

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 生物科

佳作

080310

「蕨」處逢生

-探討台灣山蘇花的孢子彈射機制與附生的歷程

學校名稱：康橋學校財團法人新北市康橋實驗高級中學

作者： 小五 林志欣 小五 江柏均 小五 李信和	指導老師： 黃丰乃
---	------------------

關鍵詞：孢子彈射機制、槓桿原理、附生

摘要

從好奇台灣山蘇花(*Asplenium nidus* L.)生長高度為起點，了解它為鐵角蕨屬 (*Asplenium*) 巢蕨群，能提供其他生物生長空間和營養。孢子囊細胞中環帶細胞平均 19.4 個，唇細胞平均 3.2 個，具長柄，分類上為較進化薄囊蕨類。孢子囊開啟角度達 180 度，甚至達 225 度，可反轉後彈回。一次彈回氣泡幾乎充滿環帶細胞，二次彈回氣泡數較少，符合第一和三類型槓桿，以費力省時方式進行孢子彈射。室內外生長箱測量孢子彈出時平均角度 33.4 度，推測加上風力可將孢子彈得更高遠，已測得附生高度達 5 公尺。孢子彈出後，僅附生植物莖 0.1-0.2 公分並容易掉落，顯微觀察對附生植物影響小。這些適應環境和利他的方法和智慧，值得效法和學習。

壹、研究動機

在一次自然課前往校園時，發現一種可同時生長在樹上或地上植物，在老師的介紹後知道，它是台灣亞熱帶環境的指標植物-台灣山蘇花(*Asplenium nidus* L.)。仔細一看，外形特別，我們查閱圖鑑後發現，它之前曾經有一段很繁盛的時期，直到高等植物的出現，便退居到山林中，演化出適應環境的方法，但是，**它的孢子究竟如何繁殖，讓它能居於高處和低處，又能生生不息呢？**於是，我們就開始著手進行實驗。

在三年級上學期自然課中學過「植物的身體」，了解到植物的基本構造；五年級上學期學過「植物世界面面觀」，認識大自然中許多不同種類植物，以及它們繁殖的方式；最後，五年級上學期學過「力與運動」，介紹力的原理和日常生活中的「力」。(參考資料 8.9)

此外，第 51 屆全國科展作品(參考資料 3)提到幾種蕨類孢子囊的環帶細胞和唇細胞是傳播機制的關鍵構造，在含水量降低時唇細胞開啟，環帶細胞隨之開啟釋放孢子；另外，「科學」雜誌(2012)(參考資料 4)中提到相較於投石器，蕨類孢子囊顯然少了阻止投石器在旋轉過程中撞擊地面的橫木，而且在缺水時細胞內產生氣泡的現象，促使孢子囊細胞彎曲。我們試著運用這些背景知識並進行實際的觀察和記錄，以解開台灣山蘇花繁殖的祕密。

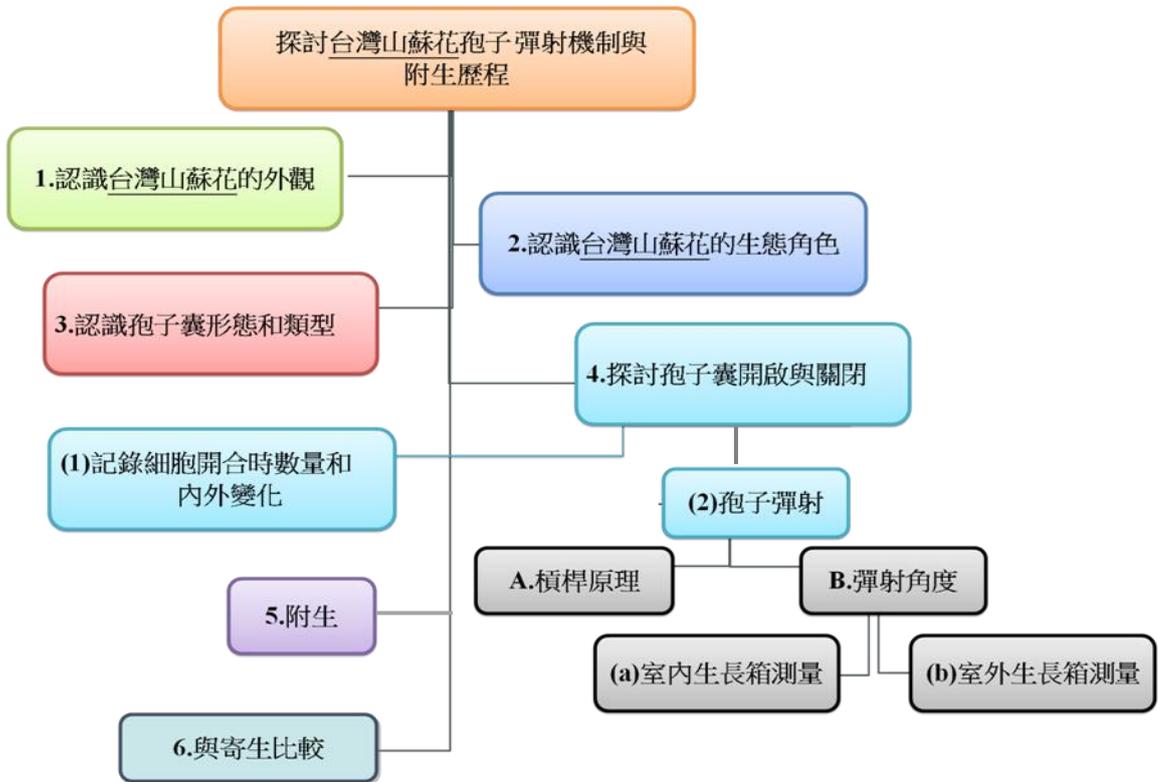
貳、研究目的

- 一、認識台灣山蘇花的基本資料。
 - (一)認識台灣山蘇花的構造。
 - (二)認識台灣山蘇花的生態角色。
- 二、探究台灣山蘇花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的觀察與記錄。
 - (三)探討孢子囊開合、孢子彈射與槓桿原理的相關性。
 - (四)以室內與室外生長箱，探究孢子的彈射角度。
 - (五)推測孢子彈射的機制。
- 三、探究台灣山蘇花與附生植物間的關係
 - (一)記錄校園中台灣山蘇花的附生植物與附生高度測量。
 - (二)觀察台灣山蘇花與附生植物間附著的現象。
 - (三)比較台灣山蘇花附生於植物與菟絲子寄生於馬鞍藤的不同。

參、研究設備及器材

- 一、研究樣本：
 - (一) 台灣山蘇花：植株、孢子
 - (二) 附生植物：江棊、相思樹、香楠、雀榕
 - (三) 馬鞍藤、菟絲子：莖
- 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、三合一測定儀(光、pH、濕度)
 - (二) 用品：紙箱、雙面膠、塑膠袋、圖畫紙、尺、量角器、刀片、剪刀、鑷子、載玻片、蓋玻片、透明膠帶、筆、標籤、記錄紙、甘油、水彩、噴漆

肆、研究過程或方法



一、認識台灣山蘇花的分類和基本資料

(一) 認識台灣山蘇花的構造

從蒐集資料中得知巢蕨有三種後，開始在校園進行踏查。依據校園平面圖(圖 1)，了解台灣巢蕨的位置(圖 2)。核對所借閱的圖鑑(參考資料 1.2)，確認為校園中所分佈的台灣巢蕨(又稱台灣山蘇花)(以下皆以台灣山蘇花稱之)後，在校園中選擇植株，進行根、莖和葉的觀察，並以相機進行拍照記錄。



(二)認識台灣山蘇花的生態角色(以本校校園為例)

從文獻中認識植株生長環境，並了解校園中植株所處的海拔高度，再核對圖鑑得知所附生植物的名稱(參考資料 6)和所見到的小動物，以相機進行拍照記錄。

二、探究台灣山蘇花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

取附生於相思樹和江菜的台灣山蘇花葉背的孢子囊(圖 3)以光學顯微鏡觀察(圖 4.5)並以顯微攝錄機進行拍照，核對相關文獻確認孢子囊的類型。



(二) 進行孢子囊開啟與關閉歷程的觀察與記錄

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，為了確認台灣山蘇花的孢子囊開啟是否也是如此，因此，室內外生長箱植株不進行澆水 2 個月。

(圖 6.7)

2.不澆水 1 個月後取孢子囊進行觀察，接著完全蒸乾水分再加入甘油於玻片上，以觀察孢子囊細胞變化，並以顯微攝錄機(圖 8)進行拍照。

(三) 探討孢子囊開合、孢子彈射與槓桿原理的相關性

觀察、測量和記錄孢子囊細胞變化如下：

1.孢子囊上的細胞開合時數量和開合時細胞內外的變化。

2.孢子囊開合歷程以量角器直接在電腦螢幕上測量角度變化(圖 9)並繪圖。

3.查詢書籍了解槓桿原理，並比對不同情況下孢子囊開啟與關閉的歷程，找出其相關性。

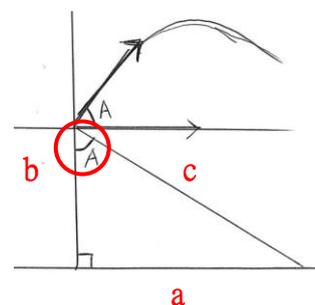
4.以繪圖和顯微攝錄機進行拍照，並依據實驗結果製成表格。

			
圖 6 室內生長箱 (200cm×160cm×75cm)	圖 7 室外生長箱 (48.5cm×47cm×92cm)	圖 8 顯微攝錄機	圖 9 以量角器測量孢子囊開合的角度

(四)室內與室外生長箱，探究孢子的彈射角度

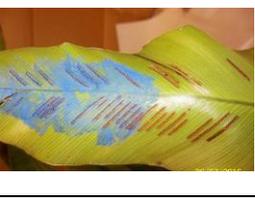
1. 選取校園兩株台灣山蘇花，其中一株放置教室，以紙箱圍起(圖 10)，在葉背有孢子囊附近以雙面膠交錯黏貼(圖 11)，上方以塑膠袋覆蓋(圖 12)，且在校園中的另一株以同樣的步驟進行，固定於校園所附生的植物上(圖 13.14)。
2. 從生長箱和校園選擇台灣山蘇花測量葉背的孢膜與中脈的夾角(圖 15)。
3. 讓植株缺水，每週觀察一次是否有孢子彈射，大約經過 1 個月，打開室內外生長箱，以尺和量角器，以及孢子彈射角度的測量(圖 16.17)
4. 孢子彈射角度的測量與計算方法(參考資料 7)：(運用「勾股定理」，可以只測定兩個數值)

- (1) 測量葉片上孢子囊到雙面膠的垂直距離(右圖 b)
- (2) 測量葉片上孢子囊到雙面膠上孢子的距離(右圖 c)
- (3) 底部的長度(右圖 a)
- (4) 計算孢子彈射角度(右圖圓圈 $\angle A$)



5. 為了更加確認孢子彈射的位置，我們再次架設室內生長箱(圖 18)，先將葉背孢子囊分區以水彩或噴漆塗上顏色(例：上面藍色，下面不上色，圖 19.20)，於孢子彈射後(圖 21)室內進行測量，再與之前的結果進行比較。

			
圖 10 以紙箱製作室內生長箱 1 (江基取下)	圖 11 葉背孢子囊附近以雙面膠黏貼	圖 12 以塑膠袋覆蓋	圖 13 室外生長箱內部

			
圖 14 室外生長箱外觀 (附生筆筒樹)	圖 15 測量葉背的孢 膜與中脈的夾角	圖 16 測量室內孢 子彈射角度	圖 17 測量室外孢 子彈射角度
			
圖 18 室內生長箱 2 (由 <u>相思樹</u> 取下)	圖 19 水彩上色 (上-藍色,下-不上色)	圖 20 分區上色後 (200cmx160cmx 75cm)	圖 21 孢子彈出 (箭頭：藍色孢子)

(五)推測孢子彈射的機制

從孢子囊開啟、測量細胞數目，細胞的變化和生長箱觀察和記錄，推測台灣山蘇花的孢子彈射歷程與其運用的槓桿原理進行彈射。

三、探究台灣山蘇花與附生植物間的關係

(一) 記錄校園中台灣山蘇花的附生植物與附生高度測量。

1. 先確認校園中台灣山蘇花所附生的植物名稱。
2. 測量台灣山蘇花附生的位置高度的方法(圖 22.23) (參考資料 6)：運用相似三角形的原理進行測量：折一段樹枝，使其長度等於眼和拳頭的距離，伸直手臂豎直的拿著樹枝，面對樹前後走動，使桿的上端與樹頂端和眼成一直線，桿下端與樹底端和眼成一直線。記下站立位置，測量至樹幹底端距離即為樹高。



(二) 觀察台灣山蘇花與附生植物間附著的現象。

以美工刀取台灣山蘇花的毛細胞附著於附生植物莖上的交接處組織，再以顯微攝錄機進行觀察與拍照，了解台灣山蘇花附生於植物的情況。

(三) 比較台灣山蘇花附生於植物與菟絲子寄生於馬鞍藤的不同。

在安康路的道路兩旁，找尋到菟絲子的蹤跡，並確認其寄生於馬鞍藤上。以美工刀切下菟絲子和馬鞍藤的莖，以顯微攝錄機觀察後進行拍照，並比較和台灣山蘇花附生於其他植物的不同。

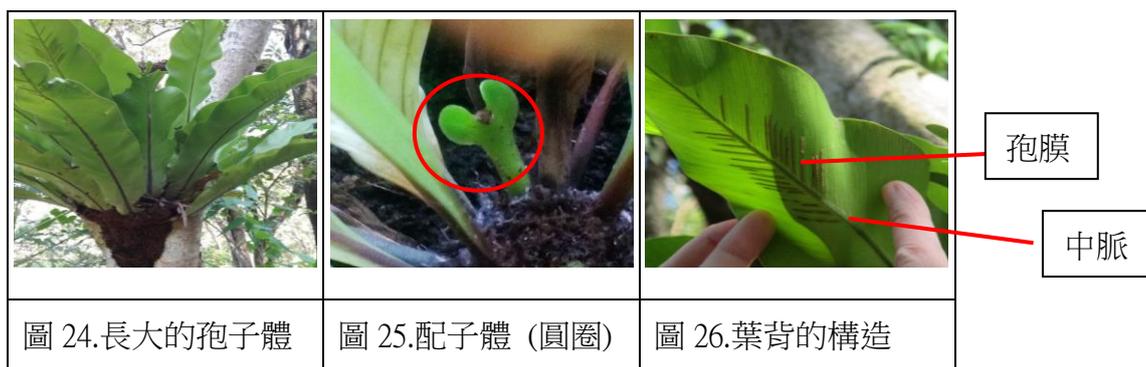
伍、研究結果

一、認識台灣山蘇花的分類和基本資料

台灣山蘇花(*Asplenium nidus* L.)居於亞熱帶闊葉林區，海拔高度五百公尺以下，為亞熱帶闊葉林的指標植物(參考資料 1.2)，本校蕨類植物區海拔高度約 50-80 公尺。

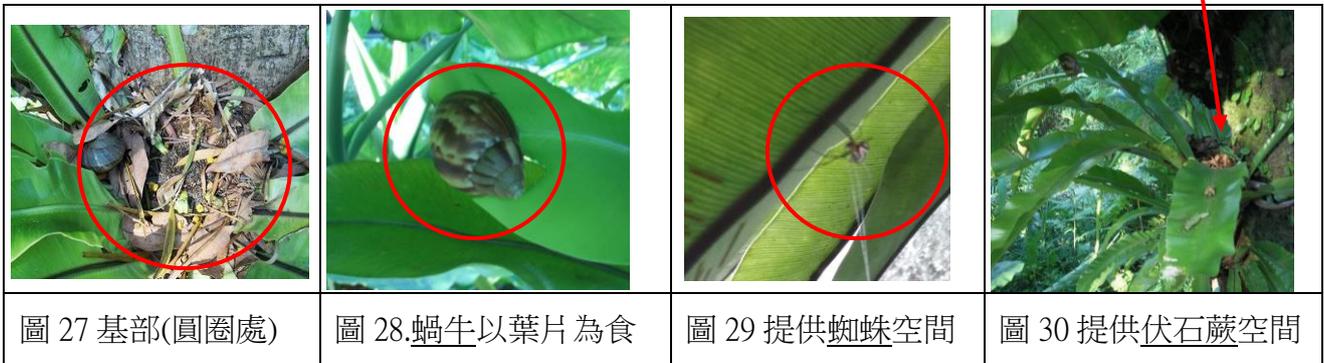
(一) 認識台灣山蘇花的構造

鐵角蕨屬巢蕨群的台灣山蘇花(圖 24)莖粗短而直立，葉緣呈波浪狀，長線形的孢膜長度占中脈至葉緣的 1/2~1/3 (圖 25)測量後約為 1/3)，附生於樹幹或岩石上。在台灣山蘇花的繁殖過程中，包含孢子體和配子體(圖 26)的世代，而我們所看到的孢子囊、孢子囊開啟彈射出孢子並發芽形成配子體前即為孢子體的世代。



(二) 台灣山蘇花的生態角色

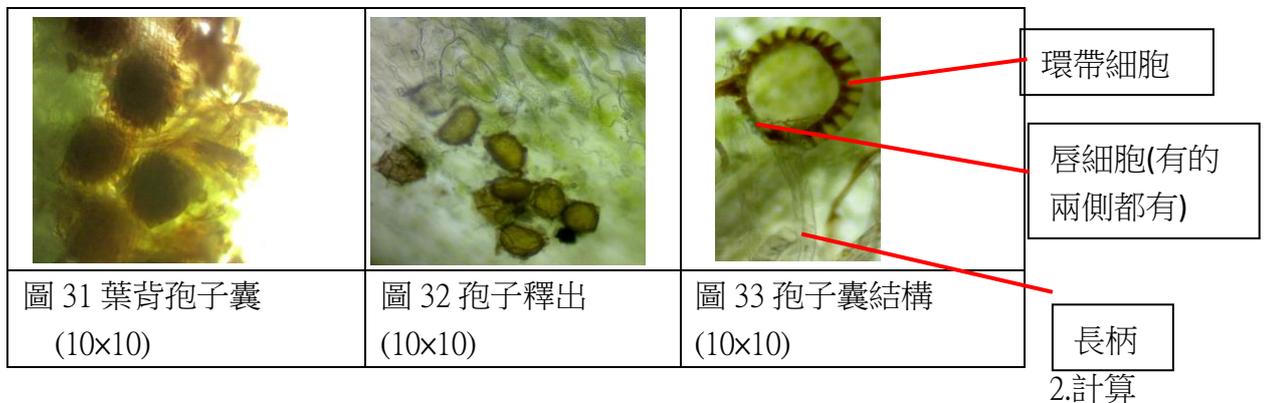
台灣山蘇花的基部(圖 27)可接收雨水、落葉和空氣中的灰塵，以及儲藏有機質和礦物質，校園中調查後拍照和記錄可附生於其他植物，並提供蝸牛(圖 28)食物，以及提供其他動植物的生長空間，例如蜘蛛和伏石蕨(圖 29.30)



二、探究台灣山蘇花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

1.從葉背觀察到的孢子囊(圖 31)內有許多孢子(圖 32)，具有長柄、垂直的環帶細胞和較薄的唇細胞(圖 33)，得知台灣山蘇花在分類上屬於較進化的薄囊蕨類。



10 個環帶細胞與唇細胞的數量之後，發現台灣山蘇花的環帶細胞大多為 19

或 20 個，但也有 17 個出現。唇細胞大多為 3 個(表一圖 34)，可提供分類依據。

表一：在不同的時間觀察 10 個孢子囊的環帶細胞與唇細胞的數量

時間	104.1 1.5	104. 11.5	104. 11.19	104. 11.20	104. 12.3	105. 1.03	105. 1.03	105. 1.03	105. 1.03	105. 1.06	平均 (個)
編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
環帶細胞	19	20	20	17	19	19	20	21	19	20	19.4
唇細胞	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3.2

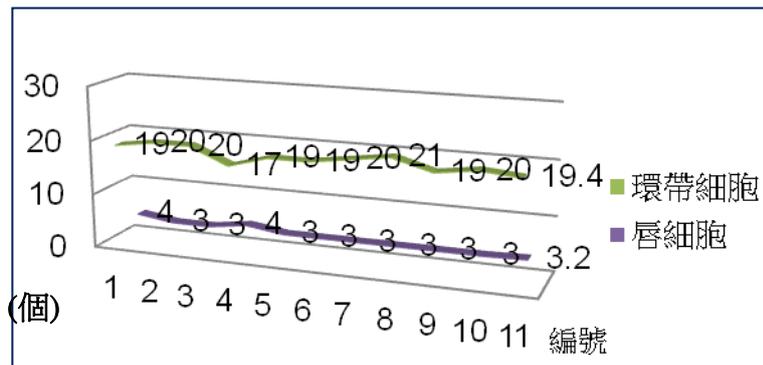


圖 34.環帶細胞與唇細胞的平均個數

(二)進行孢子囊開啟與關閉歷程的觀察與記錄

取 15 個孢子囊進行觀察後，選擇 4 個開合歷程有所差異的孢子囊(2 個未成熟，2 個成熟，分別以 ABCD 表示)透過顯微攝錄機以連續照相和攝影方式，呈現孢子囊開合的歷程，分別以孢子囊的成熟與否、孢子囊開啟角度、氣泡有無、時間和施力狀況進行觀察，再歸納與整理我們研究的結果。

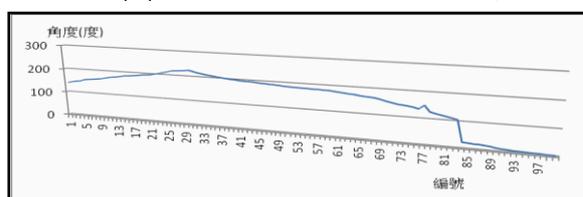
1. 未成熟孢子囊(A)測量 99 個開合的角度變化表(表二)：

(1)運用顯微攝錄機以連續拍照的方式在孢子囊開合的 99 張照片進行角度的測量，可以發現孢子囊逐漸打開，甚至大於 180 度；接著回到 180 度，再往後翹起大於 180 度，到了 105 度後反轉 82 度，最後會幾乎完全閉合。由於孢子囊未成熟，因此沒有孢子彈出。

表二：未成熟孢子囊(A)99 個開合的角度變化表

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
角度	140	145	148	150	157	159	161	163	165	169	173
編號	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
角度	176	178	181	185	186	188	190	193	195	196	200
編號	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
角度	204	209	213	218	220	221	223	225	220	216	213
編號	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
角度	210	208	205	203	201	199	198	196	195	195	194
編號	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
角度	192	191	190	189	188	186	185	184	184	183	183
編號	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
角度	182	182	181	181	179	177	175	173	172	169	167
編號	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
角度	166	164	160	155	151	147	145	143	140	135	150
編號	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
角度	127	122	118	114	110	105	23(反轉 82 度)	22	20	20	18
編號	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
角度	16	12	10	9	7	7	6	5	5	4	3

(2) 未成熟孢子囊(A)99 個開合的角度變化圖(下圖 35)：



(3) 選擇 15 個角度變化較大的未成熟孢子囊(A)開合的歷程(圖 36)：(10×10)

從開啟時 140 度(a)，角度達 225(k)後下降，接著反轉(n)，最後孢子囊閉合。

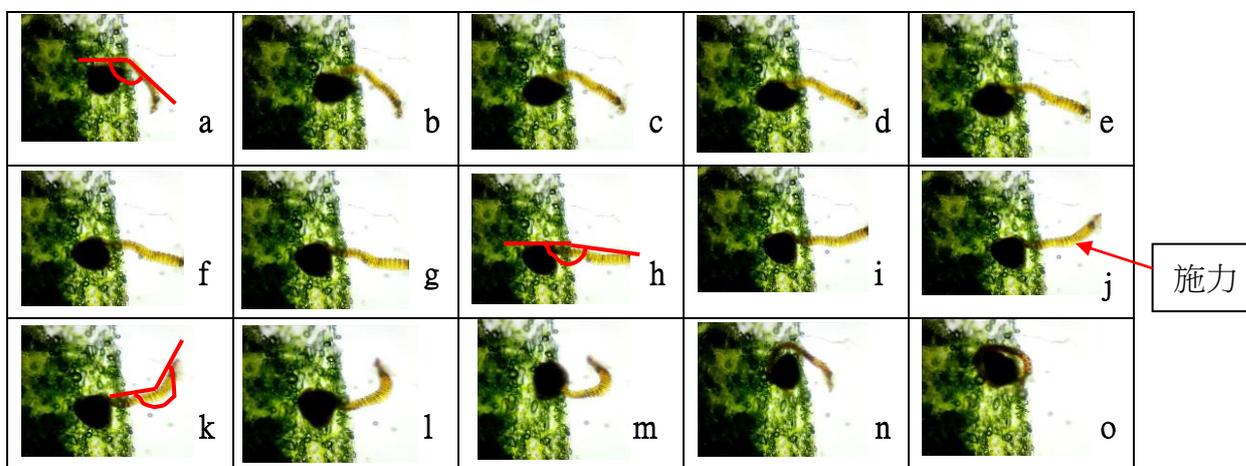


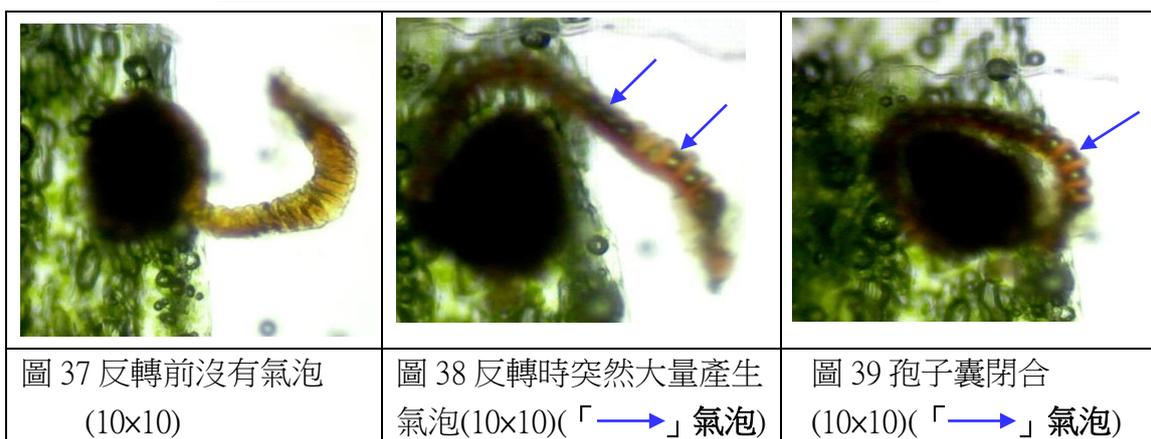
圖 36：15 個角度變化較大的未成熟孢子囊(A)開合的歷程圖 (a→o)

(4)未成熟孢子囊(A)開合的歷程中環帶細胞與唇細胞中**氣泡出現**的狀況

根據參考資料(3.4)得知氣泡的出現與孢子囊的閉合有關，我們觀察未成熟孢子囊的開合歷程，可以發現唇細胞先開啟(圖 36-a)後，開始沒有氣泡產生，在反轉(圖 36-n)時環帶細胞和唇細胞中的氣泡突然大量的產生且促使孢子囊快速彈回，最後剩下 2 個細胞沒有氣泡(圖 36-o)，結果與參考資料 4 中相符。(表三,圖 37-39)

表三：未成熟孢子囊(A)環帶細胞與唇細胞內氣泡變化表

記錄次數	1		2		3		4		5	
	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無
環帶細胞	0	17	0	17	0	17	13	17	15	2
唇細胞	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4



2.未成熟孢子囊(B)開合的角度與歷程(圖 40 a→d)

- (1)孢子囊由左側開啟，右側先固定，孢子慢慢釋出；接著，左側也開始開啟，左側往後翹起，左側彈回使部分孢子彈出，最後左側再彈回，共有兩次彈回，與前一個孢子囊的一次彈回不同。
- (2)在缺水處理後取孢子囊在顯微攝錄機下觀察發現有 8 個環帶細胞有氣泡(a)，觀察後發現氣泡數沒有變化，與前一個孢子囊幾乎充滿氣泡有所不同。
- (3)以顯微攝錄機攝影記錄整個孢子囊開合的時間只有 48 秒。
- (4)孢子囊開啟角度未超過 180 度(圖 a-c)，發現開啟時會受到鄰近孢子囊的影響，推測可能因此影響孢子彈射距離或高度，若為單一孢子囊彈射時不會干擾。

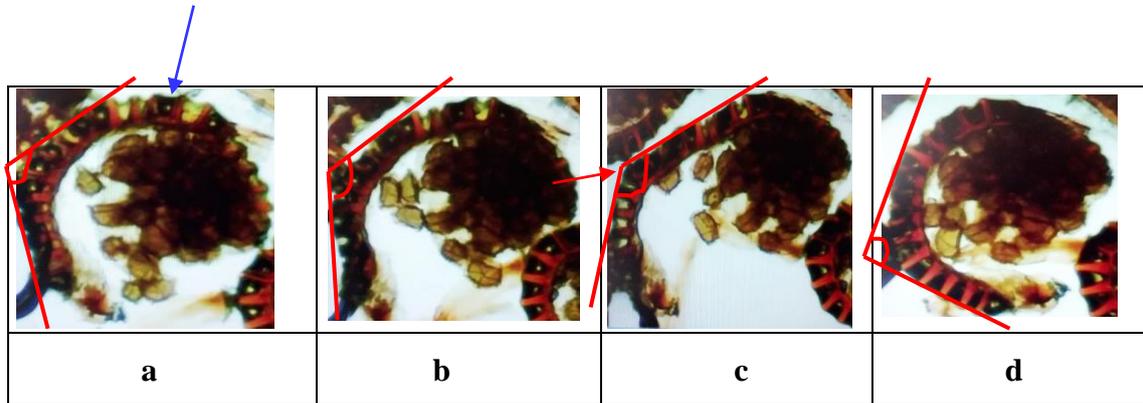


圖 40：未成熟孢子囊(B)選擇四個開合歷程圖(a→d)(10×40) (「→」施力,「→」氣泡)

(5)將開合的時間、氣泡、環帶細胞、唇細胞和開啟的角度進行整理 (表四)

表四：未成熟孢子囊(B)開合的時間、氣泡、環帶細胞、唇細胞和開啟角度整理表

時間	50 秒		1 分 03 秒		1 分 22 秒		1 分 38 秒		開合時間 共 48 秒
氣泡	有	無	有	無	有	無	有	無	有氣泡
環帶細胞	8	12	8	12	8	12	8	12	8
唇細胞	0	3	0	3	0	3	0	3	0
開啟角度	114 度(a)		125 度(b)		136 度(c)		95 度(d)		未超過 180 度
補充說明	開始打開,並慢慢釋出孢子(左側打開角度較大,右側幾乎固定)		左側 1 個環帶細胞和 2 個唇細胞往後翹起		左側 1 個環帶細胞和 2 個唇細胞彈回,部分孢子再彈出		左側 10 個環帶細胞和 2 個全數彈回		孢子釋出的過程中有兩次彈回的動作

3.成熟孢子囊(C)測量 35 個開合的角度變化表與變化圖(表五、圖 41)：

(1)成熟的孢子囊剛開始開啟後為 70 度(圖 42-b),孢子慢慢的釋出;角度逐漸增加後到達 138 度反轉(圖 42-j),接著角度變化不大,達 60 度(圖 42-o)停止,孢子囊無法完全閉合。由於孢子囊已經成熟,因此大多數的孢子已彈出。

表五：成熟孢子囊(C)測量 35 個開合角度整理表

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
角度	0	70(開)	72	75	77	79	80	87	90	95	100	108
編號	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
角度	113	116	120	126	130	133	134	136	136	138	60(反轉)	53
編號	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
角度	57	62	65	70	55	57	60	60(停止)	60(停止)	60(停止)	60(停止)	

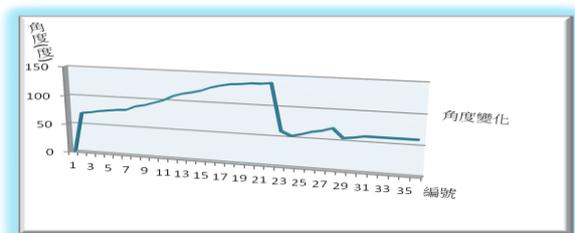


圖 41: 35 個成熟孢子囊(C)開合的角度變化圖

(2)選取 15 個角度變化較大的成熟孢子囊(C)開合的歷程(圖 42)：(10×40)

可觀察到孢子囊開合時角度的變化、氣泡、施力狀況和孢子彈射的歷程。

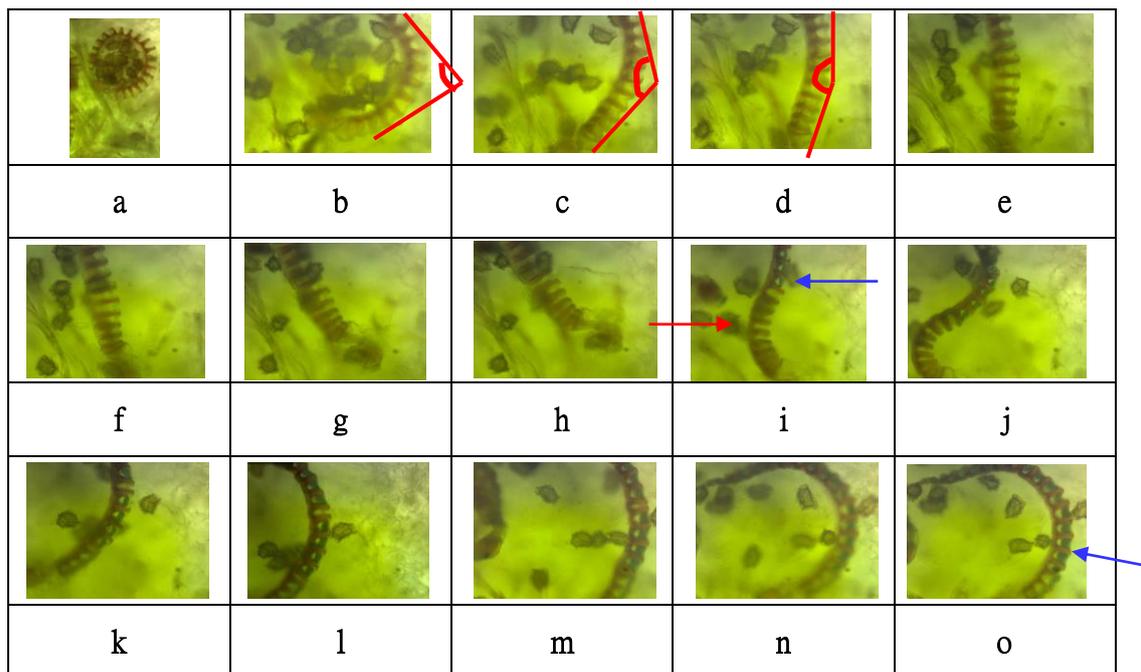


圖 42：15 個角度變化較大的成熟孢子囊(C)開合歷程(a→o)「→」為施力,「→」氣泡)

(3)成熟孢子囊(C)開合的歷程中環帶細胞與唇細胞中氣泡出現的狀況(表六)

觀察未成熟孢子囊的開合歷程，可以發現唇細胞先開啟後，刚开始沒有氣泡產生，環帶細胞和唇細胞中氣泡會逐漸增加，最後剩下 2 個環帶細胞沒有氣泡。

表六：成熟孢子囊(C)環帶細胞與唇細胞內氣泡變化表

記錄	孢子囊開啟		孢子囊閉合	
	有	無	有	無
氣泡	0	19	17	2
環帶細胞	0	3	0	3

4.成熟孢子囊(D)開合的角度、氣泡、施力和孢子囊開合的時間歷程(10×40)(圖 43)

(1)孢子囊由右側慢慢開啟(a),左側先固定孢子慢慢釋出;接著,左側也開始開啟(e),右側再往後翹起(f),左側彈回(i),最後左右兩側再彈回(j),共有兩次彈回,與前一個孢子囊的一次彈回不同;開啟角度超過 180 度,未受鄰近孢子囊影響。

(2)只有 3 個環帶細胞和 2 個唇細胞一直有氣泡,與前一個孢子囊幾乎都充滿氣泡不同,有氣泡的細胞數目僅約 2-4 個。

(3)整個孢子囊開合的時間只有 52 秒。

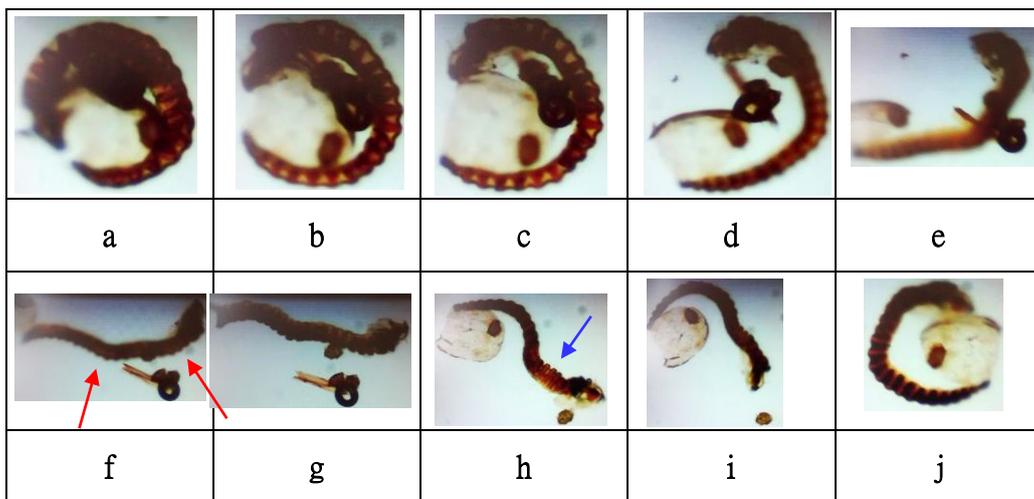


圖 43：成熟孢子囊(D)開合的歷程(a-j) (「→」為施力,「→」氣泡)

(5)下表為開合的時間、氣泡、環帶細胞、唇細胞和開啟的角度整理結果(表七)

表七：成熟孢子囊(D)開合的時間、氣泡、環帶細胞、唇細胞和開啟的角度結果表

時間	28 秒		37 秒		44 秒		48 秒		1 分 07 秒		1 分 20 秒		開合時間 共 52 秒
氣泡	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有氣泡
環帶細胞	0	20	0	20	0	20	0	20	3	17	3	17	3
唇細胞	0	3	0	3	0	3	0	3	2	1	2	1	2
開啟角度			達 90 度		達 180 度								超過 180 度後彈回
補充說明	打開後慢慢釋出孢子右側打開角度較大,共有 9 個環帶,1 個唇細胞;左側固定,微微開啟		右側打開角度,共 9 個環帶,1 個唇細胞,左側 11 個環帶和 2 個唇細胞固定		從左側 3 個環帶細胞和 2 個唇細胞開啟後到達 180 度,孢子完全釋出		右側 4 個環帶細胞和 1 個唇細胞繼續往後翹起		從左側 3 個環帶細胞和 2 個唇細胞彈回		左右兩側皆彈回		孢子釋出的過程中有兩次彈回的動作

(三) 探討孢子囊開合、孢子彈射與槓桿原理的相關性。

1.孢子囊細胞數目：台灣山蘇花為平均 19.4 個環帶細胞數和 3.2 個唇細胞數進行孢子彈射。

2.孢子囊開合：

(1)在葉片細胞缺水的情形下，孢子囊開啟，實驗中加入甘油為了促使孢子囊快速開合。在孢子囊開啟到一定的程度時，發現部分孢子囊的環帶細胞中瞬間充滿氣泡使孢子囊一次快速彈回。在我們的實驗中，不同的已離開葉片細胞的部分孢子囊有 2 次彈回的現象，僅有部分環帶細胞有氣泡。

(2)孢子囊開啟的角度大部分會大於 180 度以上，以協助更多孢子彈射。

3.孢子囊開合、孢子彈射與槓桿原理的相關性

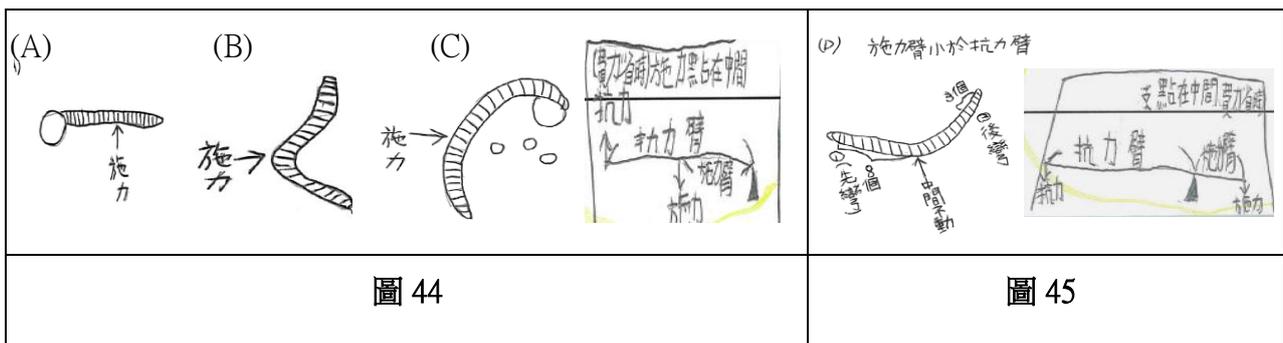
從實驗結果想到曾經學過的力和查閱書籍得知的槓桿原理，發現與孢子囊開合有相同的地方，並思考孢子繁殖運用此原理的意義。

(1)未成熟孢子囊(A) (B)和成熟孢子囊(C)一施力點在中間為第三類型槓桿

就好像吃飯時使用的筷子(圖 44)

(2)成熟孢子囊(D) 一支點在中間為第一類型槓桿

就好像短柄前面長的剪刀(圖 45)



(四)室內與室外生長箱，探究孢子的彈射角度

1.室內

(1)第一次孢子囊未上色：台灣山蘇花在缺水的情況下，剛開始在生長箱的白色雙面膠帶上，不容易發現褐色孢子，過 20 天才會有幾個孢子彈出，計算彈射角度平均為 38.3 度(表八)

表八：台灣山蘇花在室內生長箱孢子囊未上色測得孢子的彈射角度

編號	葉片上孢子囊到雙面膠的垂直距離	葉片上孢子囊到雙面膠上的孢子距離	底部的長度	彈射角度
1	5	5.2	2	22
2	6	6.3	2	18
3	14	20	15	47
4	10	17	14	54
5	16	22	15	43
6	15	20	14	43
7	17	22	15	41
平均	11.8	16	11	38.3

(2) 孢子囊上色：在分別以不同的顏色(藍色、黃色、紫色、紅色、綠色)以噴漆和上水彩兩種方式進行上色，並且讓植株缺水後，發現以水彩上色和未上色的孢子囊有孢子彈射出，噴漆則以紅色含天然樹脂的有孢子彈出，計算彈射角度平均為 31.4 度。(表九)

表九：台灣山蘇花在室內生長箱孢子囊上色測得孢子的彈射角度

	葉片上孢子囊到雙面膠的垂直距離	葉片上孢子囊到雙面膠上的孢子距離	底部的長度	彈射角度
藍色水彩	(1) 11	13	7	32.2
	(2) 12	15	9	36.8
	(3) 13	16	9	35.7
未上色	(1) 16	20	13	36.8
	(2) 14	15	7	21.7
	(3) 29	25	5	30.5
	(4) 16	19	10	32.6
紅色噴漆	(1) 23	24	6	16.6
	(2) 20	25	15	36.8
紫色水彩	(1) 6	7	4	31
	(2) 4	5	3	36
平均	14.9	16.7	8	31.4

2.室外：發現褐色孢子時間較早，15 天就有孢子彈出，彈射角度平均 30.5 度(表十)

表十：台灣山蘇花在室外生長箱中孢子的彈射角度

編號	葉片上孢子囊到雙面膠的垂直距離	葉片上孢子囊到雙面膠上的孢子距離	底部的長度	彈射角度
1	12	15	9	36
2	11	8	7	41
3	3	4	2.6	41
4	12	13	6	27
5	10	12	3	17
6	13	14	5	21
平均	10.2	11	4.4	30.5

3.室內與室外葉片上孢子囊到雙面膠的垂直距離接近，但葉片上孢子囊到雙面膠上的孢子距離與底部的長度，室外的數值都比較小，推測是由於室外生長箱的空間較小。至於彈射角度為 38.3、31.4 與 30.5 度，平均值 33.4 度。第二次室內孢子囊上色後測量結果與室外相近，是否與空間大小無關，未來進一步確認。(表八~十)

4. 從生長箱和校園選擇 5 株台灣山蘇花測量葉背的孢膜與中脈的夾角都是 30 度，推測可能是減少孢子彈射時干擾並配合葉片構造，未來可以進一步探討。

(五)孢子彈射的機制(表十一)

表十一：孢子彈射的機制

1.孢子囊狀態	孢子囊固定於葉片細胞	孢子囊離開葉片細胞(1)	孢子囊離開葉片細胞(2)
2.角度	大於 180 度，並反轉閉合	小於 180 度	大於 180 度並反轉閉合
3.氣泡	幾乎完全充滿	幾乎完全充滿	部分環帶細胞充滿氣泡
4.孢子囊開啟的狀況	孢子囊的一側固定，另一側開啟後反轉閉合，1 次彈回。	孢子囊的一側固定，從中間的環帶細胞開始往外開啟，再反轉閉合，1 次彈回。	孢子囊的一側開啟後，另一側再開啟，分 2 次彈回。
5.孢子囊開啟運用槓桿原理	施力在中間(費力省時)	施力在中間(費力省時)	支點在中間(費力省時)
6.孢子囊開啟後彈射角度	將孢子以平均 33.4 度進行彈射，再附著到其他植物上。		

三、探究台灣山蘇花與附生植物間的關係

(一)校園中台灣山蘇花的附生植物(圖 46~49)與附生高度測量結果。

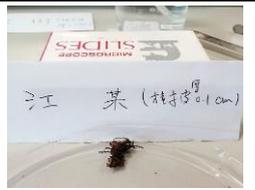
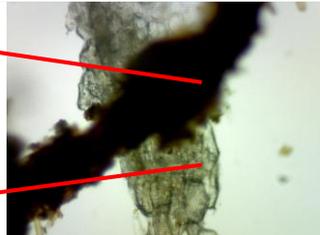
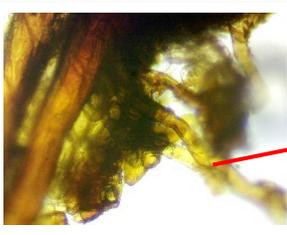
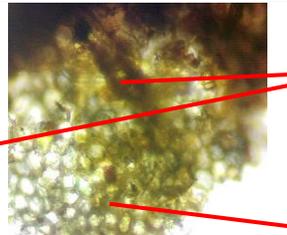
			
圖 46 台灣山蘇花 附生於江某	圖 47 台灣山蘇花附 生於相思樹	圖 48 台灣山蘇花 附生於雀榕	圖 49 台灣山蘇花附 生於香楠

(二)校園中台灣山蘇花附生於其他植物上的高度

測量的高度最高為 5 公尺，其餘高度分別為 1.5、1.2、0.8、1.4 和 2 公尺，有幾株則生長在地面。

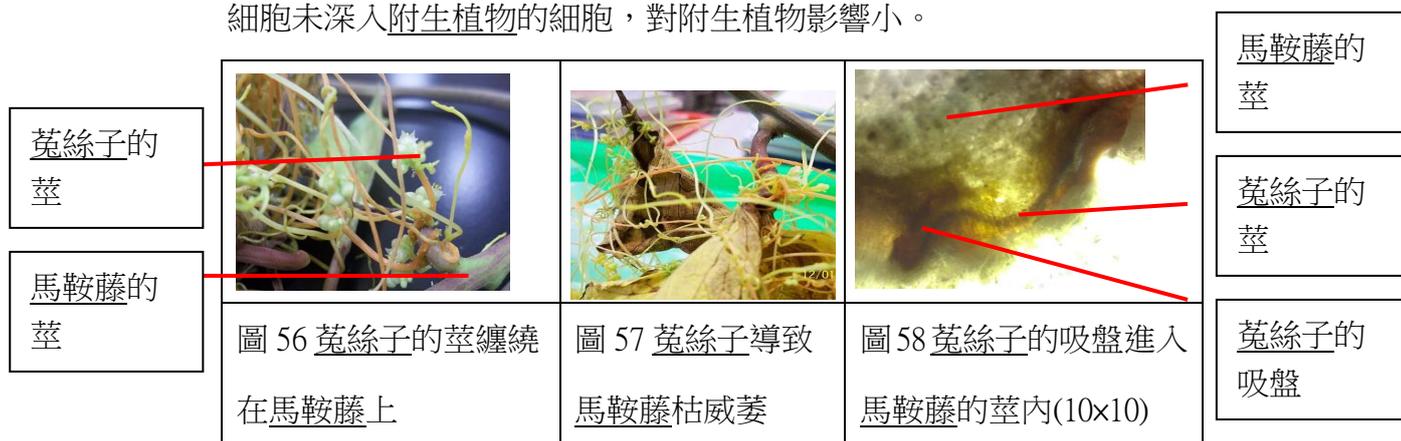
(三)台灣山蘇花與附生植物間附著的現象。

1. 觀察附生於相思樹的台灣山蘇花，從相思樹切下毛細胞附著的樹皮或直接在樹皮上測量後約 0.2 公分；附生於江某的台灣山蘇花，從江某的莖取下毛細胞附著的地方僅為 0.1 公分。在切下這兩種厚度細胞後，附生植物莖上已看不到毛細胞。
2. 毛細胞容易剝落，稍碰觸就從附生植物的莖掉下(圖 50~52)。
3. 顯微鏡下可見台灣山蘇花毛細胞未深入附生植物細胞或與他們相連(圖 53~55)。

台灣山蘇花的毛細胞			
	相思樹的樹皮	圖 50 台灣山蘇花附生相思樹，取樹皮 0.2 公分	圖 51 相思樹切下毛細胞附著的樹皮
台灣山蘇花的毛細胞			
相思樹的表皮細胞	圖 53 毛細胞附著於相思樹的細胞(10×10)	圖 54 台灣山蘇花的毛細胞(10×40)	圖 55 毛細胞附著於江某的細胞(10×10)
			台灣山蘇花的毛細胞
			江某的表皮細胞

(四) 比較台灣山蘇花附生於植物與菟絲子寄生於馬鞍藤的不同。

1. 菟絲子纏繞在馬鞍藤整個植株上面，以手觸摸可以感到具有黏性，較不易分開(圖 56.57)。
2. 切下在馬鞍藤和菟絲子兩種植物莖交接處的細胞，以顯微鏡觀察發現菟絲子寄生於馬鞍藤，吸盤進入寄主莖內，與寄主的細胞相連(圖 58)。台灣山蘇花的毛細胞未深入附生植物的細胞，對附生植物影響小。



陸、討論

一、認識台灣山蘇花的分類和基本資料

- (一) **起源**：在學校的自然課程中，有一部分是認識校園植物，並結合在課本的教材中，其中自然老師提到植物的演化，我們找尋植物演化的過程，發現蕨類植物在 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，蕨類植物便發展出各種適應機制。
- (二) **研究材料確認**：校園可看到可以長在樹上和地上的植物，我們確認它是巢蕨，並知道巢蕨有巢蕨、南洋巢蕨和台灣巢蕨，最後決定研究校園中最常見和亞熱帶闊葉林指標植物-台灣巢蕨(台灣山蘇花)，從植株外在形態、孢子囊的環帶細胞、唇細胞和長柄，在分類學上得知為較進化的薄囊蕨類。
- (三) **生態角色的探究**：我們知道它的基本資料後，校園中認識其他生物生存的關係，更加了解台灣山蘇花與環境共存的方式。

二、探究台灣山蘇花孢子囊的結構與孢子彈射歷程。

(一) **思考歷程**：我們觀察到它可以長在樹上和地上，但有部分竟然可以在很高樹上從老師講解和書籍中得知它的繁殖方式，再查閱文獻之後得知已有孢子囊開啟的研究，我們想要進一步了解開合的過程中孢子囊的變化、孢子如何彈射、彈射時可能運用的原理和附上其他植物的狀況。

(二) **研究方法確認**：從孢子囊結構的認識開始，並參考文獻進行孢子囊開合過程的觀察、記錄和拍照，為了避免實驗誤差並考慮時間，找尋 15 個孢子囊，並從中挑選開合時有不同的地方，包含成熟與未成熟孢子囊進行研究與比較。

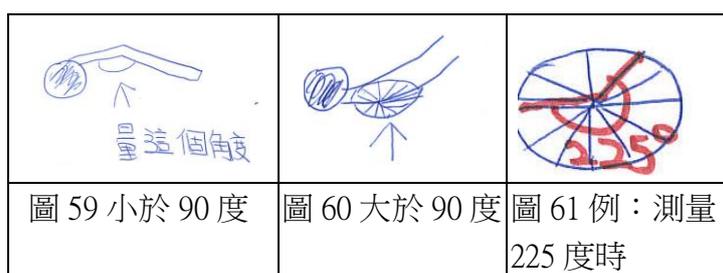
(三) **深入探討**：在看到開合的歷程後，我們實際測量角度後進行記錄，同時想到幾個連續研究的過程如下：

1. **文獻探討**：參考資料 3.4 中提到在缺水的情況下孢子囊會開啟，當開啟至一定程度時細胞中會產生大量氣泡，瞬間讓孢子囊閉合，就可以將孢子順利彈射。我們觀察和記錄發現一次彈回的孢子囊符合此結果，二次彈回則不同。

2. **葉片上或離開葉片**：

孢子囊開合時→角度測量→孢子囊細胞變化→彈出孢子
的可能原理

(1) **角度測量與開啟**：當我們觀察到環帶細胞和唇細胞開合時變化，我們決定運用數學課所學過的角度測量方法(圖 59~61)；另外，在文獻上未查詢到有關成熟與未成熟孢子囊開啟與閉合比較的相關資料，有了實驗結果後，我們進行推測與細胞纖維素有關，未成熟孢子囊初生細胞壁的網狀纖維絲構造富有伸縮性，可以適應細胞的膨大增長。成熟孢子囊次生細胞壁的纖維絲排列形成後，原生質中有果膠酸鈣與亞纖維素具黏性的物質(參考資料 5)，使孢子囊無法立刻和完全閉合。



(2) **孢子囊細胞變化**：針對有變化的環帶細胞和唇細胞的氣泡變化(文獻顯示與開合有關)，以及開合時的細胞數目進行記錄。

(3)**彈出孢子的可能原理**：由於在觀察細胞開合時變化，讓我們想到丟球時的狀況，查詢文獻發現與投石器有相關性，但我們不太了解，回想所學過力的單元，在查詢相關資料後發現了「槓桿原理」，依據生活中的經驗再結合所觀察的結果進行討論，發現符合第一和第三類型槓桿。

2.彈出葉片：運用室內外生長箱→測量孢子彈出時的角度→推測彈射狀況。

(1)**生長箱的製作**：我們想要實地的了解孢子彈出葉片時的情況，並希望在室內外進行，因此決定製作室內外生長箱。為了要讓孢子能彈射，我們在文獻中得知在缺水的情況下孢子容易彈射，因此我們除了思考如何測量角度，也以不澆水的情況進行研究。雖然室外較符合實際情況，但空間上較為受限。

(2)**角度測量**：我們想到丟球時的狀況，因此查詢並初步了解拋體的知識，要考慮水平和垂直的情況，但我們只做出初步的角度測量，決定考慮水平方向，也就是彈出時距離進行角度的測量，並進一步思考彈射的狀況。

(3)**文獻探討**：拋射角度為 45 度時最為高遠，能拋到最高和最遠，但會受到許多因素的影響，因此理想推鉛球的出手角度約 37 至 42 度，擲鐵餅約 35 至 37 度，而擲標槍約 30 至 36 度，比對台灣山蘇花孢子的彈射結果發現為 33.4 度。

3.彈出後附生於其他植物：顯微鏡觀察附生的情況→比對寄生的情況→確認台灣山蘇的生態角色

(1) **觀察附生情況**：我們觀察到台灣山蘇花附著在其他植物上的部分有一團黑色的細胞，這就是毛細胞，且輕輕一撥就掉下來了。接著用美工刀將毛細胞與附生植物樹皮交接處取下或直接測量，甚至只要僅僅 0.1 公分就可以觀察，在顯微鏡下觀察發現未深入附生植物的組織。

(2) **比對寄生的情況**：為了確認台灣山蘇花不是寄生，將附近所看到的菟絲子寄生於馬鞍藤也以相同的方式取下，發現菟絲子黏在馬鞍藤的莖上，並以顯微鏡觀察發現菟絲子吸盤進入馬鞍藤莖內。

- (3) **確認生態角色**：將附生與寄生細胞都放在顯微鏡下，再次確認台灣山蘇花的生態角色。

柒、結論

- 一、台灣山蘇花為鐵角蕨屬巢蕨群，莖粗短而直立，葉緣呈波浪狀，長線形的孢膜長度占中脈至葉緣測量後約為 1/3，且與中脈呈現 30 度。在校園觀察中發現能附生江某、相思樹、雀榕、香楠的樹幹上。
- 二、台灣山蘇花的基部可接收雨水和落葉，校園中觀察到它可提供蝸牛食物和其他動植物的生長空間，例如蜘蛛和伏石蕨。
- 三、台灣山蘇花的孢子囊細胞中的環帶細胞數平均值為 19.4，唇細胞平均數為 3.2 個，具有長柄，在分類學上確認為較進化的薄囊蕨類。
- 四、取 15 個孢子囊進行觀察，選擇 4 個開合歷程有所差異的孢子囊(2 個未成熟，2 個成熟，分別以 ABCD 表示)歸納與整理我們研究的結果如下表：

	1.開合狀況	2.角度變化	3.彈回次數	4.氣泡的產生
未成熟孢子囊 (A.B)	打開時角度較大，反轉後可幾乎完全彈回 (3 度)	開啟的角度可達到 225 度，無論是否成熟，都有大於 180 度的情況。在閉合時有反轉的情況。	無論是否成熟有一次彈回和二次的情況。	(1) 一次彈回時氣泡幾乎充滿整個細胞。 (2) 二次彈回的孢子囊細胞中發現氣泡較少。
成熟孢子囊 (C.D)	張開角度較小，彈回後角度測量為 60 度			

- (一)證實孢子囊的開合與是否成熟、缺水的狀況有關：孢子囊未成熟者孢子囊細胞初生細胞壁構造富伸縮性，幾乎會完全彈回；成熟的孢子囊則否推測與孢子囊的次生細胞壁構造具黏性可減緩彈回速度且伸縮性較為初生細胞壁不佳。缺水的情況，環帶細胞細胞壁內水的張力便會促使唇細胞先開啟，接著環帶細胞開啟，到一定程度時則關閉。
- (二)孢子囊在開啟過程大多會以大於 180 度的方式彈出孢子，並透過反轉或二次彈回的力量彈出更多的孢子。
- (三)參考資料 34.中顯示在孢子囊開啟的過程中會於瞬間大量產生氣泡使孢子囊在短

時間內閉合，我們的實驗結果有部份吻合，不同之處在於我們發現當孢子囊有二次彈回的情況下，環帶細胞中的氣泡數就很少，未來可進一步確認。

(四)孢子囊在開啟的過程中可能會受到鄰近孢子囊的影響，角度變小，影響孢子彈出。

五、孢子彈射機制：

(一) 孢子囊開合原理：計算開合時環帶細胞、唇細胞數目和施力的情況，我們發現運用槓桿原理中的第一類型(支點在中央)和第三類型槓桿(施力點在中間)，並以「費力省時」的方式進行。

(二) 彈射角度：室內外生長箱測得彈射角度為 38.3、31.4 與 30.5 度，平均值 33.4 度。

室內與室外葉片上孢子囊到雙面膠的垂直距離接近，但葉片上孢子囊到雙面膠上的孢子距離與底部的長度，室外的數值都比較小，原來推測可能是由於室外生長箱的空間較小。進行第二次室內孢子囊上色後測量結果發現與室外相近，是否與空間大小無關，且這些數值較接近實際植株的彈射角度，未來可進一步確認。

(三) 測得台灣山蘇花彈射角度 33.4 度，推測演化過程中，它希望能將孢子彈到更遠的地方，再透過風力的作用，可以飛到更遠的地方。孢膜與中脈夾角都是 30 度，推測是配合葉片的構造而有利於孢子彈射，目前還未能確認，未來可進一步探討。

(四) 總整理表：

1.孢子囊狀態	孢子囊固定於葉片細胞	孢子囊離開葉片細胞(1)	孢子囊離開葉片細胞(2)
2.角度	大於 180 度，並反轉閉合	小於 180 度	大於 180 度並反轉閉合
3.氣泡	幾乎完全充滿	幾乎完全充滿	部分環帶細胞充滿氣泡
4.孢子囊開啟的狀況	孢子囊的一側固定，另一側開啟後反轉閉合，1 次彈回。	孢子囊的一側固定，從中間的環帶細胞開始往外開啟，再反轉閉合，1 次彈回。	孢子囊的一側開啟後，另一側再開啟，分 2 次彈回。
5.孢子囊開啟運用槓桿原理	施力在中間(費力省時)	施力在中間(費力省時)	支點在中間(費力省時)
6.孢子囊開啟後彈射角度	將孢子以平均 33.4 度進行彈射，再附著到其他植物上。		

- 六、台灣山蘇花能附生於其他植物上，可以僅附生於植物 0.1-0.2 公分，並容易掉落，與寄生於馬鞍藤的菟絲子不同，同時台灣山蘇花對附生的植物較無影響，菟絲子吸盤進入寄主莖內，與寄主的細胞相連，會使寄生的植物枯萎。
- 七、台灣山蘇花為了適應環境的變遷，演化出有利於繁殖後的孢子囊開啟和彈射的機制，不僅對附生植物較無影響，同時又能提供其他生物營養和生存空間，這樣的智慧，值得我們效法與學習。

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、我要彈得又高又遠-蕨類孢子傳播機制之探討(2010)。全國中小學科展作品第 51 屆作品。
- 四、X. Noblin, N. O. Rojas ,J. Westbrook, C. Llorens(2012) The Fern Sporangium: A Unique Catapult.*Science* ,335, 1322.
- 五、李學勇(1983)。植物學要義。台北市：正中書局。
- 六、艾倫.J.科莫斯(1996)。樹木圖鑑。台北市：貓頭鷹出版。
- 七、中興大學物理系(無日期)。拋體運動。2016 年 3 月 12 日取自
<http://ezphysics.nchu.edu.tw/ccp/kinematics/k2.htm>
- 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 105)。自然與生活科技五上教師手冊。新北市：康軒文教事業

【評語】 080310

研究主要在探討台灣山蘇花孢子彈射機制及附生的歷程，對於附生現象進行標本取樣及顯微觀察，發現山蘇花毛根細胞“附生”在植物表皮，並未進入宿體的細胞內，是為附生，此發現很棒，未來可進一步探討附生歷程。