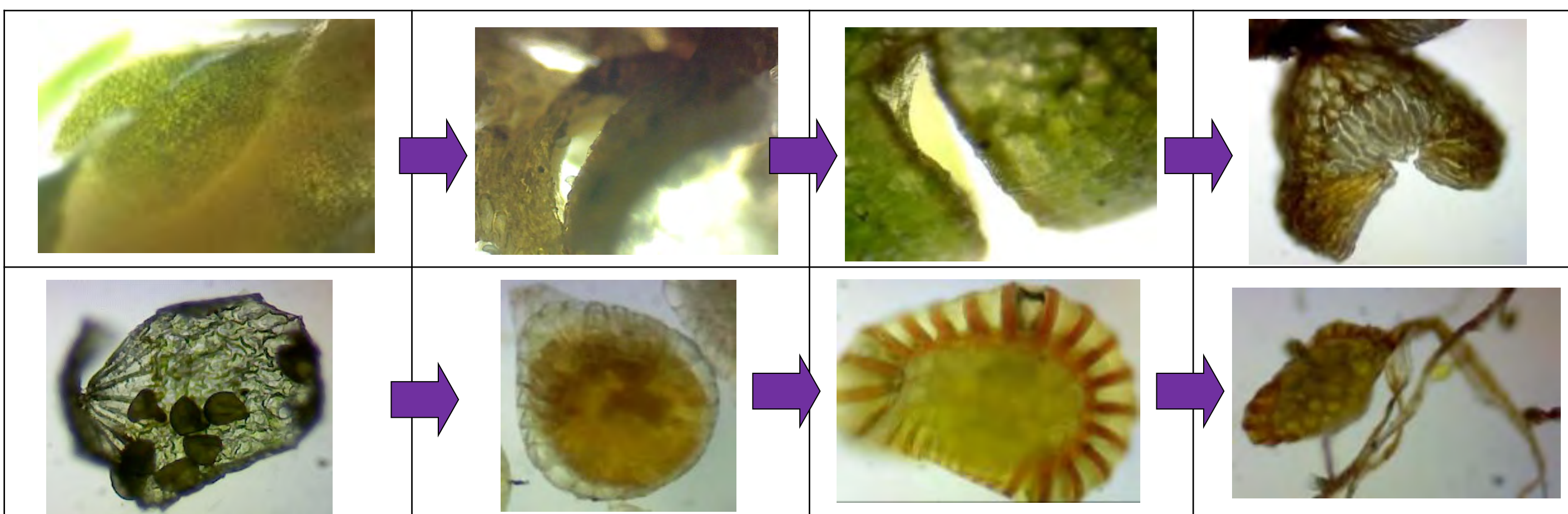


3.孢子數:孢子數量逐漸減少且趨於穩定(較進化薄囊蕨類平均為57.6),可能是保護孢子結構越來越進步,且孢子形態多變。



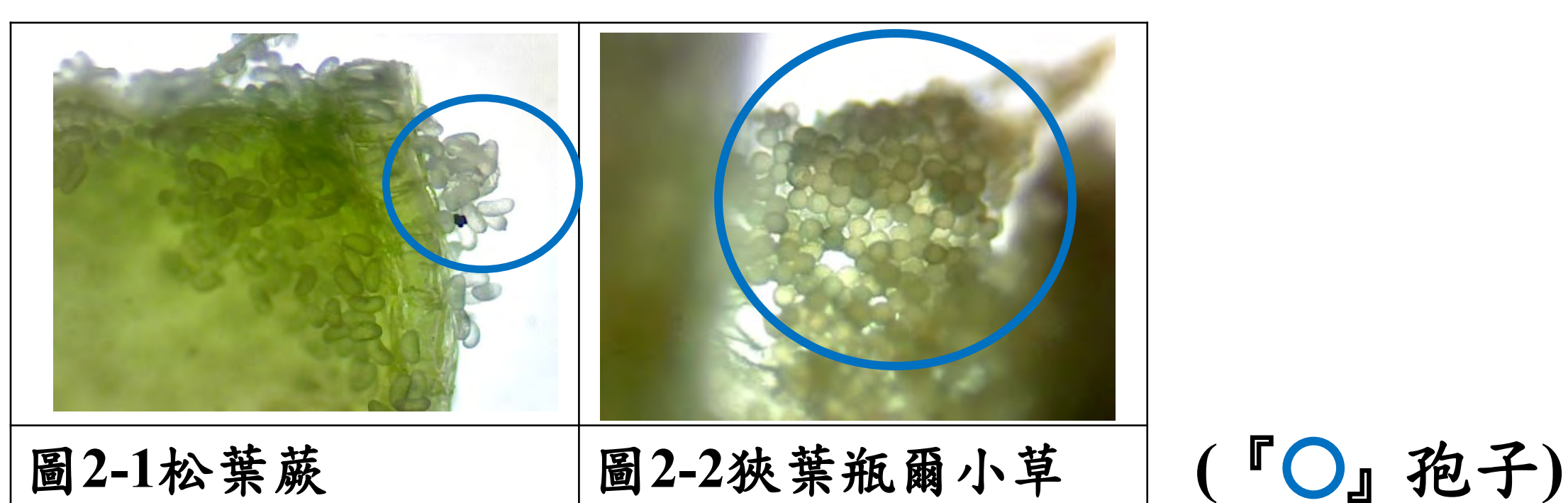
4.依據以上結果進行孢子囊結構變化整理(下表二)(下圖1加入紫萁科-粗齒草葉紫萁,『』孢子囊結構變化順序)

分類	環帶細胞	唇細胞	柄	孢子數	小結
擬蕨類	×	×	×	約12800	葉子很小,孢子囊較厚於小葉上,孢子小、數量多,環帶和唇細胞均未出現。
厚囊蕨	×	×	×	約28000	葉片開始變大,孢子囊較厚,位置開始改變,環帶和唇細胞未出現,孢子數多
原始薄囊蕨	頂生斜生 →斜生 →厚薄相間 斜生 平均:22.1個	×	無柄 短柄	平均:77.5	孢子囊結構改變,環帶細胞出現,形態有三種變化;開始出現「柄」固定孢子囊;唇細胞未出現,部分具孢膜保護孢子,孢子數量不具規律性。
較進化薄囊蕨	厚薄相間 垂直 平均:17.08個	已出現 平均 :5.6	長柄	平均:58.5	厚薄相間垂直環帶出現,長柄固定孢子囊於葉背,環帶與唇細胞數呈不同比例孢子受保護數目減少。



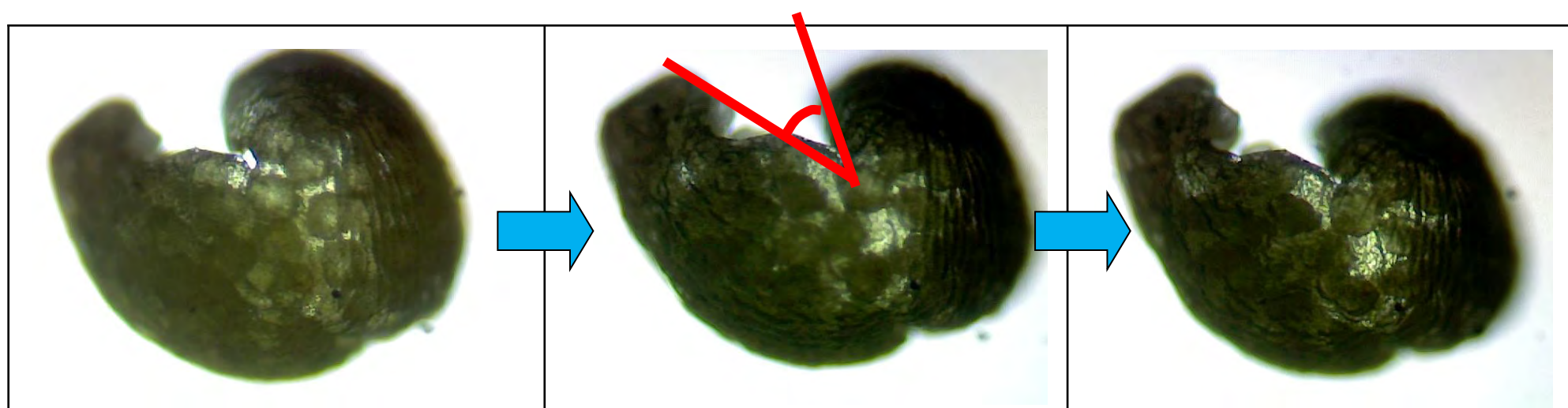
(二)進行孢子囊開啟與關閉的歷程紀錄(4X10)(『』開啟順序)

1.擬蕨類、厚囊蕨類:孢子囊未開啟,孢子直接掉落(圖2-1,2-2)

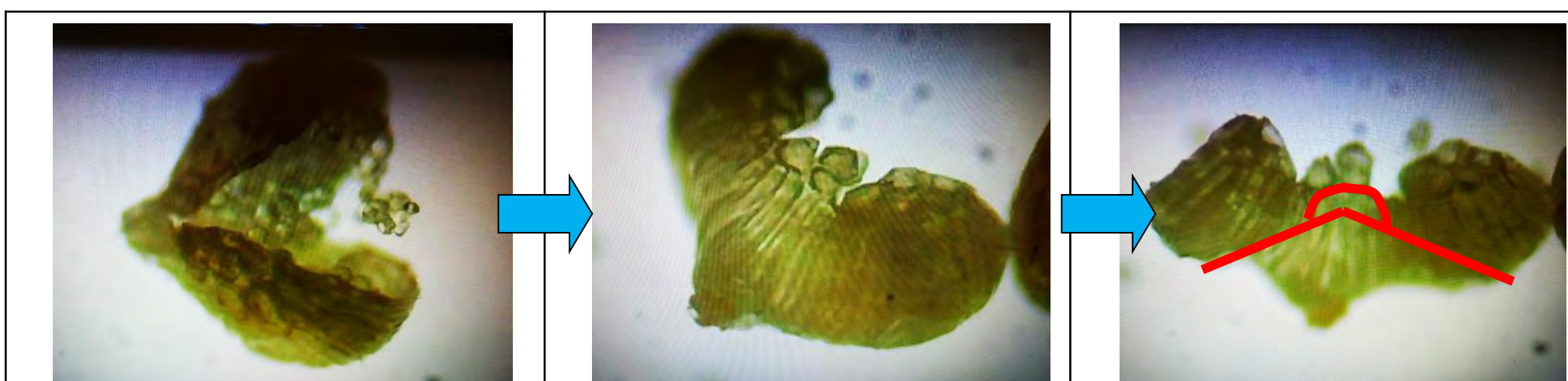


2.原始薄囊蕨類:

(1)海金沙:開啟時間長,角度40~48度,沒有彈射,有扭轉。



(2)芒萁:平均開啟187度,最大240度,平均每秒開啟3.91度



(3)鬼杪樺:平均開啟138.6度,最大146度,平均每秒開啟3.01度

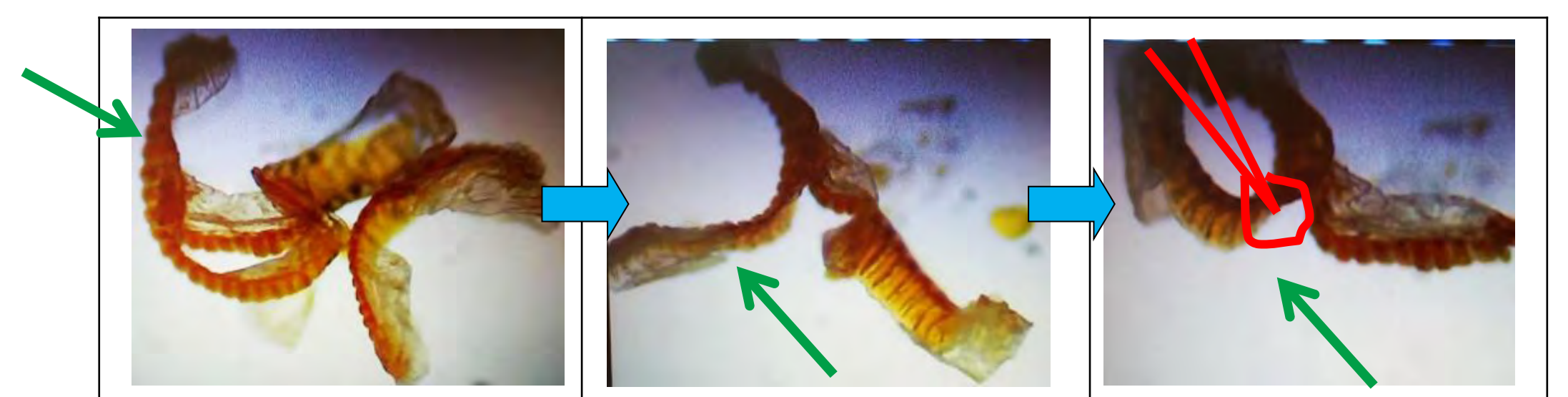


3.較進化薄囊蕨類:

(1)伏石蕨:平均開啟280度,最大340度,平均每秒開啟3.14度,有反轉和輕微扭轉的情形。



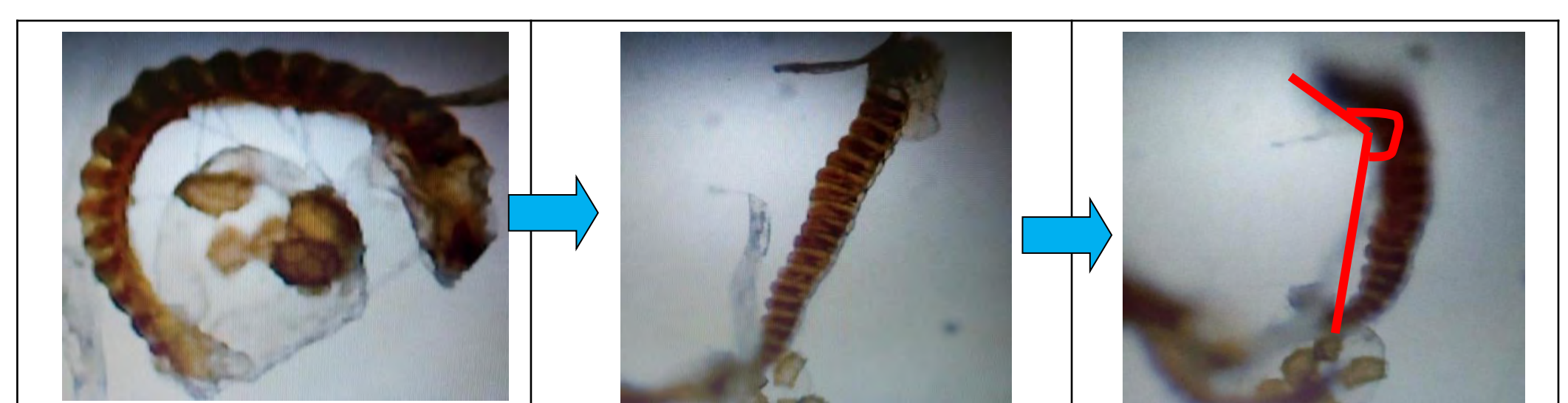
(2)鹿角蕨:平均開啟304度,最大350度,平均每秒開啟3.79度,有反轉和輕微扭轉的情形。



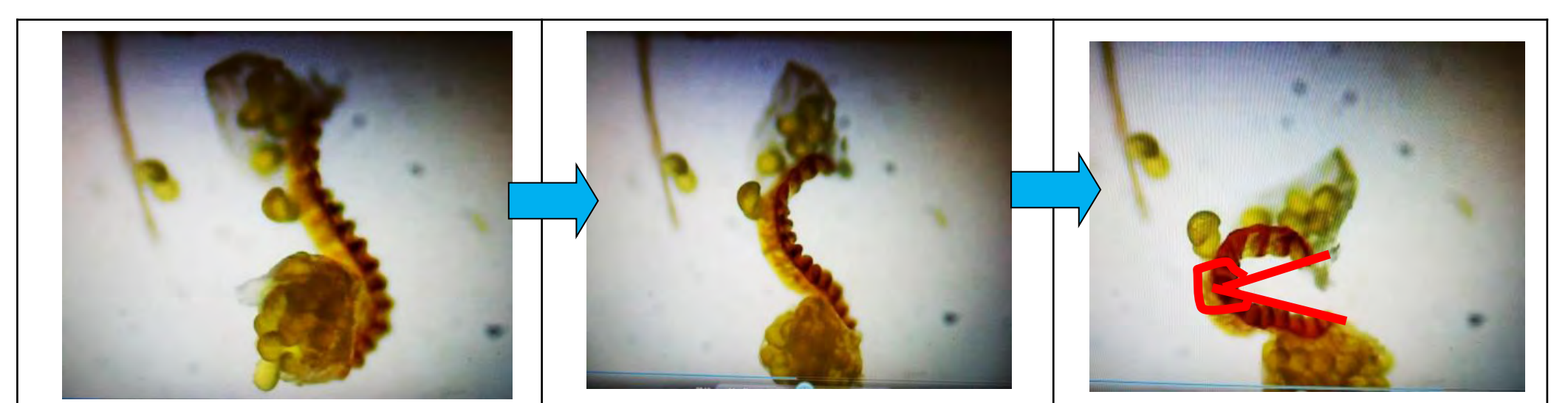
(3)毛蕨:平均開啟200度,最大232度,平均每秒開啟3.37度,有反轉的情形,扭轉非常明顯。



(4)台灣山蘇花:平均開啟243度,最大275度,平均每秒開啟2.58度,有反轉的情形。

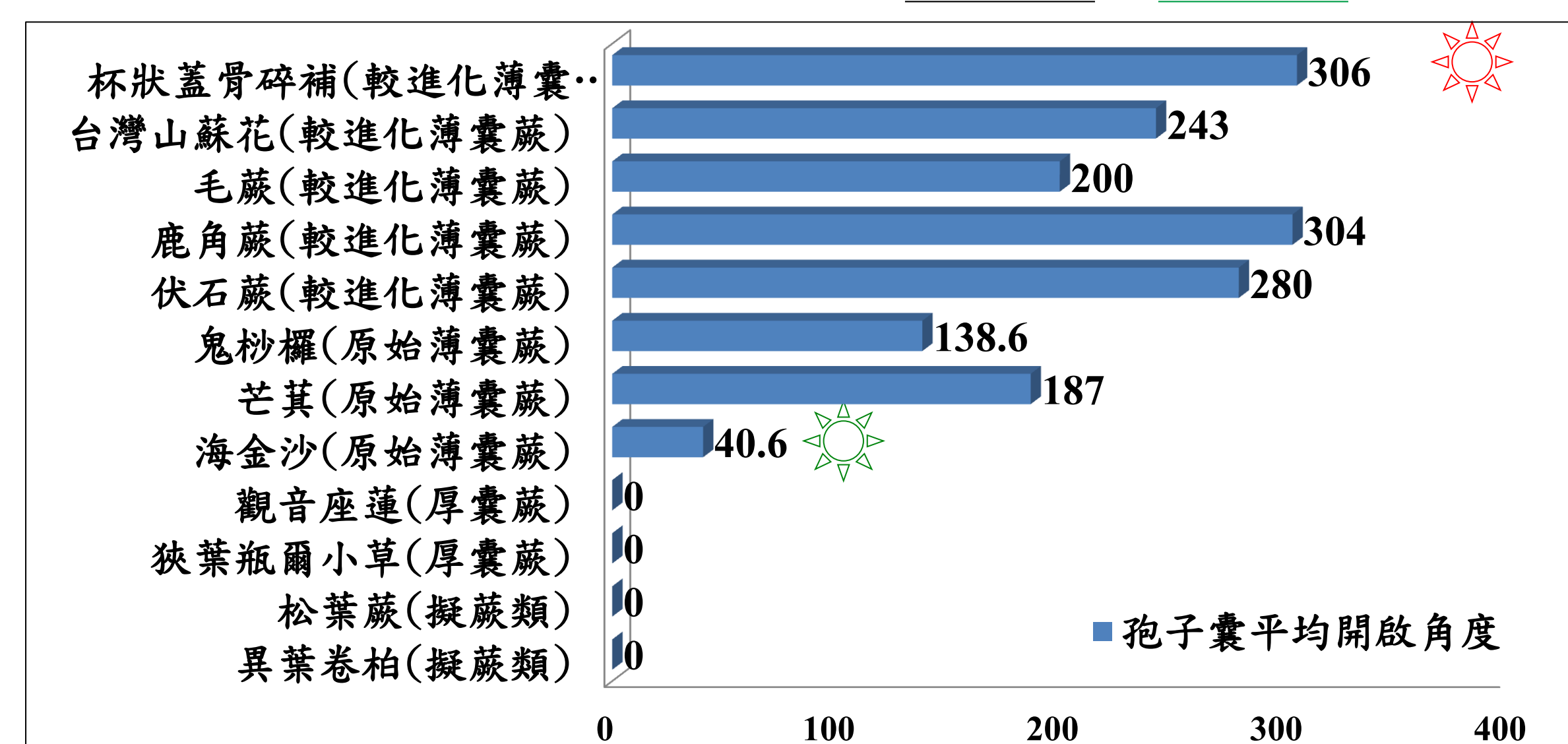


(5)杯狀蓋骨碎補:平均開啟306度,最大338度,平均每秒開啟10.04度,有反轉的情形。

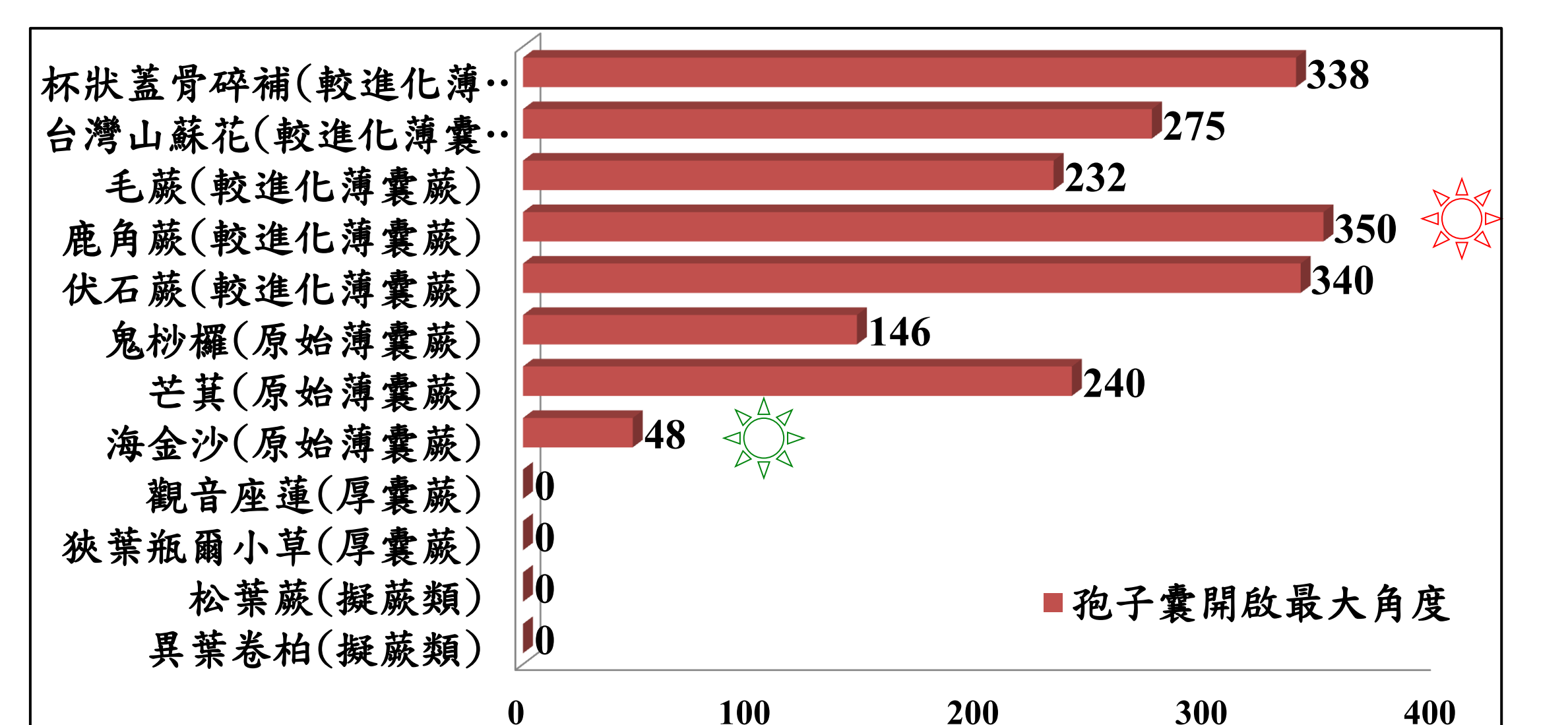


4.角度測量與比較:(『』最大;『』最小)

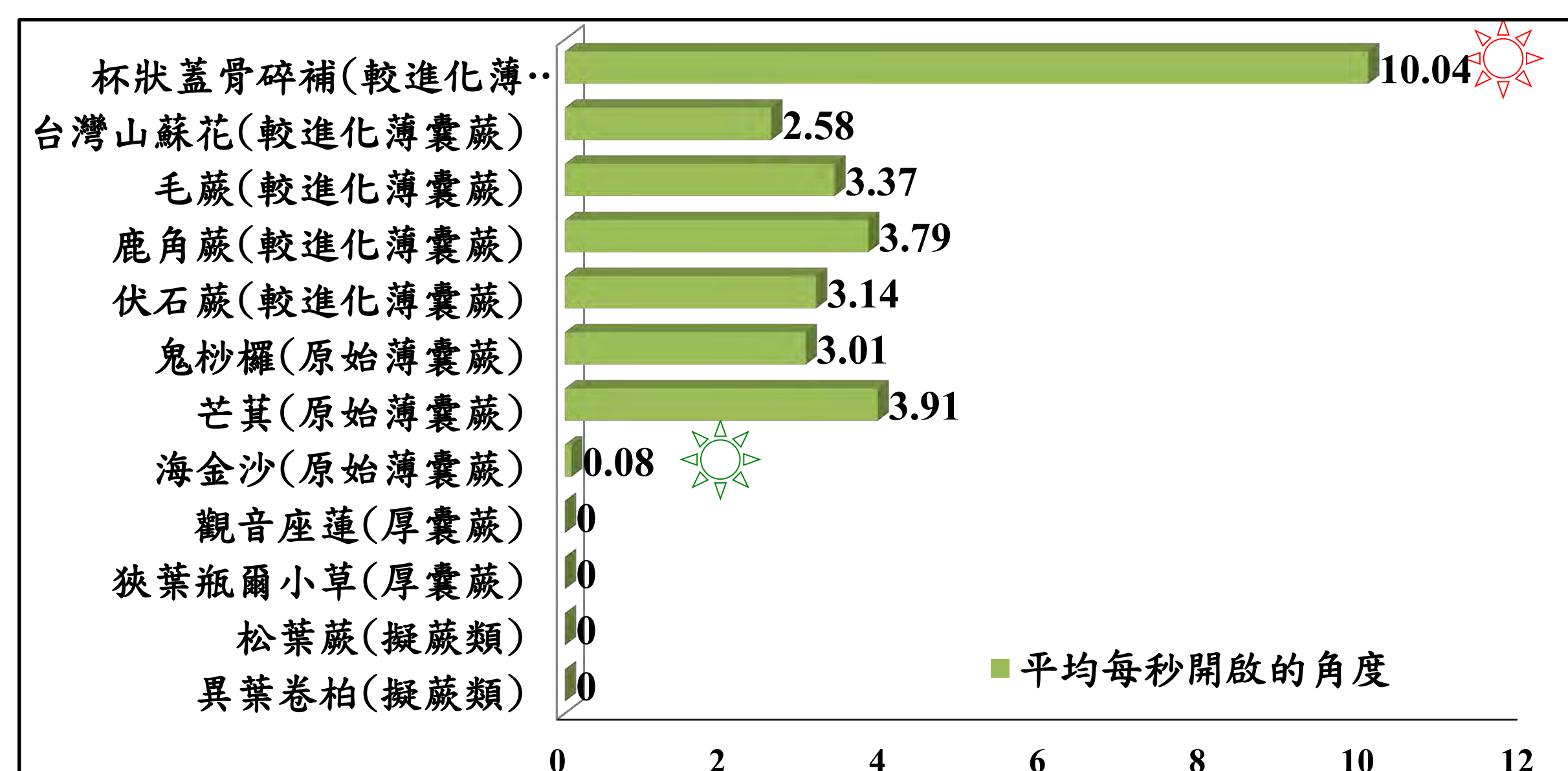
(1)平均開啟角度(杯狀蓋骨碎補>鹿角蕨>伏石蕨>台灣山蘇花>毛蕨>芒萁>鬼杪樺>海金沙)



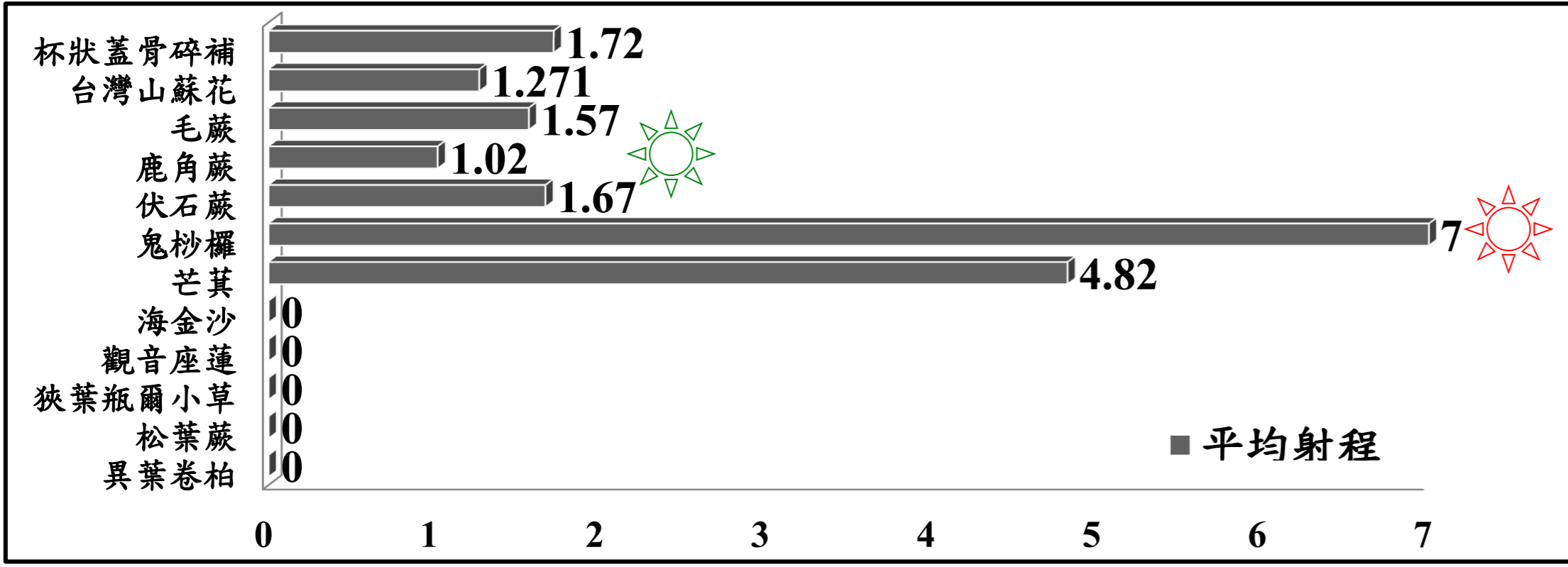
(2)最大開啟角度(鹿角蕨>伏石蕨>杯狀蓋骨碎補>台灣山蘇花>芒萁>毛蕨>鬼杪樺>海金沙)



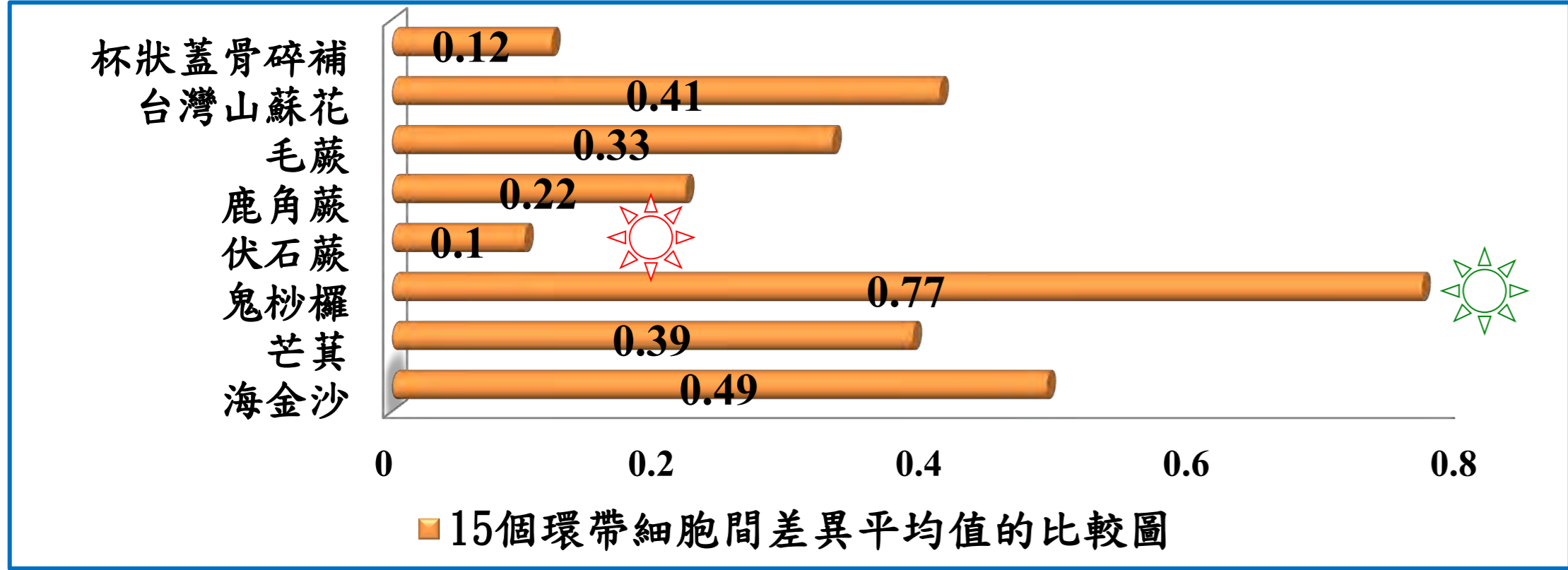
(3)平均每秒開啟角度(杯狀蓋骨碎補>芒萁>鹿角蕨>毛蕨>伏石蕨>鬼杪樺>台灣山蘇花>海金沙)



5.孢子囊射程:由遠到近(『☀️』最遠;『☀️』最近)
 (鬼抄擺>芒萁>杯狀蓋骨碎補>毛蕨>伏石蕨>台灣山蘇花>鹿角蕨)



6.計算環帶細胞的垂直性(『☀️』最佳;『☀️』最差)
 (伏石蕨>杯狀蓋骨碎補>鹿角蕨>毛蕨>芒萁>台灣山蘇花>海金沙>鬼抄擺)



傾斜 鬼抄擺 (4X10)		1.鬼抄擺:垂直性差0.77,開啟角度小,地生,與厚薄相間環帶完整包覆孢子囊有關 2.海金沙:垂直性0.49,開啟角度小,不彈射,地生。推測和頂生斜生環帶有關。
居中 芒萁 (4X10)		1.台灣山蘇花:垂直性0.41,環帶細胞數多,唇細胞較少,開啟角度大速度慢。 2.芒萁:垂直性0.39,傾斜環帶開啟角度小 3.毛蕨:垂直性0.33,開啟時扭轉情況嚴重,開啟角度相對較小,推測為地生。
垂直 伏石蕨 (4X10)		1.鹿角蕨:垂直性0.22 2.杯狀蓋骨碎補:垂直性0.12 3.伏石蕨:垂直性0.1 三種蕨類開啟角度大,扭轉情形少,環帶細胞與唇細胞比例2-2.5:1,唇細胞數較多

(三) 探討孢子囊開啟與閉合的原因

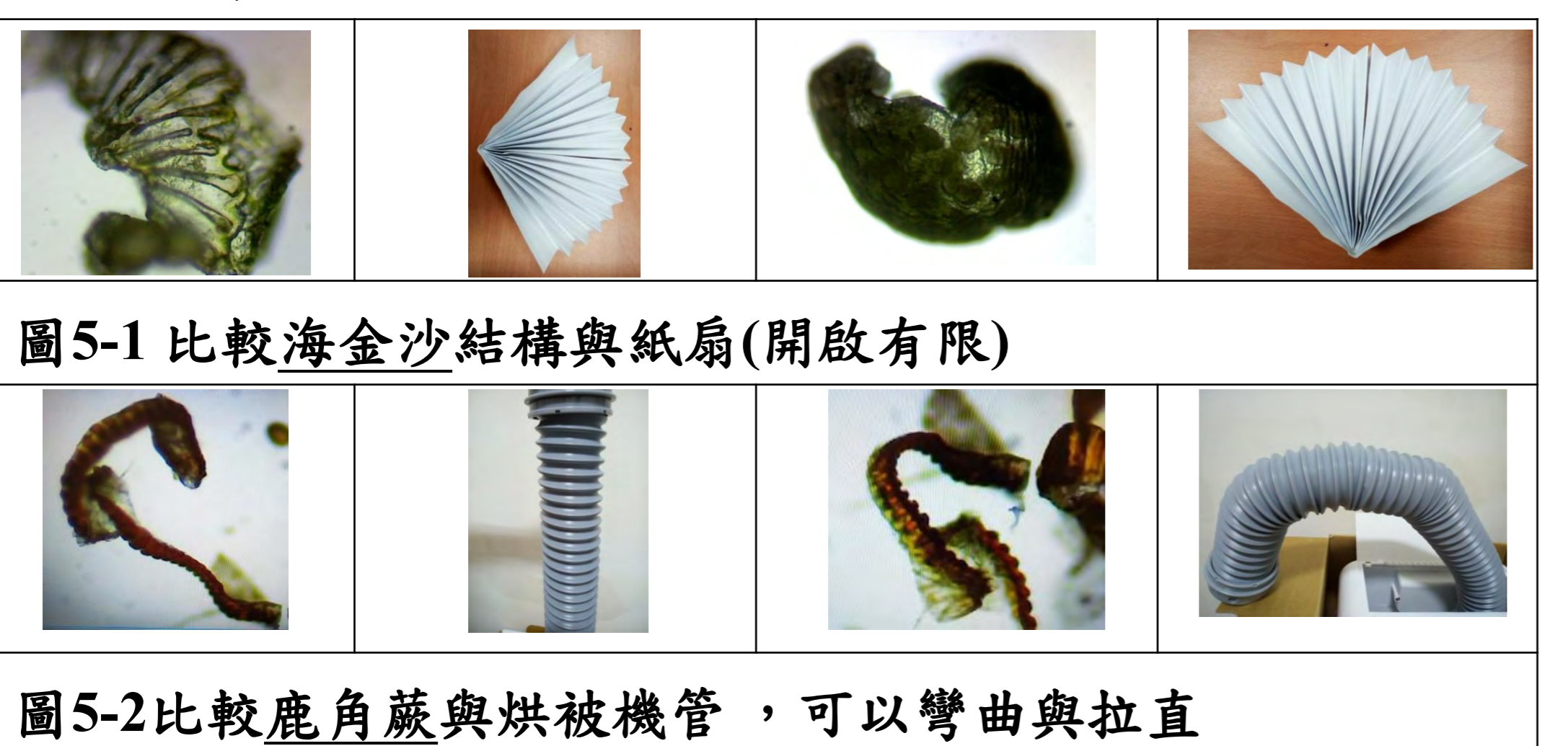
1.模擬芒萁:未經摺疊呈現筆直狀態(圖3.4.5)



2.模擬較進化薄囊蕨類:

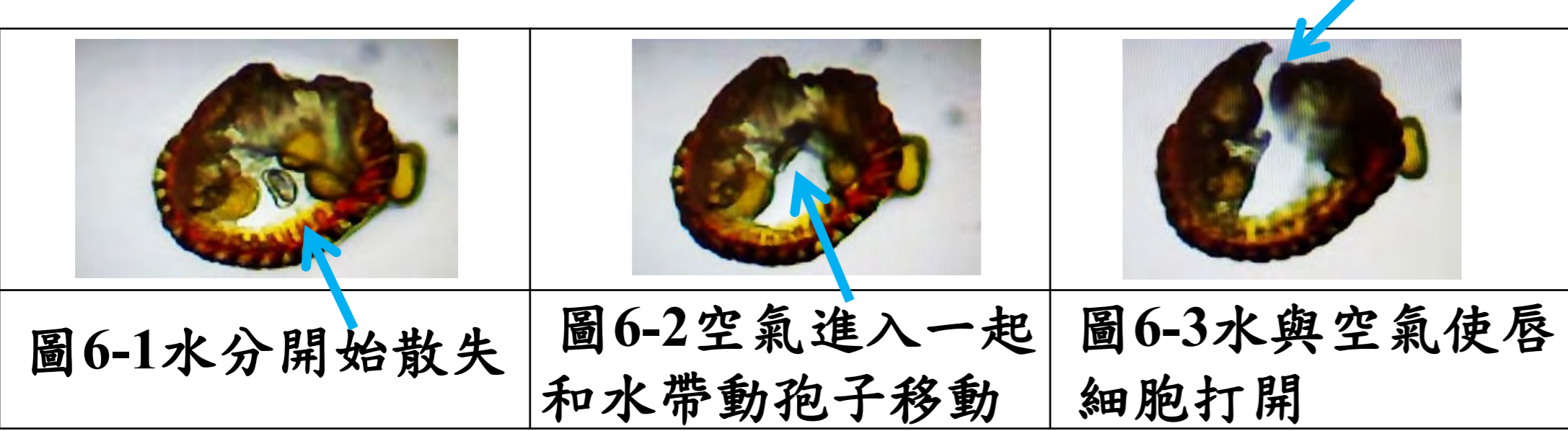


3.環帶細胞結構與生活連結



4.實際觀察歷程:(4X10)(圖6.7)

(1)水與空氣於孢子囊中間→第一類型槓桿



(2)水與空氣於孢子囊單一側→第三類型(費力省時)



(四)探討孢子囊開合、孢子彈射與槓桿原理的相關性(『→』支點;『→』施力點)

植物名	第一類型槓桿	第三類型槓桿
擬蕨類和厚囊蕨類	×	×
海金沙 (原始薄囊蕨類)		×
芒萁 (原始薄囊蕨類)		×
鬼抄擺 (原始薄囊蕨類)	×	

植物名	第一類型槓桿	第三類型槓桿
伏石蕨 (較進化薄囊蕨類)	×	
鹿角蕨 (較進化薄囊蕨類)		
毛蕨 (較進化薄囊蕨類)		
台灣山蘇花 (較進化薄囊蕨類)		
杯狀蓋骨碎補 (較進化薄囊蕨類)		

三、探究孢子囊結構、孢子彈射、生長方式和演化的關係

植物名	孢子囊結構	孢子囊開啟與孢子彈射	習性	演化分析
1.擬蕨類和厚囊蕨-異葉卷柏、松葉蕨、狹葉瓶爾小草、觀音座蓮	(1)兩者孢子囊較厚,環帶和唇細胞未出現。 (2)擬蕨類葉子小以莖為主體,厚囊蕨葉片變大。	(1)孢子小、數量多 (2)孢子成熟後掉落或因外力而散播,沒有彈射。	多 地 生	(1)年代:2億多年前 (2)孢子囊結構原始,不利保護孢子。 (3)厚囊蕨類葉片較大,孢子囊位置開始改變,推測比擬蕨類晚出現。
2.原始薄囊蕨類 (1)紫萁科 粗齒紫萁 (2)海金沙科 海金沙 (3)裡白科 芒萁 (4)抄擺科 鬼抄擺	(1)粗齒紫萁 側生環帶 (2)海金沙 頂生斜生環帶 (3)芒萁 斜生環帶完整包覆孢子,短柄。 (4)鬼抄擺 厚薄相間斜生環帶完整包覆孢子,無柄。	(1)平均開啟角度、最大開啟角度和平均每秒開啟: 芒萁>鬼抄擺>海金沙 (2)垂直性:芒萁>海金沙>鬼抄擺 (3)射程:鬼抄擺>芒萁 (4)海金沙、芒萁第一類型、鬼抄擺第三類型 (5)海金沙孢子不彈射	地 生	(1)年代:2億多年前 (2)孢子囊結構、開啟和彈射,都優於擬蕨和厚囊蕨類。 (3)孢子囊結構和開啟推測海金沙先出現,鬼抄擺最後出現。 (4)鬼抄擺的環帶細胞形態和槓桿機制近於較進化薄囊蕨類,推測較晚出現。
3.較進化薄囊蕨類 (1)水龍骨科 a.鹿角蕨 b.伏石蕨 (2)金星蕨科 毛蕨 (3)鐵角蕨科 台灣山蘇花 (4)骨碎補科 杯狀蓋骨碎補	(1)五種蕨類均為垂直環帶且厚薄相間孢子囊,未完全包覆孢子 (2)五種均具唇細胞和長柄	(1)平均開啟角度、最大開啟角度、平均每秒開啟和垂直性: 杯狀蓋骨碎補、鹿角蕨和伏石蕨居前三名,台灣山蘇花和毛蕨為四、五名。 (2)第一、三類型,只有伏石蕨第三類型槓桿 (3)射程:均可彈射,距離較原始薄囊蕨類近 (4)毛蕨孢子囊彈射時扭轉明顯。 (5)孢子受到保護,數目減少	多 著 生	(1)年代:1億多年前 (2)孢子囊結構、開啟角度、垂直性、槓桿機制和習性,都優於原始薄囊蕨類 (3)毛蕨開啟角度與狀況不利著生 (4)台灣山蘇花開啟角度小,推測與環帶和唇細胞數比例有關。 (5)鹿角蕨、伏石蕨和杯狀蓋骨碎補,環帶細胞和唇細胞數目比例近於2-2.5:1垂直性佳開啟角度大,利於著生。 (6)從孢子囊結構、開啟角度、垂直性、射程和槓桿,推測杯狀蓋骨碎補較進化

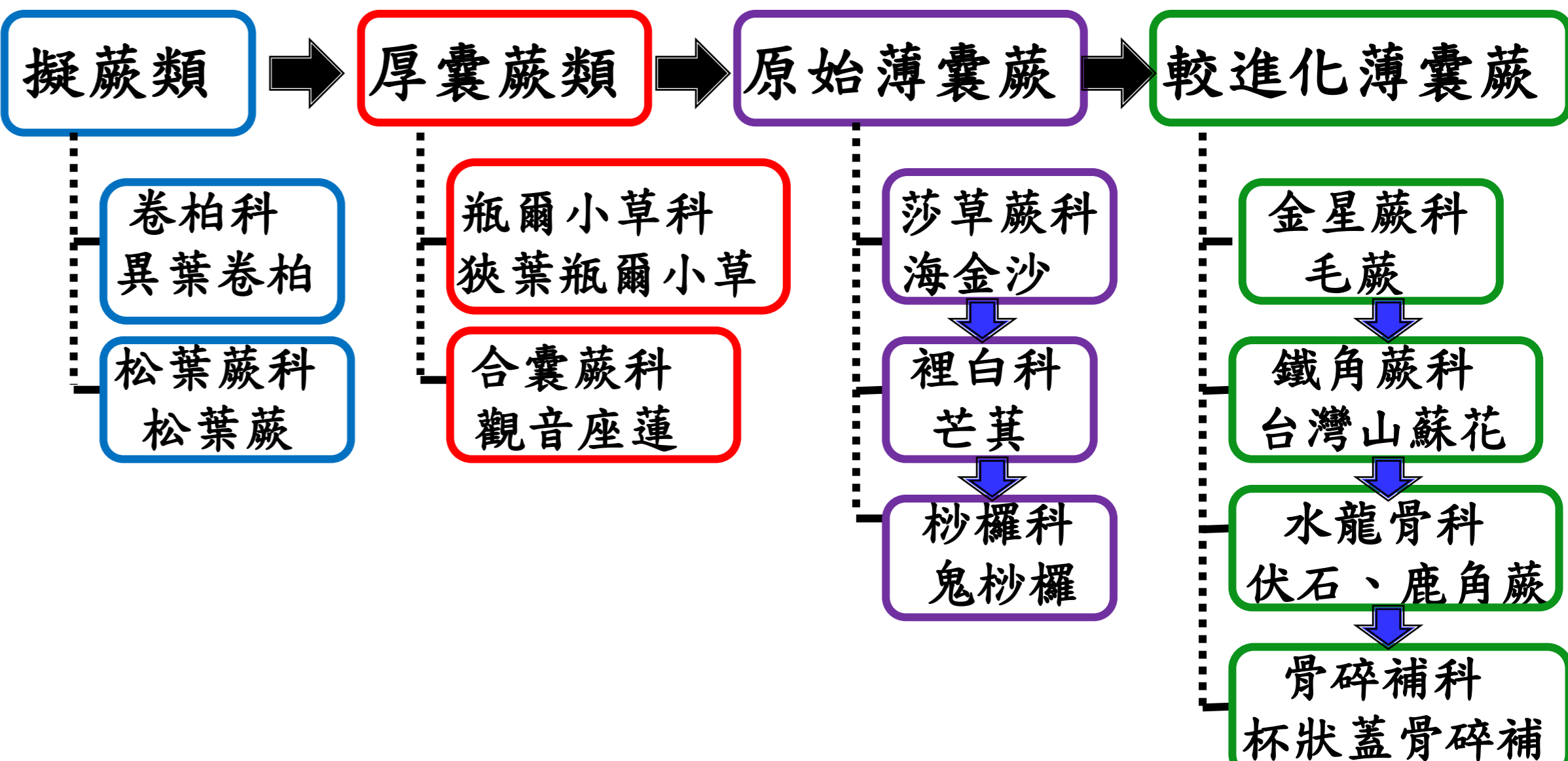


圖8 十二種蕨類植物演化樹(黑、藍箭頭為演化方向)

陸、結論

- 擬蕨類到較進化薄囊蕨類,孢子囊的結構從較厚、形態不同、無柄,到頂生環帶出現、斜生環帶短柄,最後出現具厚薄相間垂直環帶、唇細胞和長柄。孢子受到保護數目減少。
- 擬蕨類到較進化薄囊蕨類,從孢子囊未開啟,到孢子囊開啟但未彈射,最後孢子囊開啟且進行彈射。
- 環帶垂直性影響開啟角度,水龍骨科伏石蕨、鹿角蕨和骨碎補科杯狀蓋骨碎補,環帶垂直性佳且開啟角度大。
- 乾燥下,水和空氣的壓力促使孢子囊開啟,當壓力達到最大彈開或彈回。環帶細胞構造、唇細胞數量,水與空氣移動位置,使其開啟的機制不同;結果與通道說(參考資料3)不同
- 開啟角度與射程成反比,推測與生長方式有關。
- 孢子囊開啟機制由出現第一類型、第三類型到第一、三類型槓桿均出現;生長方式從地生到著生。
- 我們想學習蕨類想出許多好方法,努力改善自己適應環境。

柒、展望

較進化薄囊蕨類孢子囊外形趨於相似,但孢子外形有了改變(4X10或10X10),可能利於散播與附著,值得繼續深入探討。

