

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 生物(生命科學)科

佳作

040701

彈出吧！孢芽－蘚類孢芽生殖之探討

學校名稱：國立新竹女子高級中學

作者：	指導老師：
高二 黃雁琪	簡湘誼
高二 汪容	黃淑宜

關鍵詞：孢芽杯 孢芽 無性生殖

## 壹、摘要

我們在環境較潮濕的郊外崖壁發現了具有孢芽杯的蘚類植物，激發我們深入研究蘚類孢芽生殖的機制，並根據其生長環境，我們設計了改變溼度及坡度的實驗。在溼度不同的環境下，發現潮濕組的地錢其孢芽彈出百分比以及孢芽杯的生長密度均較乾燥組高。因此當環境變的較為乾燥時，蘚類除了行孢芽生殖外，也會生長生殖托以行有性生殖。在孢芽杯內，我們發現孢芽有大小之分，經測量後證實外層孢芽平均大小較內層孢芽大，且潮濕組外層孢芽較乾燥組大。另外在改變坡度的實驗中，我們發現在坡度 75° 下的孢芽杯，孢芽彈出百分比最高，因此證實了野外勘察時所測量到的 65° 至 80° 為最適合蘚類行孢芽生殖的坡度。

## 貳、研究動機

當初在尋找科展題目時，由於不知方向，所以常到處尋找資料和研究目標。在一次偶然的機會下，我們在環境較潮濕的郊外發現了一大片茂密的蘚苔植物生長在幾近垂直的崖壁上，其中蘚類植物上長有許多特殊的杯狀構造，卻幾乎沒有生命科學第一冊課本中所提到的雌、雄生殖托。我們回到學校的圖書館查詢，書中介紹了蘚類植物的無性生殖構造「孢芽杯」和其特殊的生殖機制，孢芽杯內有許多綠色的孢芽，孢芽會隨著雨水或其他液體的滴入一起彈出，並生長成一株新植株。有了這樣的認知，更加激發了我們對蘚苔植物孢芽杯研究的興趣。隔一段時間後，我們又再回到野外，發現有些蘚類植物上開始有生殖托，我們推測，可能是前一陣子較為乾旱的天氣，造成蘚苔植物必須進行有性生殖以繁殖後代。因此，我們決定深入研究有關孢芽杯的生殖機制以及生長在不同角度的崖壁上對孢芽彈出的影響。

## 參、研究目的

- 一、 野外觀察蘚類的生態環境
- 二、 觀察溼度對孢芽杯和孢芽的大小、數量、密度、生長情形的影響
- 三、 改變孢芽杯坡度，觀察水滴使孢芽彈出的情形
- 四、 觀察孢芽是否有越往孢芽杯內部越小的趨勢

## 肆、研究設備及器材

### 一、蘚類植物

實驗對象：淺刻地錢土佐亞種

生於火山灰質之潮濕崖面或土壁上。灰綠色。葉狀體 3~5cm，4~5mm 寬，2 叉狀分歧，背面中央有黑線條。孢芽杯外面平滑，緣幾乎全緣，雌雄異株。見【圖一】。

【圖一】實驗對象



地點一通往馬武督路上蘚類：石地錢 *Reboulia hemisphaerica*

生於住家周圍的石壁上或山地的土上，岩石上。背面綠色，緣跟腹面為紫紅色，雌雄同株。見【圖二】。

【圖二】石地錢 照片來源：台灣蘚類植物彩色圖鑑



地點五新竹縣往五峰鄉的路上蘚類：地錢

植物群生於土上。灰綠色。葉狀體 2 叉狀分枝，表面略凹，中央有濃色的線。無性芽位於杯狀體中，圓盤狀且兩側凹。杯狀體分布在葉狀體的背面中央的各處，杯狀體口緣有重鋸齒。

【圖三】地錢 照片來源：台灣蘚類植物彩色圖鑑



## 二、器材

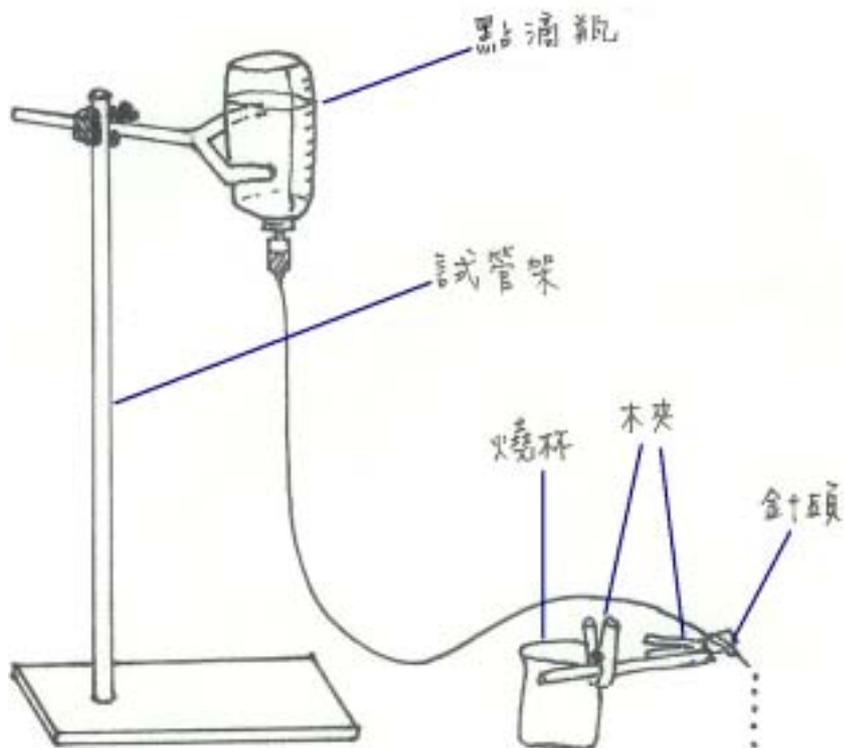
生長箱	4 個
解剖顯微鏡	2 臺
目鏡測微器	1 個
物鏡測微器	1 個
量角器	2 個
溫濕度計	4 個
鑷子	2 支
解剖針	2 支
燒杯 100ml、200ml	數個
滴管	2 支
量筒	2 個
載玻片	3 片
木夾	4 個
試管架	2 支
吸管	數根
單位密度測量器	2 個
直徑 0.63 mm 針頭	2 根

### 三、裝置

【圖四】實驗裝置 點滴器材



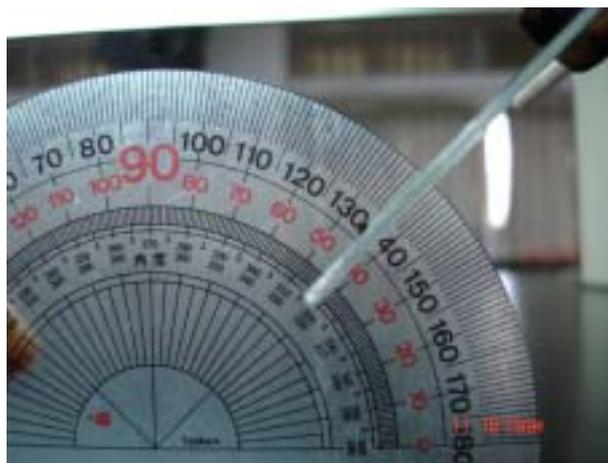
【圖五】實驗裝置 點滴器材手繪圖



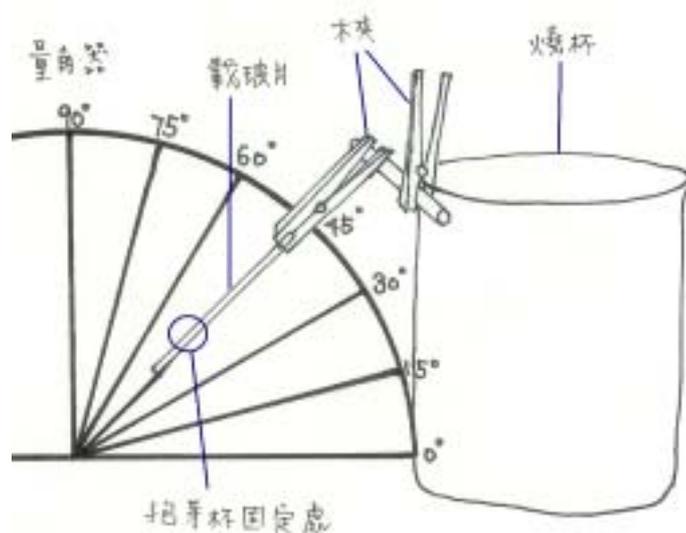
【圖六】測量裝置



【圖七】測量裝置近照



【圖八】測量裝置手繪圖



## 伍、研究過程或方法

### 一、野外實地勘查

(一) 勘查日期：96年2月14日 星期三

#### 1. 勘查地點

地點一：新竹縣關西鎮通往馬武督的路上

地點二：新竹縣關西鎮馬武督

地點三：新竹縣玉山

#### 2. 測量各地點坡度、溫度及溼度

地點一：坡度 80°，溫度 20.3°C，溼度 63%

地點二：坡度 83°，溫度 18.7°C，溼度 68%

地點三：坡度 65°，溫度 16.9°C，溼度 84%

(二) 勘查日期：96 年 5 月 19 日 星期六

1· 勘查地點

地點三：新竹縣玉山

地點四：新竹縣軟橋

地點五：新竹縣往五峰鄉的路上

地點六：新竹縣北埔大坪國小旁

2· 測量各地點溫度及溼度

地點三：溫度 23.6°C，溼度 74%

地點四：溫度 23.1°C，溼度 72%

地點五：溫度 25.5°C，溼度 65%

地點六：溫度 25.4°C，溼度 64%

(三) 實地測量各地點孢芽杯及生殖托的單位密度。見【圖九】。

## 二、實驗室蘚類的培養

(一) 將野外採集的地錢分成乾濕二組，潮濕組溼度為 95%~100%。乾燥組置於抽風櫃內，溼度為 70%~80%

(二) 以吸管標示孢芽杯的位置及數目，並計算單位面積(16cm<sup>2</sup>)內孢芽杯的數量。見【圖十】。

【圖九】利用自製 4 cm × 4 cm 單位方格測量面積



【圖十】以吸管套住孢芽杯以便觀察其數目

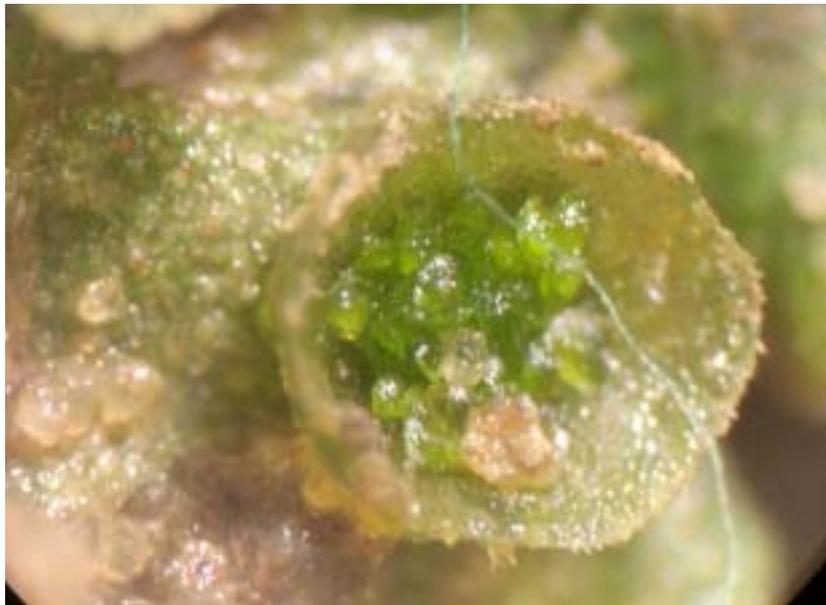
橘色：1 個孢芽杯，藍色：2 個孢芽杯

黃色：1 個生殖托，紫色：2 個生殖托



(三) 以顯微鏡或放大鏡觀察乾燥組及潮濕組中的孢芽杯之生長情形、大小，與孢芽的數量。見【圖十一】。

【圖十一】顯微鏡下的孢芽杯及孢芽

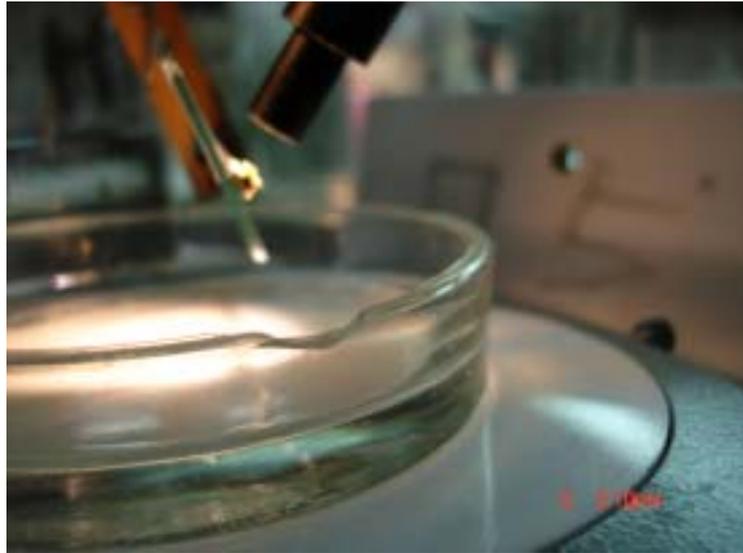


### 三、研究不同坡度對孢芽彈出的關係

(一) 將置有孢芽杯的載玻片分別固定與水平成  $0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $75^\circ$ 、 $90^\circ$ 。

見【圖十二】。

【圖十二】置於坡度 75°的孢芽杯



(二) 以點滴器材滴水並紀錄每一滴水滴入時孢芽溢出的數目，以及相同孢芽數彈出時的水滴數

#### 四、孢芽大小與相對位置的關係

(一) 以顯微鏡觀察滴水後彈出孢芽杯之孢芽，並分別測量其大小

(二) 以顯微鏡觀察滴水後仍附著於孢芽杯壁上的孢芽，以解剖針將之挑出，並分別測量其大小

## 陸、研究結果

### 一、野外勘查的發現

(一) 地點一：新竹縣關西鎮通往馬武督的路上

勘查發現：地錢葉狀體上全長滿明顯的生殖托，完全沒有發現長有孢芽杯的植株。

【圖十三】地點一長滿生殖托的蘚類



(二) 地點二：新竹縣關西鎮馬武督

【表一】馬武督採集地之地錢孢芽杯和生殖托的分布情形

選取樣區	孢芽杯密度(個/16 cm <sup>2</sup> )	生殖托密度(個/16 cm <sup>2</sup> )
1	7	0
2	8	1
3	9	0
4	4	2
5	5	3
6	3	0
7	7	6
平均	6.2	1.2

勘查發現：原本皆以孢芽繁殖的地錢，開始產生只有雌、雄生殖托的新植株。查詢此地前陣子的氣象資料，得知先前該地區是處於較乾燥的環境。同時，我們也觀察到長有孢芽杯的植株，即不會有生殖托的出現，反之亦然。地錢的生殖托都生長在假葉的前端；孢芽杯則不盡然，有些甚至長在葉狀體的中心。見【圖十四】。

【圖十四】 藍色箭頭所指為孢芽杯，黃色箭頭所指為生殖托



(三) 地點三：新竹縣玉山

【表二】玉山採集地之地錢孢芽杯和生殖托的分布情形

勘查日期	96年2月14日		96年5月19日	
	孢芽杯密度 (個/16 cm <sup>2</sup> )	生殖托密度 (個/16 cm <sup>2</sup> )	孢芽杯密度 (個/16 cm <sup>2</sup> )	生殖托密度 (個/16 cm <sup>2</sup> )
1	14	1	7	0
2	5	12	4	0
3	13	5	7	0
4	6	1	9	0
5	14	5	2	5
6	6	0	2	1
7	6	6	12	2
平均	9.0	3.4	5.4	1.0

1. 勘查日期：96年2月14日

勘查發現：此地溼度較前兩個地點來的高，而其孢芽杯及生殖托密度平均各為 9.0 和 3.4 個/16 cm<sup>2</sup>也較馬武督高。另外我們採樣此地的地錢帶回實驗室培養。

2. 勘查日期：96年5月19日

勘查發現：此次勘查時，濕度較前一次勘查時低，而且地錢有大面積死亡的現象。見【圖十五】。而單位面積中孢芽杯和生殖托的密度均下降。見【表二】。

【圖十五】箭頭所指為死亡的地錢



(四) 地點四：新竹縣軟橋

【表三】軟橋採集地之地錢孢芽杯和生殖托的分布情形

選取樣區	孢芽杯密度(個/16 cm <sup>2</sup> )	生殖托密度(個/16 cm <sup>2</sup> )
1	7	6
2	8	4
3	9	0
平均	8.0	3.3

勘查發現：此地的地錢生長在泥壁上，而濕度和孢芽杯及生殖托的密度也大於地點三。

【圖十六】軟橋採集地之地錢



(五) 地點五：新竹縣往五峰鄉的路上

勘查發現：地錢生長方式為放射狀，每個分支會再分成 2 支，但長有生殖托後便停止繼續分支。而且由於許多生殖托皆死亡，所以無法測量其密度。

(六) 地點六：新竹縣北埔大坪國小旁

勘查發現：我們發現外型及顏色差異很大的雌托和雄托。見【圖十七】。而且雄托的高度比雌托高出許多。見【圖十八】。

【圖十七】 藍色箭頭所指為雌托，紅色箭頭所指為雄托

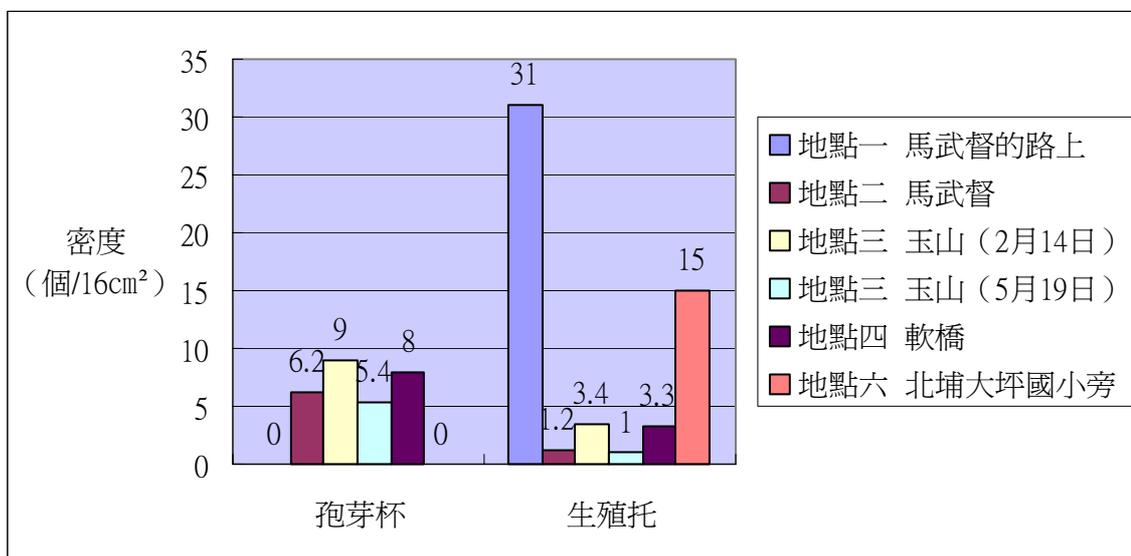


【圖十八】 黃色箭頭所指為較矮的雌托，紅色箭頭所指為較高的雄托



(七) 地點一和地點六的濕度較低，生殖托密度也比其他地點高出許多，分別為 31 個/16 cm<sup>2</sup>及 15 個/16 cm<sup>2</sup>。而地點三在第二次勘查時濕度、孢芽杯和生殖托密度均下降。見【圖十九】。

【圖十九】 各地點孢芽杯及生殖托密度比較圖

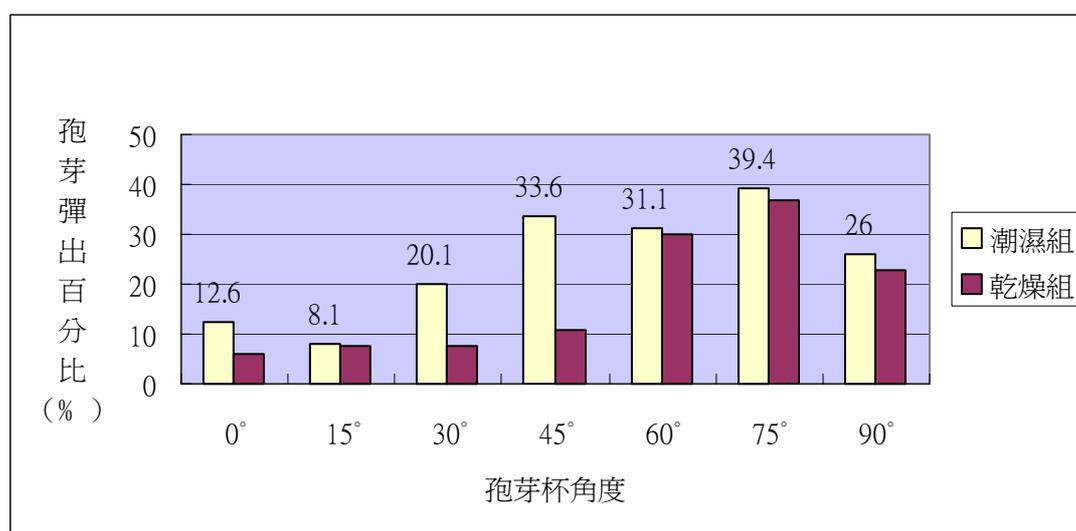


二、在改變溼度的實驗中，根據【表四】及【圖二十】可見生長在較為潮濕的環境下，定量水流使其孢芽彈出的百分比高於乾燥組，如坡度 75°時，潮濕組為 39.4% ，而乾燥組為 36.8% ，其它坡度亦有相同的趨勢。再者，由【表五】、【表六】、【圖二十一】可知，若持續測量同一區塊的孢芽杯密度發現潮濕組的孢芽杯密度增加幅度也比乾燥組大，而且生殖托幾乎沒有增加個數。

【表四】滴入 60  $\mu$ l 時孢芽彈出平均百分比

坡度	潮濕組			乾燥組		
	孢芽彈出數 (個)	孢芽總數 (個)	孢芽彈出百分比 (%)	孢芽彈出數 (個)	孢芽總數 (個)	孢芽彈出百分比 (%)
0°	14	111	12.6	11	176	6.2
15°	24	300	8.1	8	105	7.6
30°	40	190	20.1	13	174	7.8
45°	59	175	33.6	17	149	11.0
60°	64	198	31.1	79	263	30.0
75°	74	188	39.4	53	144	36.8
90°	138	531	26.0	54	236	22.9

【圖二十】濕度對孢芽彈出的影響



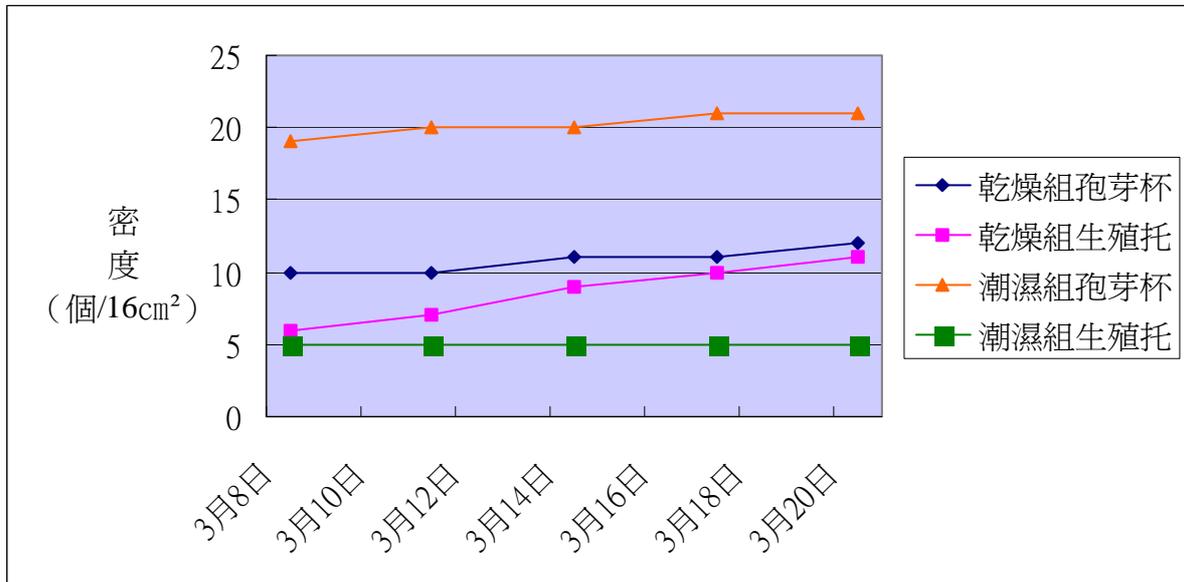
【表五】乾燥組的孢芽杯與生殖托密度比較

日期	3/8	3/11	3/14	3/17	3/20
孢芽杯密度 (個/16 cm <sup>2</sup> )	10	10	11	11	12
生殖托密度 (個/16 cm <sup>2</sup> )	6	7	9	10	11

【表六】潮濕組的孢芽杯與生殖托密度比較

日期	3/8	3/11	3/14	3/17	3/20
孢芽杯密度 (個/16 cm <sup>2</sup> )	19	20	20	21	21
生殖托密度 (個/16 cm <sup>2</sup> )	5	5	5	5	5

【圖二十一】孢芽杯及生殖托單位密度增加率



三、根據【表七】、【圖二十二】，我們發現孢芽杯置於坡度 15°到 75°時，孢芽彈出的百分比將隨著坡度的增加而增大。但若坡度持續增加至 90°，孢芽彈出的比率反而下降至 24.5%，故 75°是最適合孢芽彈出孢芽杯的傾斜角度。另外【表八】、【圖二十三】顯示，15°到 90°的斜度下，使其彈出相同孢芽數的水量，其實差異不大，然而 0°卻需高達 5 滴水的量才有相同效果，暗示水平生長的地錢反而不利孢芽的彈出。

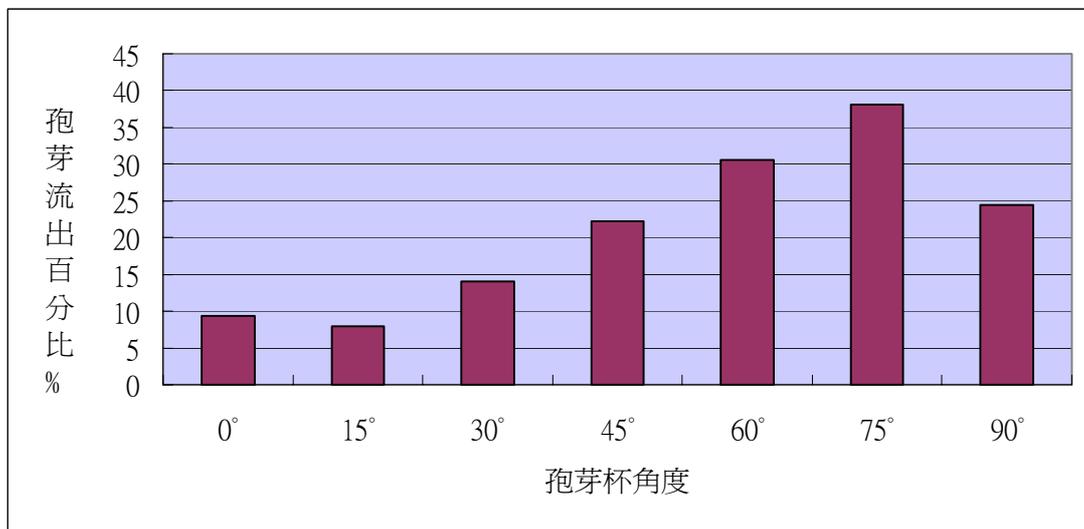
【表七】不同坡度對孢芽彈出的影響

坡度	平均孢芽彈出數 (個)	孢芽總數 (個)	孢芽彈出百分比 (%)
0°	12	170	9.4
15°	19	235	7.9
30°	26	224	14.0
45°	38	162	22.3
60°	69	220	30.6
75°	64	166	38.1
90°	96	384	24.5

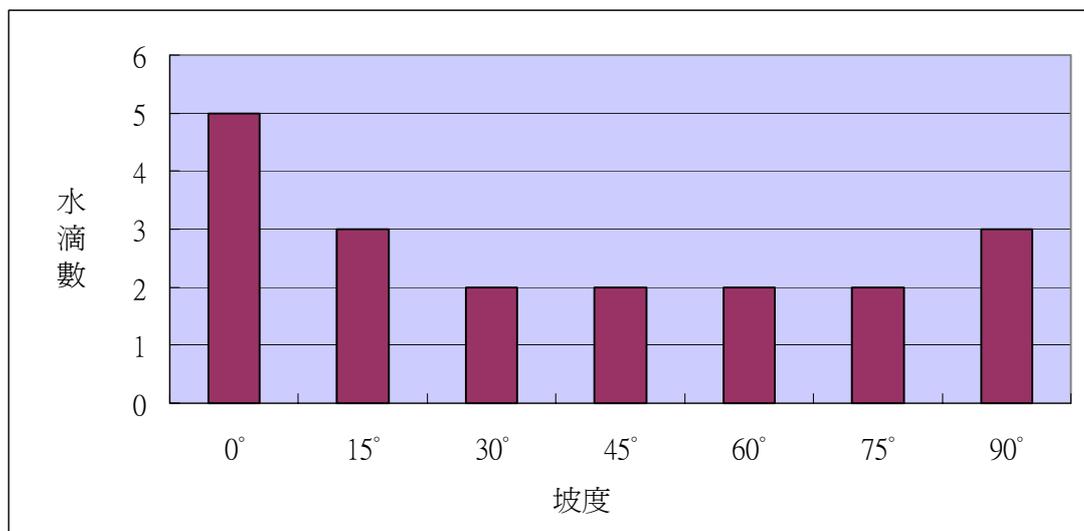
【表八】彈出 10 顆孢芽所需的水滴數

坡度	所需水滴數
0°	5
15°	3
30°	2
45°	2
60°	2
75°	2
90°	3

【圖二十二】不同坡度對孢芽彈出的影響



【圖二十三】不同坡度彈出 10 顆孢芽所需水滴數



四、我們將因水滴入而彈出的孢芽稱為外層孢芽，而水滴入後尚未隨之流出，或是仍附著在孢芽杯內壁的孢芽稱為內層孢芽。根據【表九】可知，外層孢芽的平均大小為  $187.6 \mu\text{m}$ ，而內層孢芽的平均大小為  $102.7 \mu\text{m}$ 。且依【表十】、【表十一】、【圖二十四】、【圖二十五】及【圖二十六】，潮濕組外層孢芽的平均大小為  $195.9 \mu\text{m}$ ，大於內層孢芽的  $100.9 \mu\text{m}$ 。而乾燥組的外層孢芽大小  $180.7 \mu\text{m}$  亦大於內層的  $113.7 \mu\text{m}$ 。故孢芽杯內的孢芽越往內，有越小的趨勢。見【圖二十七】。

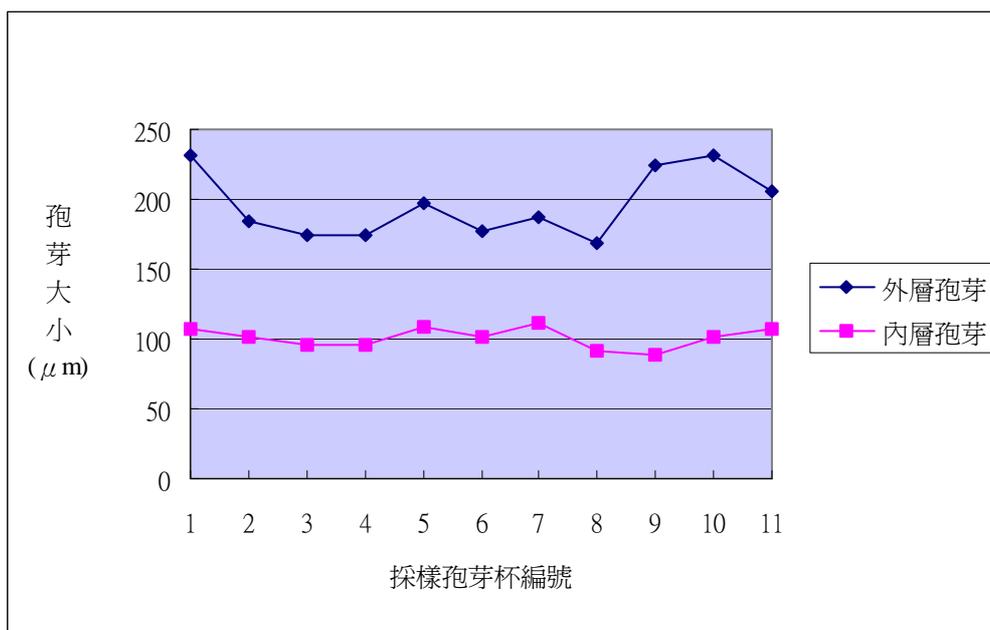
【表九】內外層孢芽大小比較

選取孢芽編號	1	2	3	4	5	6	平均
外層孢芽大小 ( $\mu\text{m}$ )	184.6	197.6	187.2	205.4	176.8	174.2	187.6
內層孢芽大小 ( $\mu\text{m}$ )	106.6	96.2	101.4	91.0	109.2	111.8	102.7

【表十】潮濕組 外層孢芽與內層孢芽大小比較

樣本	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	平均
外層孢芽大小 ( $\mu\text{m}$ )	231.4	184.6	174.2	174.2	197.6	176.8	187.2	168.3	223.6	231.4	205.4	195.9
內層孢芽大小 ( $\mu\text{m}$ )	106.6	101.4	96.2	96.2	109.2	101.4	111.8	91.0	88.4	101.4	106.6	100.9
孢芽杯大小 (mm)	1.3	2.3	2.9	2.4	2.1	2.4	2.8	1.8	2.3	2.2	2.5	2.3

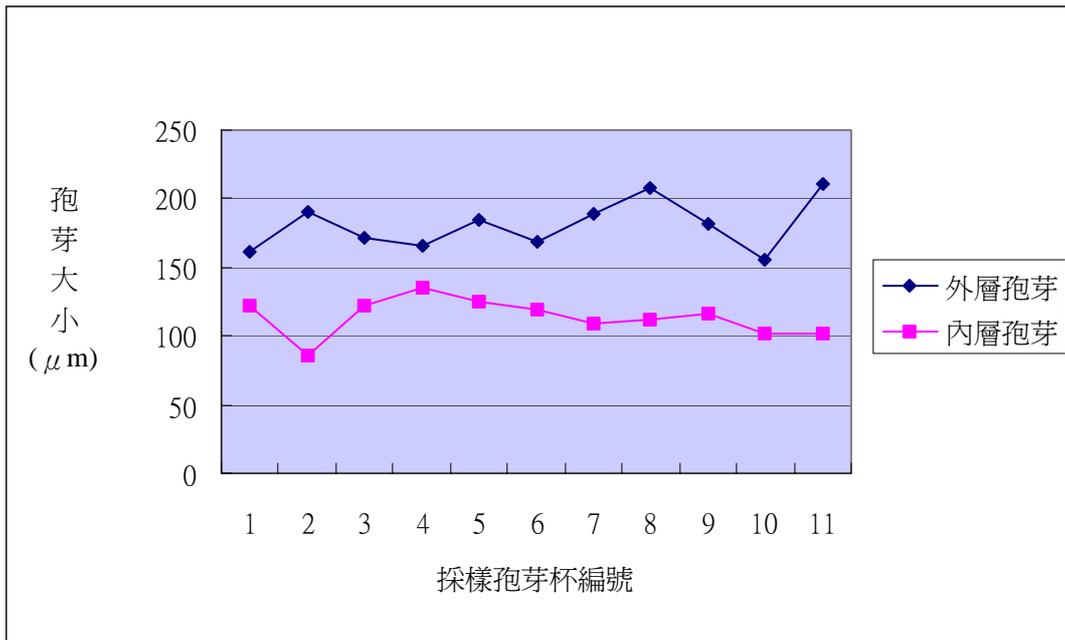
【圖二十四】潮濕組內外層孢芽大小比較



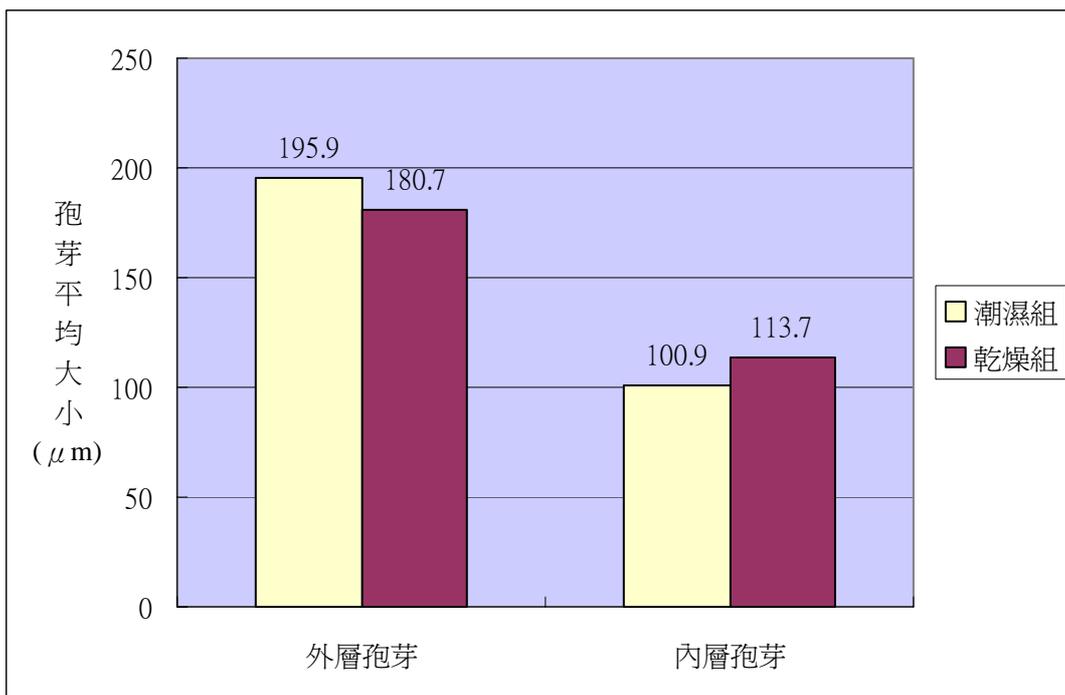
【表十一】乾燥組 外層孢芽與內層孢芽大小比較

樣本	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	平均
外層孢芽大小(μm)	161.2	189.8	171.6	166.4	184.6	169.0	188.8	208.0	182.0	156.0	210.6	180.7
內層孢芽大小(μm)	122.2	85.8	122.2	135.2	124.8	119.6	109.2	111.8	117.0	101.4	101.4	113.7
孢芽杯大小(mm)	2.3	2.4	2.0	1.1	2.3	2.2	2.1	1.4	2.2	2.2	2.0	2.0

【圖二十五】乾燥組內外層孢芽大小比較

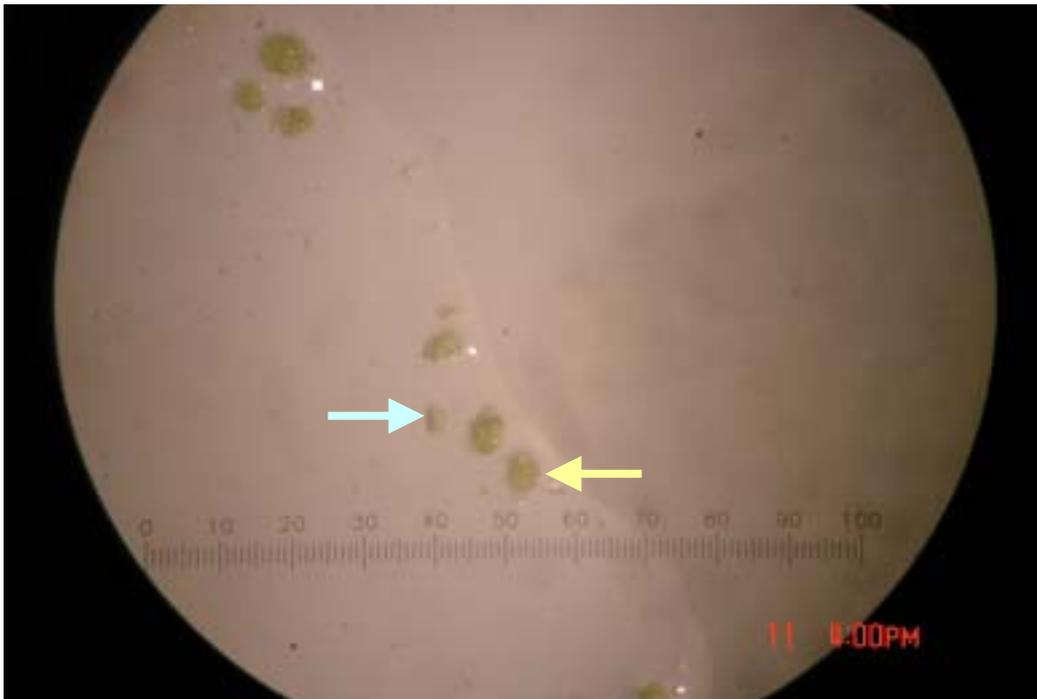


【圖二十六】濕度對內外層孢芽大小的影響



【圖二十七】內外層孢芽大小差異

綠色箭頭所指為內層孢芽，黃色箭頭所指為外層孢芽



- 五、坡度越接近垂直角度之孢芽杯，鉛直落下的水滴較不容易滴入孢芽杯內，但水滴只需滑過充滿孢芽的孢芽杯，便可將孢芽帶出，且一旦水滴進孢芽杯，其孢芽流出數便大幅增加。然而在較平緩的角度下，孢芽彈出數雖比較平均，數量卻相對較少。
- 六、孢芽除了會隨著滴入的水彈出之外，也會隨著溢出的水流出。因此在孢芽杯被水填滿並彈出後，須待水滴再次將孢芽杯填滿，孢芽才會第二次的大幅流出。

## 柒、討論

- 一、在地點一通往馬武督的路上、地點五通往五峰鄉的路上及地點六的北埔大坪國小旁發現了全長滿明顯生殖托的不同種地錢，且完全沒有孢芽杯。地點二馬武督則有些新生的植株也開始長出生殖托，而非孢芽杯。第二次勘查時，地點三的地錢有大面積死亡和孢芽杯密度下降的現象。查詢氣象資料後得知，這些地點先前是處於較乾燥的環境，尤其是全長滿生殖托的地點，濕度較其他地點更低。因此，我們推測地錢在較為乾燥的環境之下，會採用生殖托進行有性生殖來繁衍後代，而在較利於蘚類生長的潮濕環境，則以孢芽的無性生殖為主。
- 二、不同溼度的實驗結果指出，生長在潮濕環境下的孢芽杯，其孢芽彈出百分比高於乾燥組的孢芽彈出百分比，且潮濕組外層孢芽的大小也大於乾燥組，因此潮濕的環境較利於蘚類行孢芽生殖。在長期觀察潮濕組與乾燥組的孢芽杯密度後，我們也證實蘚類植物在潮濕環境下孢芽杯密度較高，而且並不生長生殖托。此現象和野外觀察的結果相符。

- 三、在改變坡度的實驗中，孢芽彈出的百分比隨著坡度的增加而增大。其中坡度 75°的彈出比率最佳。我們推測可能是越接近垂直角度的孢芽杯，水滴只需滑過孢芽杯，便可利用傾斜坡度的影響將孢芽帶出。然而在較平緩的角度下，水滴則需完全填滿孢芽杯，方能流出。另外，當彈出相同孢芽數時，以坡度 0°所需的水量最多，15°及 90°次之。綜合以上結果，證實了野外勘查時，地錢生長在 65°至 80°之間的坡度上，是最適合行孢芽生殖的環境。
- 四、在經過多次測量及平均後，發現孢芽越往內部，有越小的趨勢。因此我們猜測，孢芽生長點可能位於孢芽杯底部，所以外層孢芽才會比內層孢芽大，成熟度也較高。

## 捌、結論

- 一、地錢在乾燥的環境，會利用生殖托行有性生殖以繁殖後代，而在較潮濕的環境下則以孢芽生殖為主。
- 二、地錢在潮濕環境下孢芽杯密度較高，而且不生長生殖托。
- 三、坡度 15°到 75°之間，孢芽彈出孢芽杯的容易度隨著坡度的增加而增大。其中 75°的孢芽最易彈出。因此證實野外的地錢生長在 65°至 80°之間的崖壁上，是最適合其行孢芽生殖的環境。
- 四、孢芽越往內，有越小的趨勢。

## 玖、未來展望

- 一、探討內層孢芽及外層孢芽的生長情形
- 二、研究孢芽生長點的機制
- 三、乾燥組及潮濕組的孢芽長成新個體的情形
- 四、深入研究其他變因對蘚類及其生殖的影響

## 拾、參考資料及其他

### 一、書籍：

1. 周雪美、郭麗香、溫永福、鄭湧涇，生物學實驗，藝軒圖書，民 94
2. 林善雄，苔蘚植物簡介，台灣省立博物館，民 77
3. 徐明光，顯微鏡下的植物世界，台灣省立博物館，民 82
4. 郭長生，談蘚苔與蕨類，國立教育資訊館，民 68

### 二、網頁：

1. 台灣蘚類植物彩色圖鑑 <http://subject.forest.gov.tw/species/mosses/liverworts/index.htm>
2. <http://www.kaimaibush.co.nz/Bryophyta/Liverworts/Marchantia.html>
3. <http://www.botany.ubc.ca/bryophyte/liverwortintro.html>

【評語】 040701 彈出吧！孢芽－蘚類孢芽生殖之探討

本研究探討蘚類二種「生殖模式」包括孢芽與生殖極在不同溫濕度環境下之策略。同時探討孢芽彈遠之可能機制。本研究立論正確，亦得到一些初步結論，但文獻研採及實驗技巧可進一步加強。本團隊同時推薦為「儲備」代表。