

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生物（生命科學）科

040705

苔痕遇水綠-牙緣毛口苔與乾旱

學校名稱：國立宜蘭高級中學

作者： 高二 李賦萱 高二 游文寧 高二 黃稚凱 高二 林志軒	指導老師： 馮淑卿
---	--------------

關鍵詞：牙緣毛口苔、乾旱、生理作用

摘要

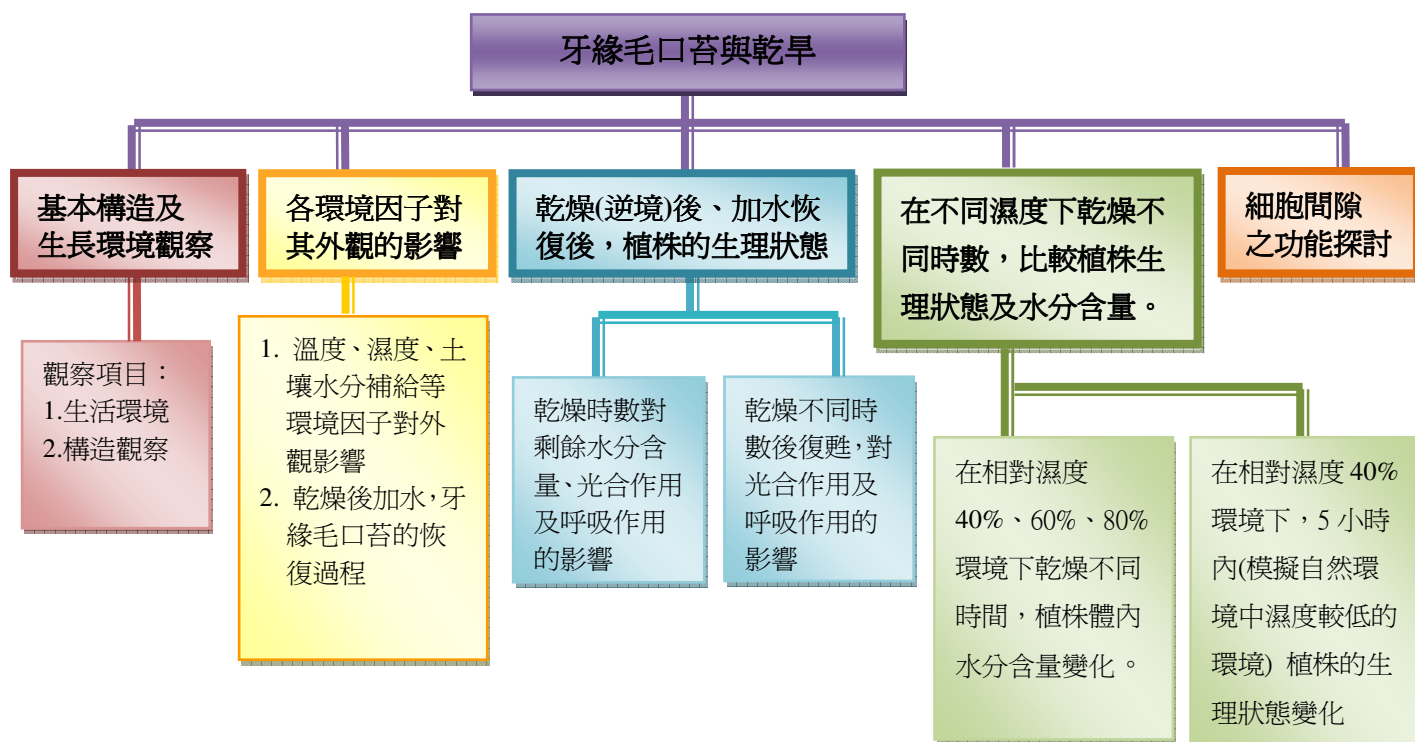
我們首先對乏人了解的牙緣毛口苔(*Trichostomum recurvifolium*)做基礎的生長環境、生理構造觀察及其各器官的吸水情形，接著探討不同環境因子對其外觀的影響。另外，在生理層面上探討：乾燥時數、乾燥快慢對 1. 植株散失水分的來源 2. 體內剩餘水分含量 3. 光合作用 4. 呼吸作用的影響，據此我們發現 *Trichostomum recurvifolium* 的水分散失過程可以分成三個階段，各階段植株均有不同的因應機制；並了解 *Trichostomum recurvifolium* 的生存極限及其構造(如細胞間隙)在水分散失或保留上所扮演的角色。由探討加水恢復後的 *Trichostomum recurvifolium*，其生理狀態與乾燥時數的關係，可以了解乾燥不同時間的植株，其受損的情形不同，其恢復的方式與速率也不盡相同。而利用以上數據詳加比較、整合，我們可以建構 *Trichostomum recurvifolium* 處於不同環境下，其可能的生理情形。

壹、 研究動機

生物課本對蘚苔植物的描述總是：「生長在陰暗潮濕處」。但是，在常受陽光曝曬的石縫處，我們也觀察到牙緣毛口苔(*Trichostomum recurvifolium*，後以俗名稱之)的存在。陽光下的牙緣毛口苔，其假葉會皺縮、閉合，甚至變成深褐色；但只要一有水澆灌，牙緣毛口苔在不久之後就會變回翠綠新鮮。這引起了我們的興趣，但在查詢書籍及國內博碩士論文網等資料之後，發現國內幾乎沒有關於苔類的研究，國外的研究也不多；因此，我們開始探討影響牙緣毛口苔生長的因子、在乾燥環境下，牙緣毛口苔的水分保持機制及其生理狀態、與乾燥後加水復甦的植株的生理變化等，來驗證生物課本上對蘚苔植物的描述是否有可議之處。

貳、 研究目的

- 一、 牙緣毛口苔的基本認識
 - (一)牙緣毛口苔生長環境之觀察
 - (二)牙緣毛口苔構造之觀察
 - (三)牙緣毛口苔各器官的吸水情形
- 二、 觀察牙緣毛口苔在不同環境下，其外觀的變化
 - (一)探討溫度、溼度、土壤水分補給等環境因子對牙緣毛口苔外觀的影響
 - (二)觀察牙緣毛口苔在乾燥後，加水恢復過程的外觀變化
- 三、 探討在相對溼度 60%的環境下乾燥，牙緣毛口苔的生理狀態
 - (一) 乾燥時數對牙緣毛口苔的剩餘水分含量、呼吸作用及光合作用的影響
 - (二) 乾燥不同時數後復甦，對牙緣毛口苔的呼吸作用、光合作用的影響
- 四、 牙緣毛口苔在相對濕度 40%、60%、80%的環境下乾燥不同時數，比較植株的生理狀態及體內剩餘水分含量
 - (一) 牙緣毛口苔在相對濕度 40%、60%、80%的環境下，植株體內剩餘水分含量隨離土乾燥時間的變化
 - (二) 探討牙緣毛口苔在相對濕度 40%環境下，5 小時內(模擬自然環境中濕度較低的環境)植株的生理狀態變化
- 五、 牙緣毛口苔的細胞間隙之功能探討
 - (一)乾燥不同時數的牙緣毛口苔，加水恢復後，吸水量的差異



參、 研究設備及器材

一、 研究材料

(一)主要植物：牙緣毛口苔 *Trichostomum recurvifolium*

二、 儀器及設備

(二)分光光度計：

1. 原理：溶液會吸收本身顏色的互補色光，並讓本身的顏色通透；蒸餾水讓各色光通透，呈透明，用來校正儀器。
2. 應用：我們藉由 CO₂ 溶於水形成碳酸，使溴瑞香草藍酸鹼指示劑(BTB)由藍變黃；因此以分光光度計檢測黃光(560nm)通透率得知 CO₂ 的相對含量。

鑷子	篩網	濾紙	滴管	試管	暗箱	玻片	碼錶	尺	電腦
相機		培養皿		溼度計		沙拉油		量角器	
植物燈		小畫家		解剖刀		除濕機		恆溫培養箱	
防潮箱		複式顯微鏡		自製網袋		吸量管		解剖顯微鏡	

三、 藥品

(一)蒸餾水

(二)無水硫酸銅晶體

(三)溴瑞香草藍(BTB)

溴瑞香草藍為常用的酸鹼指示劑。pH 值 6.2 以下(酸性)呈現黃色；pH 值 6.2~7.6 呈現中間色；pH 值 7.6 以上(鹼性)呈現藍色。我們利用 CO₂ 溶於水形成碳酸，碳酸解離使水中氫離子濃度增加，造成溴瑞香草藍試劑的顏色變化，可以得知 CO₂ 相對含量。
溶液配置：將 10ml 的溴瑞香草藍(0.04%重量百分濃度)加蒸餾水至 1000ml 的溶液

肆、 研究過程或方法

一、 牙緣毛口苔的基本認識

(一)牙緣毛口苔生長環境之觀察

- 1.在校園的牆腳、石縫、草地等處尋找，觀察、紀錄生長環境並照相。
- 2.計算群體植株生長密度：取面積 1 公分×1 公分的群體計算所含植株數。
- 3.取一克樣本計算所含植株數，重複計算 10 組樣本。

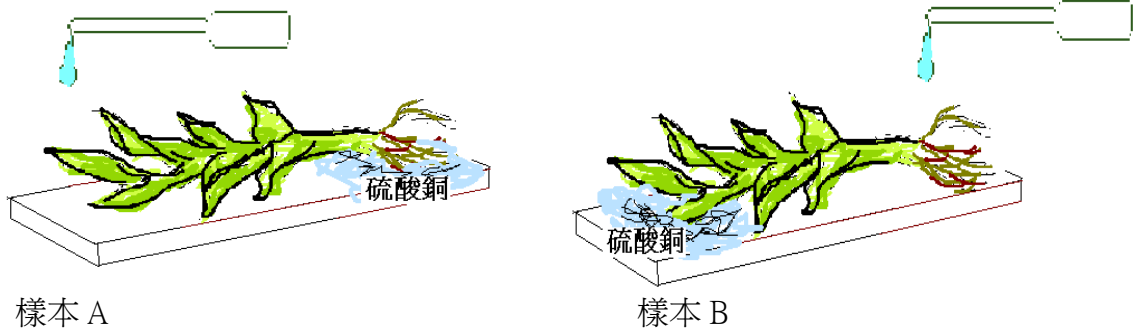
(二)牙緣毛口苔構造之觀察

- 1.外部型態觀察：植株高度(取 100 株平均)、假葉排列情形、計算假葉數量等。
- 2.以顯微鏡觀察其構造並照相。

(三)牙緣毛口苔的各器官吸水情形

- 1.比較牙緣毛口苔的假根、假葉所吸收的水分供給他處的速率。
 - (1)取兩株樣本(A、B)，分別在假根(A)及假葉(B)周圍放置硫酸銅晶體。
 - (2)分別滴加蒸餾水於假葉(A)與假莖(B)。

示意圖：



- (3) 在顯微鏡下觀察，以碼錶計時，量測樣本中放置硫酸銅晶體一端變色的時間。

註： $\text{CuSO}_4(\text{白色}) + 5 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}(\text{深藍色})$ ，故以無水硫酸銅檢驗水的存在。

- 2.觀察加水後的牙緣毛口苔，假莖邊緣出現突出區域。

分別以顯微鏡、相機，觀察、錄影。

二、 觀察牙緣毛口苔在不同環境下，其外觀的變化

(一)探討溫度、濕度、土壤水分補給等環境因子對牙緣毛口苔外觀的影響

- 1.取樣本，將之固定於載玻片上，分別置入操縱變因之環境。
- 2.於 40 分鐘內，從 0 分鐘起，5 分鐘拍一張照片，共 9 張照片。
- 3.用小畫家直線功能標示出照片中的葉片角度，量測並紀錄。

註 1：有土壤水分補給：取一團帶土牙緣毛口苔，剪去多餘植株(避免植株重疊影響觀察)，留下 5 株牙緣毛口苔，黏於載玻片上。

註 2：無水分補給(沒土)：以鑷子取 5 株牙緣毛口苔，分別黏於載玻片上。

(二)觀察牙緣毛口苔在乾燥後，加水恢復過程的外觀變化

- 1.乾燥樣本在加水復甦過程中的外觀變化，以顯微鏡、相機，觀察並錄影。



三、 探討在相對濕度 60%的環境下乾燥，牙緣毛口苔的生理狀態

(一)乾燥時數對牙緣毛口苔的剩餘水分含量、呼吸作用、光合作用的影響

1.製作牙緣毛口苔樣本，每組 0.5g。

樣本製作流程：用鑷子拔起足量牙緣毛口苔，浸入水中利用篩網清洗，洗去附著土壤，再將其一株株放在濾紙上，吸乾附著在表面的水分。



2.將樣本放入 25°C、相對濕度 60%的防潮箱裡乾燥不同小時數。

3.取出 2 組樣本。

4.秤得乾燥後牙緣毛口苔的重量。-----(1)

5.將此 2 組牙緣毛口苔分別放入網袋中。

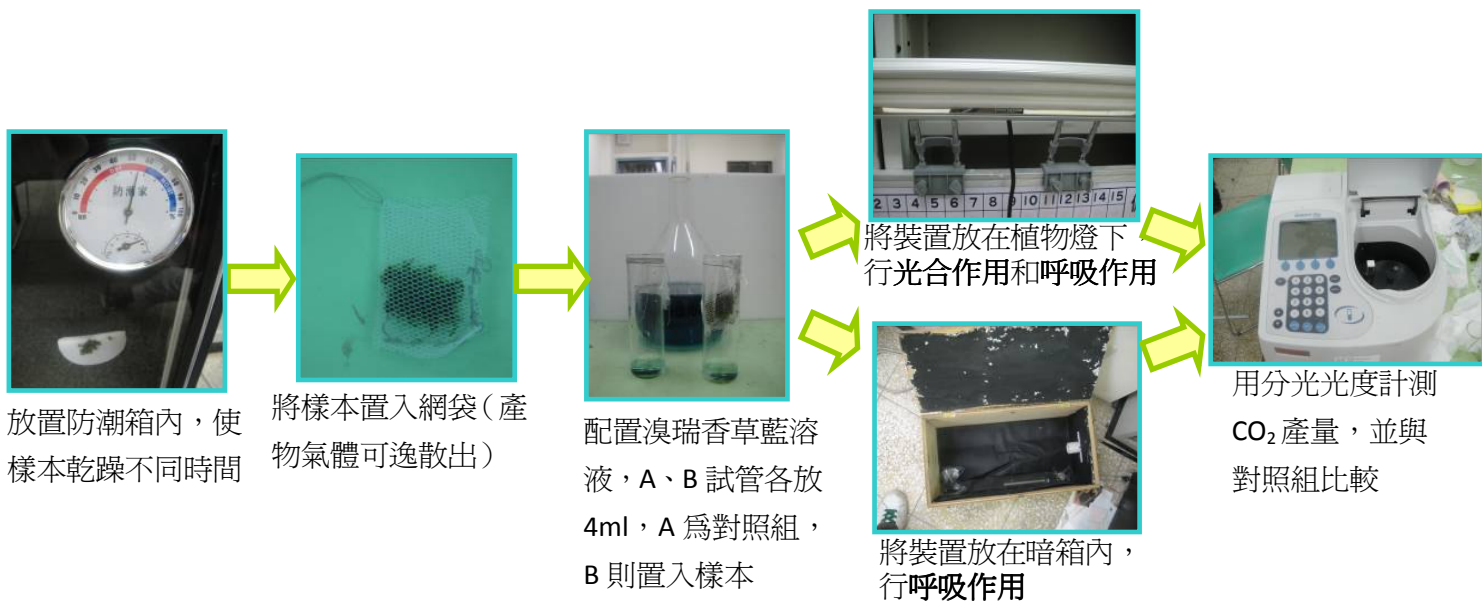
6.準備四試管，分別成入 4 毫升溴瑞香草藍，再將兩網袋分別懸空，置入其中二試管試管中，另二為對照組，並以保鮮膜密封之。

註：4 毫升試液可以做兩次透光率的量測(每次量測，石英試管約裝入 2 毫升試液)，而 CO₂ 所造成的變色程度可以鑑別，因此選擇量取 4 毫升溴瑞香草藍。

7.兩組實驗裝置：

一組在光照下行光合作用及呼吸作用，一組在暗箱中行呼吸作用，持續 20 分鐘。

8.20 分鐘後取出試管，將已溶入 CO₂ 的 BTB 以乾淨滴管置入石英試管，並以分光光度計測量其黃光(560nm)通透率。-----(2)



(二) 乾燥不同時數後復甦，對牙緣毛口苔的剩餘水分含量、呼吸作用、光合作用的影響。

接續上述步驟：

1.將內含牙緣毛口苔的網袋均浸入水中 30 秒，取出，使植株表面覆有水分。

2.重覆(一)步驟 5.6.7.8------(3)

數據整理：

由(1)可得：離土時數對牙緣毛口苔剩餘水分含量的影響

由(2)可得：離土時數對牙緣毛口苔的光合作用、呼吸作用的影響

由(3)可得：加水復甦時數對牙緣毛口苔的光合作用、呼吸作用的影響

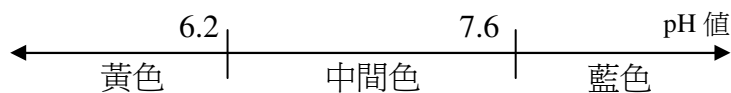
以上步驟重覆共 25 次，乾燥 0、1、2、3、……、24 小時。

註：簡述量測氧氣、二氧化碳的方式

礙於學校的實驗器材只能測定空氣中二氧化碳含量、水中溶氧量，而氧氣又不容易溶於水，因此數值上難以作類推、比較，因此我們設計了一個以化學方法來檢測植株光合作用及呼吸作用的氧氣及二氧化碳產量的方式。

1.二氧化碳產量檢測：

(1)溴瑞香草藍為測定弱酸、弱鹼的指示劑。其變色範圍為：



(2)利用：CO₂ 溶於水形成碳酸，碳酸解離使水中氫離子濃度增加，使 pH 值下降，造成溴瑞香草藍試劑的顏色變化。

(溶液配製：將 10ml 的溴瑞香草藍加蒸餾水至 1000ml 的溶液)

(3)利用：溶液會吸收本身顏色的互補色光，並讓本身的顏色通透；純水讓各色光通透，呈透明。因此以分光光度計測得試液的黃光(560nm)通透率，可以得知試液的黃色深淺，進而可以得知 CO₂ 相對含量。

2.氧氣產量檢測：

(1)根據背景知識：

光合作用會消耗 CO₂(消耗的 CO₂ 量=產生的 O₂ 量)，呼吸作用則會產生 CO₂。

植物在光照下會行光合作用及呼吸作用；在暗室中則只行呼吸作用。

(2)利用：密閉環境內，植株行光合作用，使溶於試液中的 CO₂ 減少，與只行呼吸作用之樣本比較，pH 值較不易下降，造成其 BTB 的黃光通透率較低。

(3)數據處理：**氧氣產量 = 光照下(呼吸作用+光合作用) - 暗箱中(呼吸作用)**

註 1：呼吸作用(-m O₂+m CO₂) + 光合作用(-n CO₂+ n O₂)

但 O₂ 不影響酸鹼值，不造成 BTB 顏色變化。

註 2：根據植物生理學(William. Hopkins 著)，前人實驗曾認為真正的光合作用速率就相當於可測得的速率(測量 CO₂ 的吸收量)加上呼吸作用黑暗中的速率(CO₂ 釋放量)

於「陸、討論」中將更詳細的說明。

四、牙緣毛口苔在相對濕度 40%、60%、80%的環境下乾燥不同時數，比較植株的生理狀態及體內剩餘水分含量。

(一)牙緣毛口苔在相對濕度 40%、60%、80%的環境下，植株體內剩餘水分含量隨離土時間的變化。

- 1.製作牙緣毛口苔樣本，每組 0.5g，秤重之。
- 2.將樣本放入 25°C、相對濕度 40%、60%、80%的防潮箱裡乾燥。
- 3.每隔 1 小時讀取電子秤上的數值(乾燥後牙緣毛口苔的重量)，持續 24 小時。

(二)探討牙緣毛口苔在相對濕度 40%環境下，5 小時內(模擬自然環境中日濕度較低的環境)植株的生理狀態變化

- 1.製作牙緣毛口苔樣本，每組 0.5g，秤重之。
- 2.將樣本放入 25°C、相對濕度 40%的防潮箱裡乾燥。
- 3.乾燥 20、40、60、80、100、120 分鐘、3 小時、4 小時、5 小時後分別取出 2 組樣本，共 18 組。
- 4.將此 2 組牙緣毛口苔分別放入網袋中，再將兩網袋分別懸空，置入盛有 4 毫升溴瑞香草藍試液的試管中，並密封之。
- 5.分別使兩組樣本：
一組在光照下行光合作用及呼吸作用，一組在暗箱中行呼吸作用，持續 20 分鐘。
- 6.20 分鐘後取出試管，將混合液放入石英試管，並以分光光度計測量其黃光(560nm)通透率。
- 7.將內含牙緣毛口苔的網袋均浸入水中 30 秒，取出，使植株表面覆有水分。
- 8.重複步驟 4.5.6.。

五、牙緣毛口苔的細胞間隙之功能探討

(一)乾燥不同時數的牙緣毛口苔，加水恢復後，吸水量的差異

- 1.製作樣本，浸泡於蒸餾水內一小時，確保其細胞及細胞間隙內都充滿水分。
- 2.將牙緣毛口苔由蒸餾水中取出，靜置於濕潤濾紙上，吸附表面多餘水分。
- 3.測量樣本重量，置入相對濕度 40%的防潮箱中。
- 4.乾燥時間(操縱變因)結束，取出樣本
- 5.分別加入水中浸泡一小時取出後，以步驟 2.處理，秤量重量並紀錄。
- 6.重複上述步驟 9 次(乾燥時間 10、20、30、……、90 分鐘)。

伍、 研究結果

一、 探討牙緣毛口苔的基本構造及生長環境

(一)牙緣毛口苔生活環境觀察

1.生活環境：

- (1)群體生長， 19.5 株/ 1cm^2 、 580 株/ 1g 。
- (2)需土量不多。牙緣毛口苔生長於石縫間、立面牆腳的有土處，也有生長在水泥路面與草地的交界過度帶，亦有與地錢雜生者。
- (3)若土層較厚，牙緣毛口苔一株株排列生長得較為鬆散，較容易拔起；長得也較土層淺薄處者高大。



照片 1.在淺薄土層處(如石縫間)，常可觀察到牙緣毛口苔

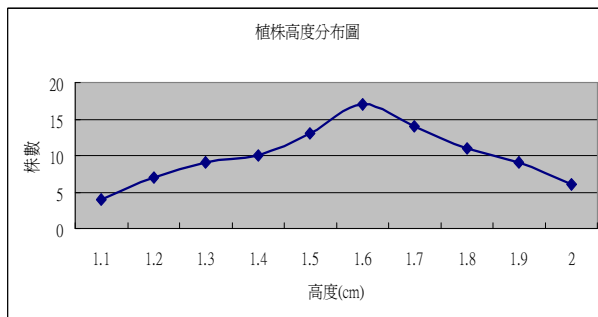


照片 2.牙緣毛口苔常與地錢生長在同一處

(二)牙緣毛口苔構造觀察

1.外部型態觀察：

(1)牙緣毛口苔植株的高度分布圖與構造區分：



圖表 1.牙緣毛口苔的植株平均長度約 1.6cm



照片 4.圖中標示牙緣毛口苔的假葉、假莖、假根，可以觀察到假葉的排列情形及假葉的數量

2.以顯微鏡觀察其構造並照相

(1)顯微鏡下的假根：



照片 5.解剖顯微鏡視野下

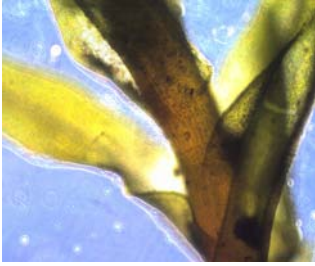


照片 6.假根是中空圓柱管狀

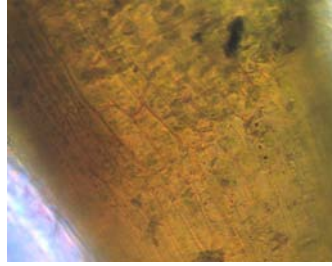


照片 7.牙緣毛口苔的假根附著物

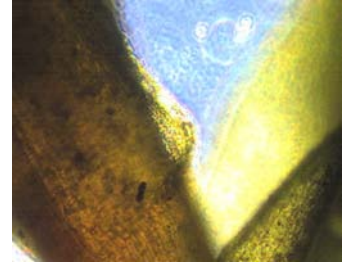
(2)顯微鏡下的假莖：



照片 8.複式顯微鏡下

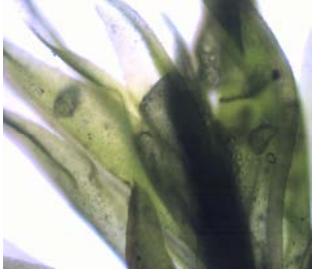


照片 9.假莖的細胞為長條狀

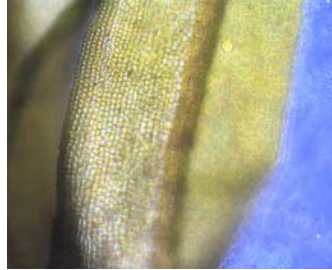


照片 10.觀察加水後的牙緣毛口苔，假莖邊緣出現凸出區域

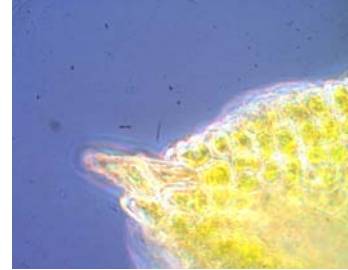
(3)顯微鏡下的假葉：



照片 11.
牙緣毛口苔叢生的假葉



照片 12.牙緣毛口苔假葉上的細胞排列整齊；假葉中央有中肋



照片 13.牙緣毛口苔的假葉尖端

(三)牙緣毛口苔各器官的吸水情形

1.比較牙緣毛口苔的假根、假葉所吸收的水分供給他處的速率

(1)水份由假根到假葉，約 1 小時 44 分鐘

(2)水份由假葉到假根，約 1 小時 17 分鐘

以此實驗結果，推測植株近假葉處有較佳的吸水速率。牙緣毛口苔通常群聚生長，假葉茂密，與假根比較，可吸收較多水分，有其生存的意義；而近假葉處則漸轉為褐色，韌性較佳，有支持植株的作用。

2.觀察加水後的牙緣毛口苔，假莖邊緣出現突出區域



照片 14.

(1)從加入水後到突出變化完全，約費時三十分鐘。

(2)水分進入植株的管道，除了假根和假葉外，圖中的突起，是另一個可能。

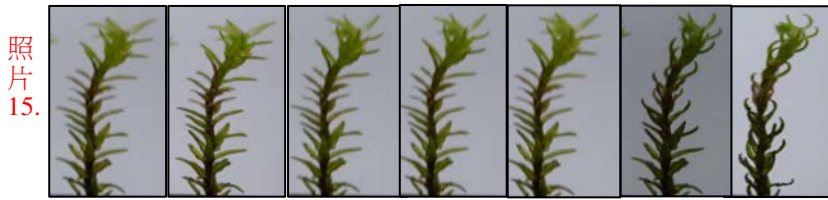
(3)將突出完成的樣本繼續放置，約四十分鐘後突出會漸漸消失。

二、觀察牙緣毛口苔在不同環境因子影響下，其外觀的變化

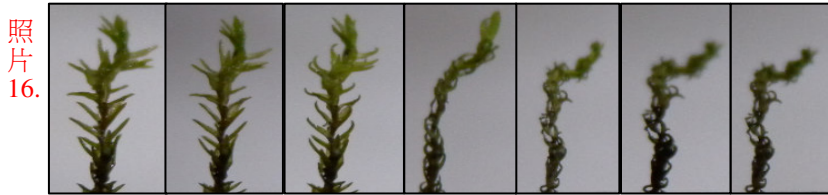
(一)探討溫度、濕度、土壤水分補給等環境因子對牙緣毛口苔外觀的影響

1.溫度對牙緣毛口苔外觀的影響

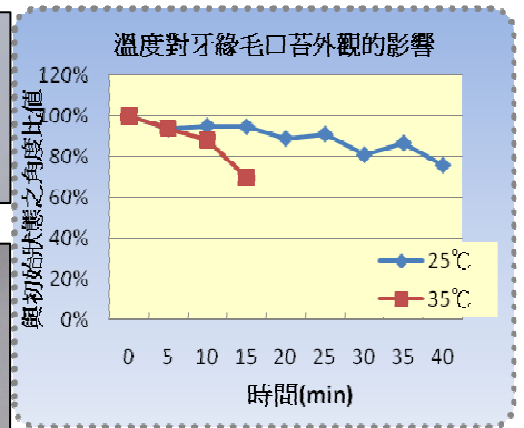
(1)溫度 25°C



(2)溫度 35°C



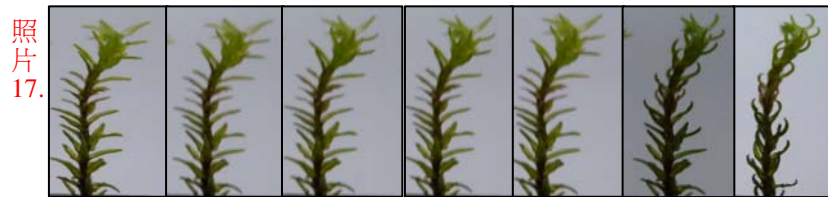
圖表 2.



觀察：在沒有水分補給的環境下，兩個樣本的假葉都快速皺縮，但蒸散作用在高溫下仍比低溫快些。

2.濕度對牙緣毛口苔外觀的影響

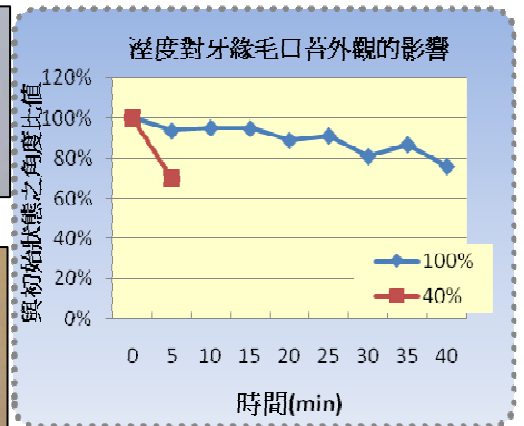
(1)相對濕度 100%



(2)相對濕度 40%



圖表 3.



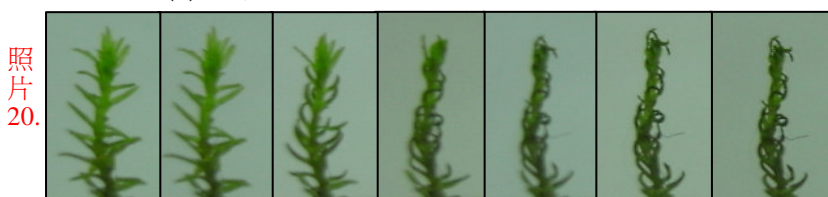
觀察：在無水分補給的環境下，濕度影響植株的蒸散作用甚鉅，低濕度環境導致蒸散作用旺盛。

3.土壤水分補給對牙緣毛口苔外觀的影響

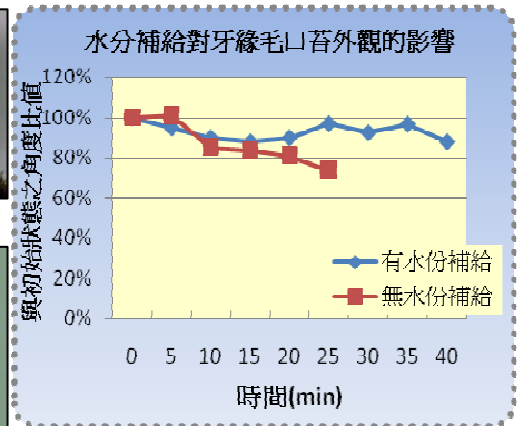
(1)有水分補給



(2)無水分補給



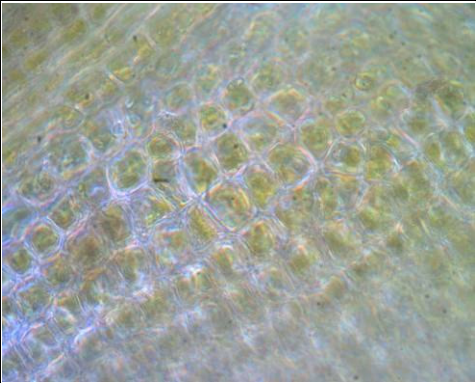
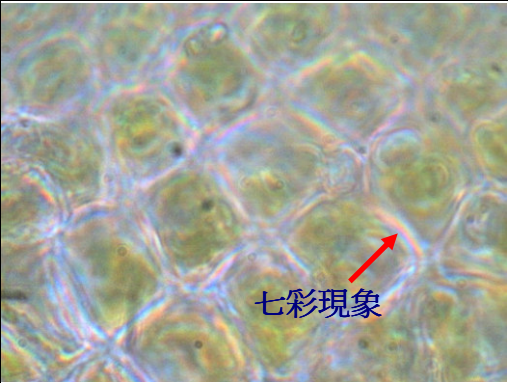
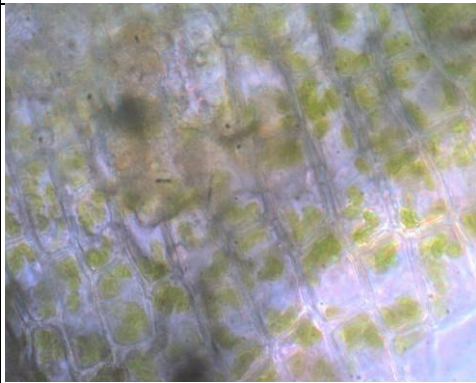
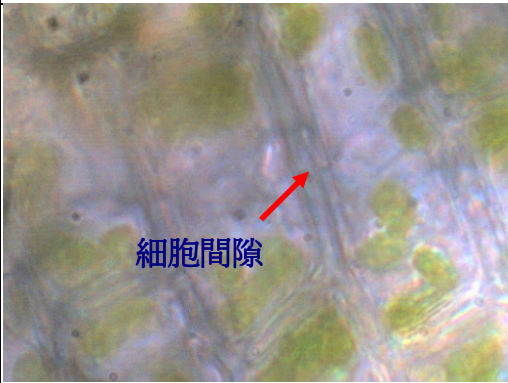

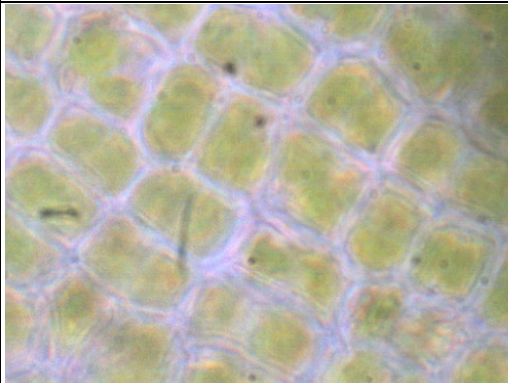
圖表 4.



觀察：沒有水分補給的植株，約二十多分鐘後，即可從外觀上明顯得觀察到假葉葉片捲曲、假葉與假莖的夾角變小。

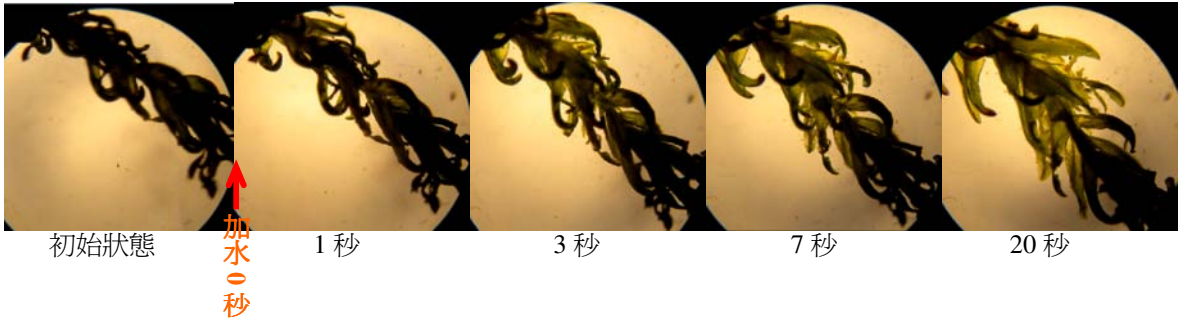
(二)觀察牙緣毛口苔在乾燥後，加水恢復過程的外觀變化

1.高倍複式顯微鏡下，攝影

	以複式顯微鏡放大 1000 倍	擷取左圖中的部份影像
新鮮樣本		 七彩現象
	照片 21.剛摘下的新鮮樣本，細胞排列較不規則。	照片 22.細胞間隙中含有水份；細胞質顏色較雜，可能是胞器較為明顯。
乾燥樣本		 細胞間隙
	照片 23.乾燥後的樣本，因水分散失，細胞壁不受膨壓影響，細胞不互相擠壓，排列較整齊。	照片 24. 細胞壁的間隙明顯且較凹陷，我們認為沒有水份存在，細胞內原生質濃縮，發生質離現象。
加水復甦樣本		
	照片 25.因為加水時是以滴管將水均勻加在葉表，因此乾燥後加水復甦的樣本，細胞大致排列整齊。但因蒸餾水的濃度低於細胞生理濃度，細胞膨脹，相較乾燥樣本，排列仍較不整齊。	照片 26.細胞內與細胞間隙充滿水份，細胞質吸水後展開，胞器呈均勻分布。

註：細胞間隙含水份時，因光線折射，在顯微鏡下呈七彩，可由此判斷細胞間隙是否含水分。

2.複式顯微鏡下，乾燥樣本加水，假葉張開情形影片之截圖

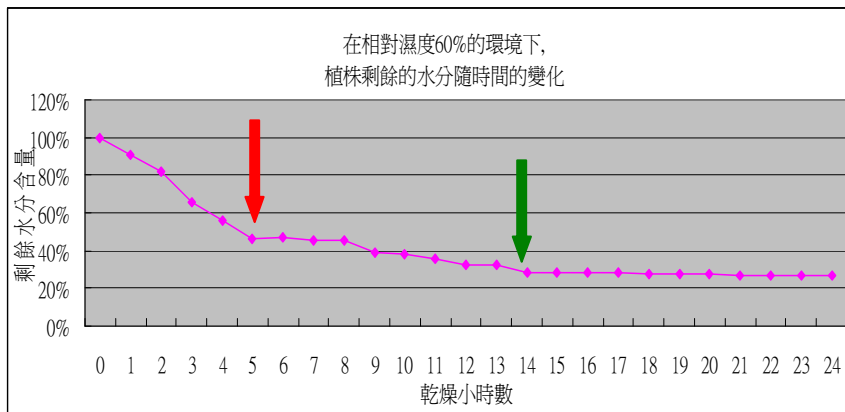


照片 27.

三、 探討在相對溼度 60%的環境下乾燥，牙緣毛口苔的生理狀態。

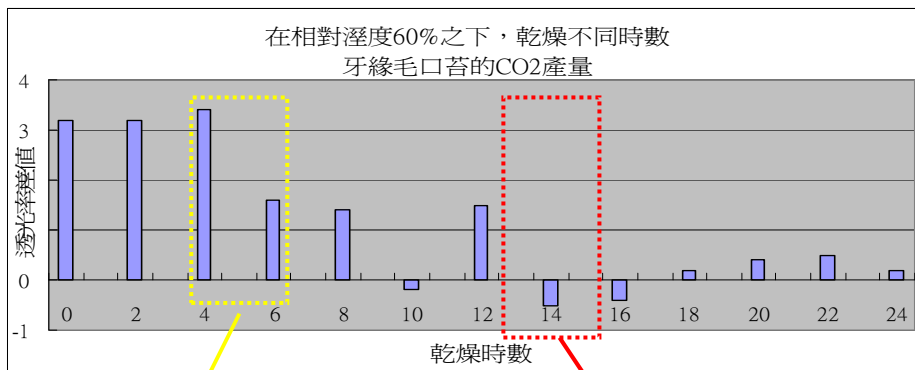
(一)乾燥時數對牙緣毛口苔的剩餘水分含量、呼吸作用及光合作用的影響

1.剩餘水分含量

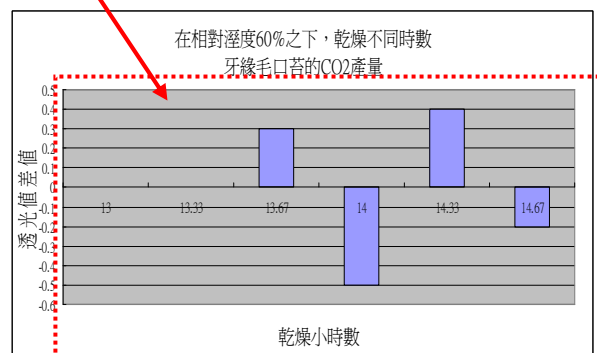
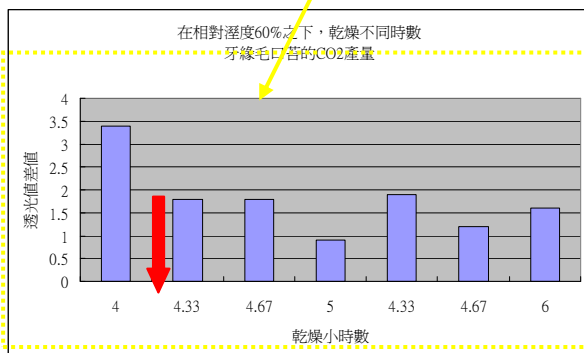


圖表 5.曲線中可見兩個明顯的轉折點，此現象與植株的生理狀態的改變有關，在「陸、討論」中分析。在以下實驗結果中，也會針對兩個轉折點做分析。

2.呼吸作用

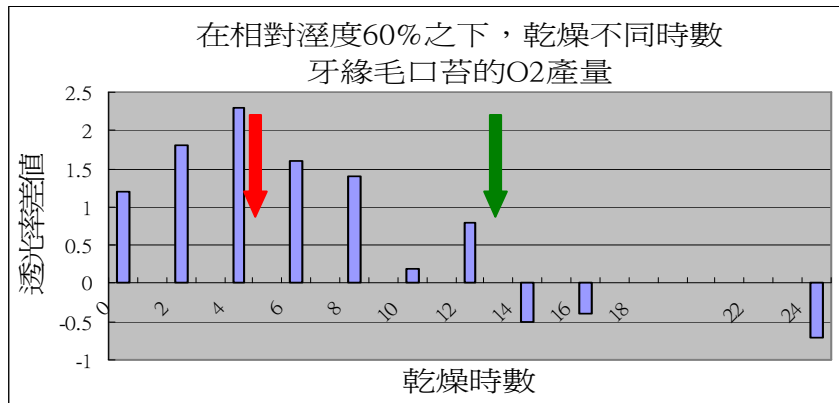


圖表 6.



由上方圖中，可以發現隨著乾燥時數的增加，牙緣毛口苔的呼吸作用速率愈來愈低；其中在乾燥 4 小時後、約 13 小時後，呼吸作用急遽降低。這些現象與植株水分含量有關，在「陸、討論」中分析。 註：與其它實驗結果分析後，我們判斷 10 小時的數據應是誤差造成。

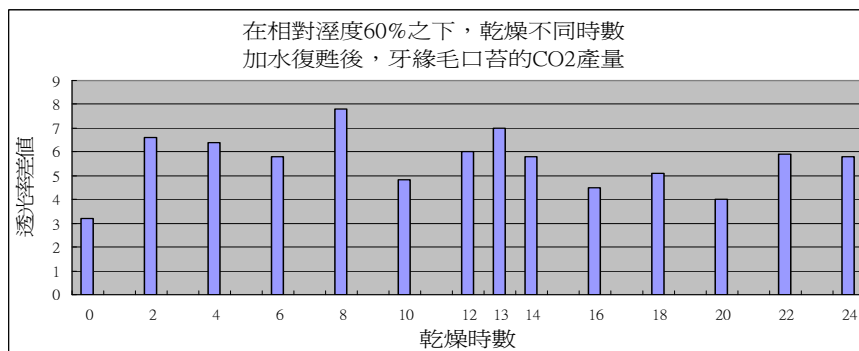
3.光合作用



圖表 7.由上方圖中，可以發現隨著乾燥時數的增加，牙緣毛口苔的光合作用速率會先緩緩上升，在乾燥 4 小時後，光合作用會開始緩緩降低。我們認為這些現象與植株水分含量等有關，將在「陸、討論」中分析。此外，14、16、24 小時的負值，我們認為是為光合作用為零，負值是呼吸作用 CO₂ 的產生量。註：與其它實驗結果分析後，我們判斷 10 小時的數據應是誤差造成。

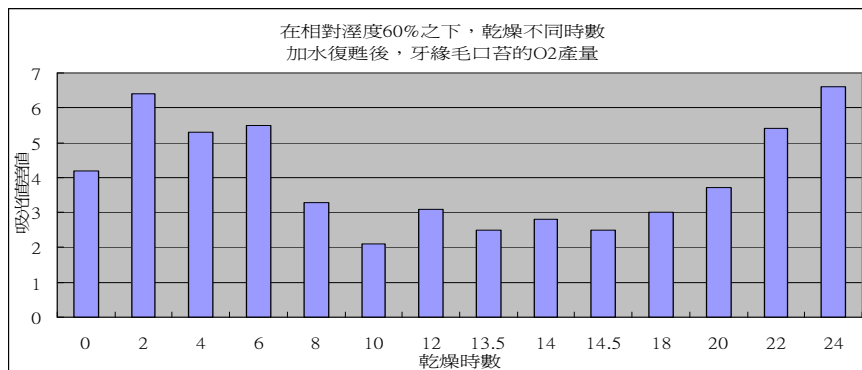
(二)乾燥不同時數後復甦，對牙緣毛口苔的呼吸作用及光合作用的影響。

1.呼吸作用



圖表 8.由上方圖中，可以發現雖然乾燥時數增加，但加水復甦後，其數值都在 0 小時(未乾燥)以上，此回復情形將在「陸、討論」中分析。

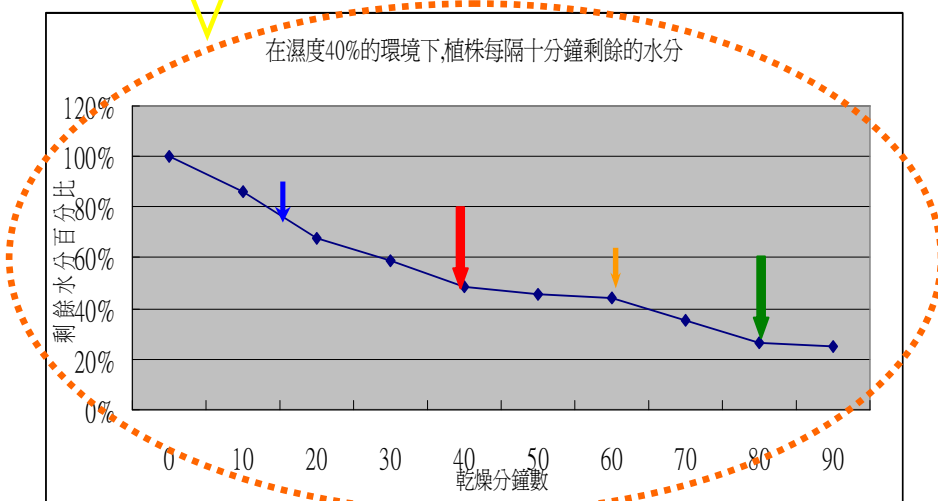
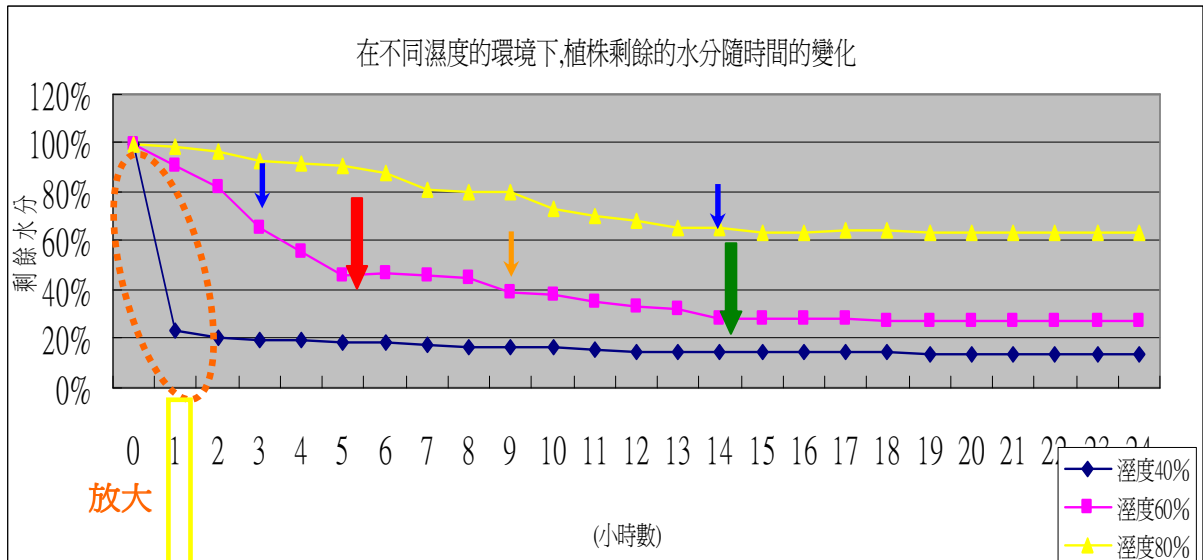
2.光合作用



圖表 9.由上方圖中，雖然可以發現乾燥時數增加，但 2 小時到 6 小時的數值都在 0 小時以上，而 8 小時以後數值就明顯下降，而在 18 小時之後，則有上升的情形，此情形在「陸、討論」中分析。

四、牙緣毛口苔在相對濕度 40%、60%、80%的環境下乾燥不同時數，比較植株的生理狀態及體內剩餘水分含量

(一)牙緣毛口苔在相對濕度 40%、60%、80%的環境下，植株體內剩餘水分含量隨離土乾燥時間的變化

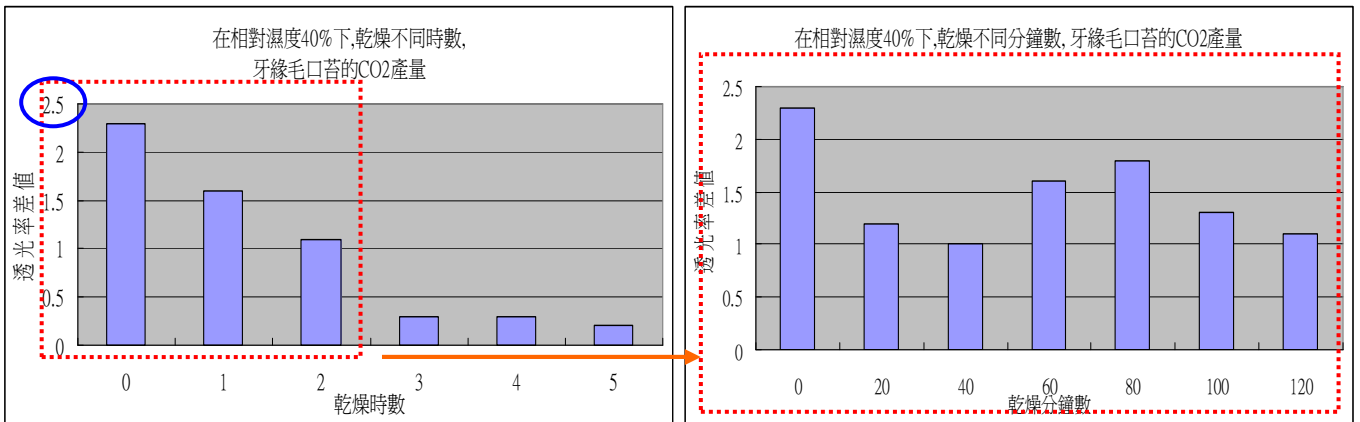


圖表 10.

(二) 探討牙緣毛口苔在相對濕度 40%環境下, 5 小時內(模擬自然環境中濕度較低的環境) 植株的生理狀態變化

1. 乾燥不同時數, 植株未加水復甦

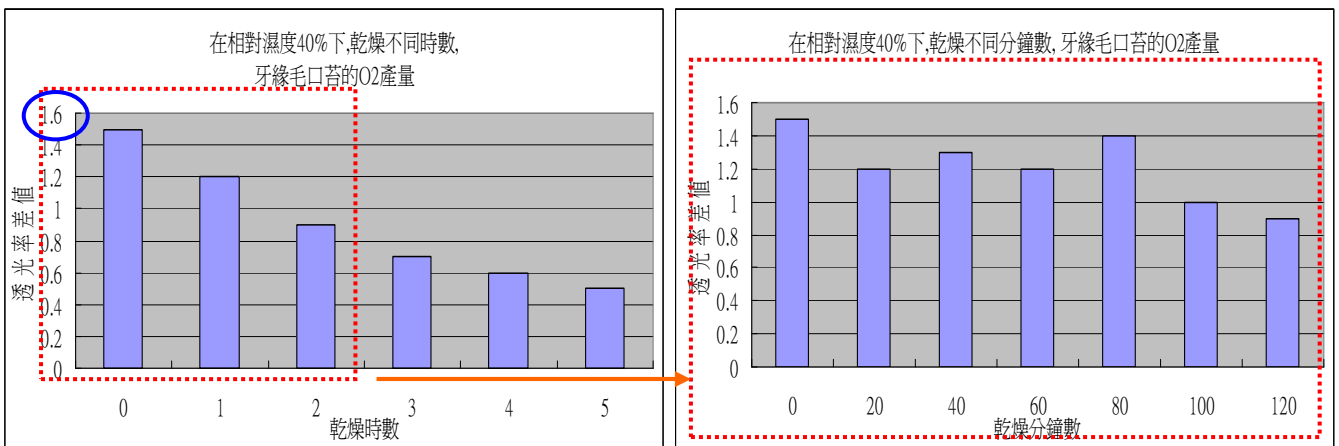
(1) 呼吸作用



圖表 11. 根據左圖, 乾燥時數從 0 小時增加至 2 小時, 牙緣毛口苔的 CO₂ 產量急遽下降; 3 小時後呼吸作用已經很低, CO₂ 產量緩緩下降、變化極微。

右圖是將操縱變因「乾燥時間」的間隔縮短為 20 分鐘, 以探討急遽變化的過程。實驗結果顯示, 一開始急速乾燥(濕度很低), 牙緣毛口苔的呼吸作用就受很大的影響。而乾燥時間 60、80 分鐘的樣本其 CO₂ 產量較乾燥時間 20、40 分鐘的樣本高, 可能與植株的因應方式有關, 在「陸、討論」中會輔以植株體內剩餘水分含量等數據做綜合分析。

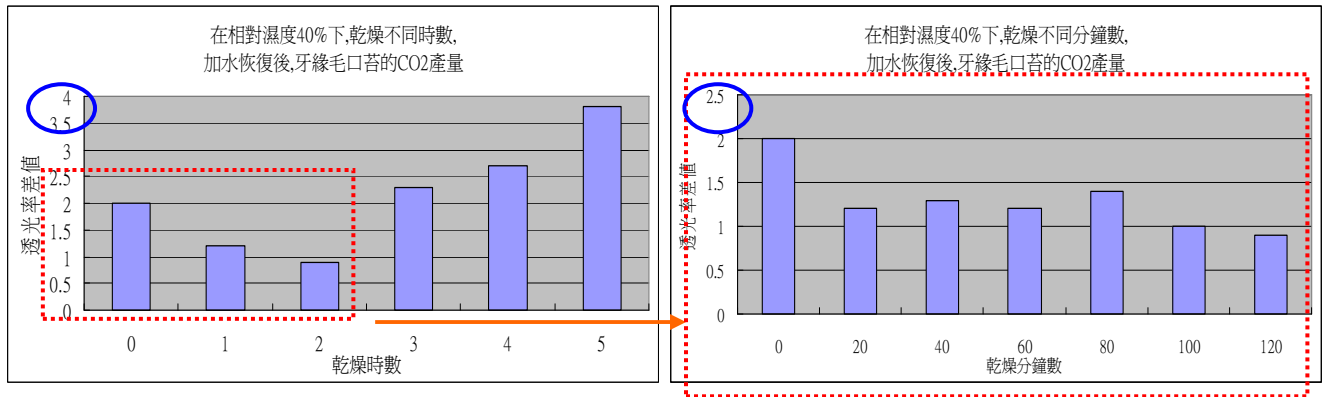
(2) 光合作用



圖表 12. 根據左圖, 乾燥時數從 0 小時增加至 2 小時(水分散失最急遽、生理作用受極大影響), 加水恢復相同時間內, 乾燥愈久的樣本, 生理狀態愈難恢復至和未乾燥(乾燥 0 小時)時相同。而乾燥時間在 3 小時以上的樣本, 其加水恢復後, 光合作用的 O₂ 產量反而高於未乾燥的樣本。右圖的實驗中, 我們將樣本的乾燥時間的差別縮短為 20 分鐘, 以利深入分析。

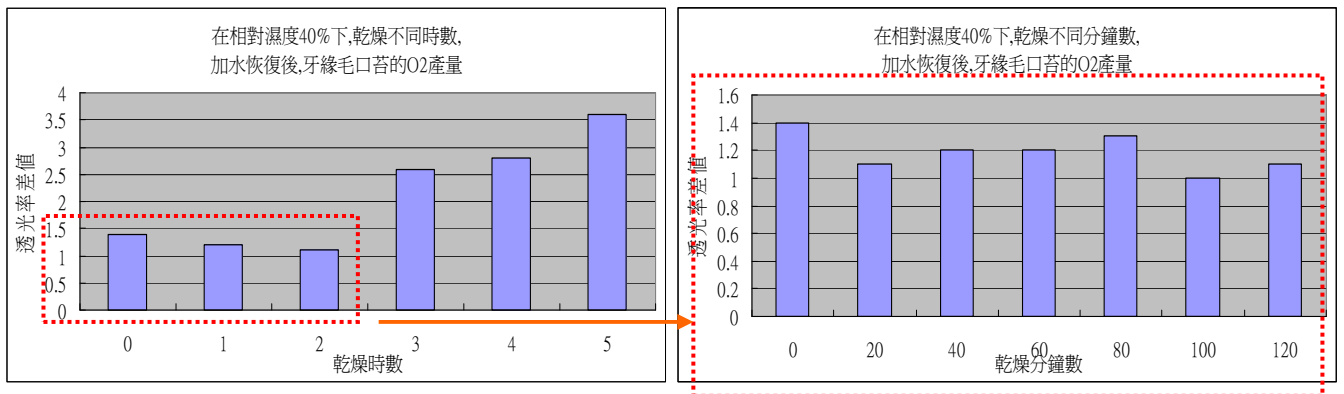
2. 乾燥不同時數，植株加水復甦

(1) 呼吸作用



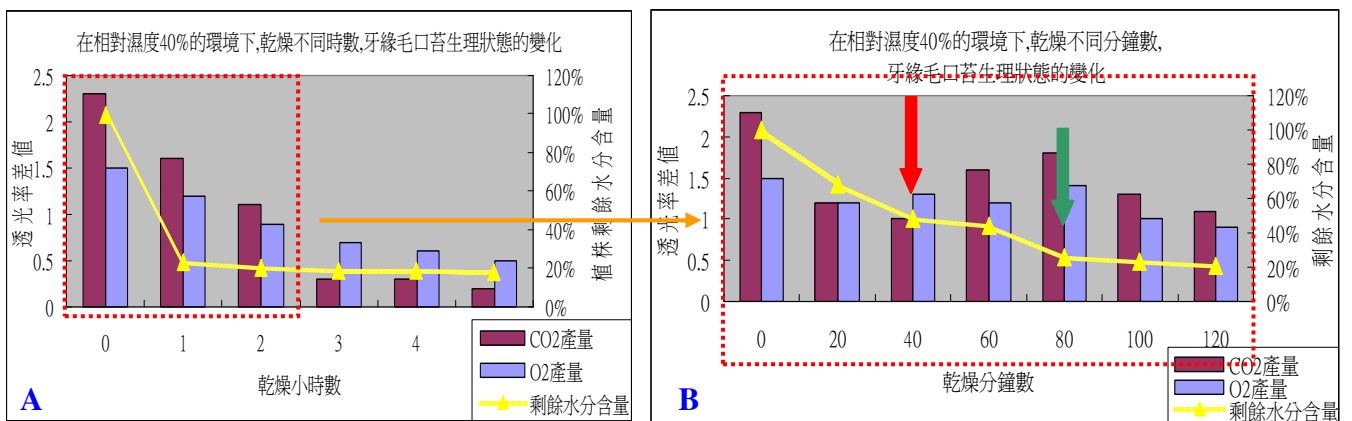
圖表 13. 根據左圖，乾燥時數從 0 小時增加至 2 小時(水分散失最急遽、生理作用受極大影響)，加水恢復相同時間內，乾燥愈久的樣本，生理狀態愈難恢復至和未乾燥(乾燥 0 小時)時相同。而乾燥時間在 3 小時以上的樣本，其加水恢復後，呼吸作用的 CO_2 產量高於未乾燥的樣本。右圖的實驗中，我們將樣本的乾燥時間的差別縮短為 20 分鐘，以利深入分析。

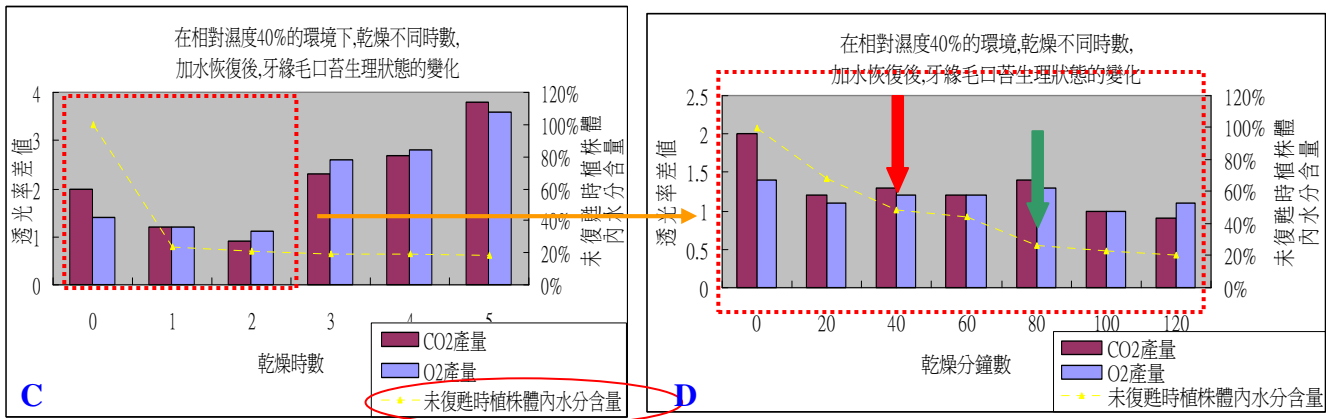
(2) 光合作用



圖表 14. 根據左圖，乾燥時數從 0 小時增加至 2 小時(水分散失最急遽、生理作用受極大影響)，加水恢復相同時間內，乾燥愈久的樣本，生理狀態愈難恢復至和未乾燥(乾燥 0 小時)時相同。而乾燥時間在 3 小時以上的樣本，其加水恢復後，光合作用的 O_2 產量反而高於未乾燥的樣本。右圖的實驗中，我們將樣本的乾燥時間的差別縮短為 20 分鐘，以利深入分析。

以上加水恢復樣本，光合作用的變化和呼吸作用的變化有相似趨勢，在「陸、討論」中會輔以植株體內剩餘水分含量數據做綜合分析。

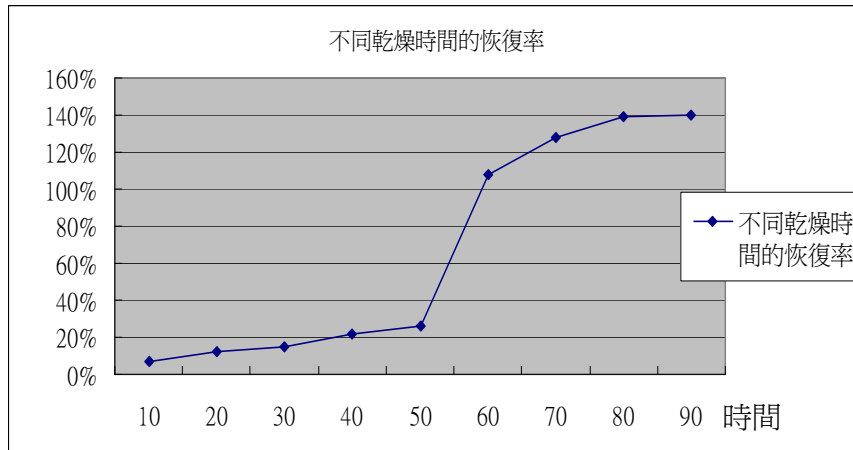




圖表 15 . A.B.C.D 以上四張

五、牙緣毛口苔的細胞間隙之功能探討

(一).在相對濕度 40%的環境中，乾燥不同時數的牙緣毛口苔吸水恢復後增加的重量



圖表 16.

(二)實驗直接所得的數據不易表達趨勢，因此以「乾燥不同時間的樣本，加水恢復相同時間後植株的含水量恢復率」的圖表表現。

1.定義：

恢復率=A/B=吸水量與原本細胞體內水分含量的比值。其中，

A = 【乾燥樣本加水恢復 1 小時後的重量－乾燥後重】

=乾燥樣本加水恢復 1 小時的總吸水量

B(失水極限)=【樣本全部細胞體重(含細胞內水分)－乾燥後的細胞重量之最小值】

2.而水分吸收量與乾燥時水分散失量有關

(三)根據實驗結果：

1.隨著乾燥時間的增加，恢復率漸增(水分吸收量漸增)。

2.乾燥時間為 0~50 分鐘內的樣本，恢復率有近似正比的關係，而恢復率只達到 30%。

3.乾燥時間為 60 分鐘時，恢復率提升至將近 100%。

4.乾燥 60~70 分鐘的樣本，其恢復率明顯上升。

5. 70~80 及 80~90 分鐘的恢復力趨緩，約止於 140%

(於「陸、討論」處分析)

陸、 討論

一、 在構造觀察的實驗中，我們發現：

(一)在顯微鏡操作的對焦過程中，觀察到牙緣毛口苔大約只有 2~3 層細胞。

(二)加水後的牙緣毛口苔，假莖旁幾乎每次都會出現突出區域(見照片 10.)。在各種實驗的觀察中，我們推測此區域有暫時儲水功能，但仍須更深入研究。

二、 討論實驗「一、(三)」：由於實驗中有多處運用到加水復甦的操作，所以我們認為「水分進入的部位」是可以研究的方向。

由實驗結果得知，植株將水分由假葉輸送至假根的速率，較水分由假根輸送至假葉的輸送速率快。輔以牙緣毛口苔的生長特性—通常為群聚生長且假葉茂密，若有微量降水，則水分易被阻擋於群聚牙緣毛口苔的頂部，不易直接到達植株所生長的土壤上，所以若植株上半部輸導水分的速率較快，正好可解釋其假葉群聚生長的型態，有利於生存。

透過顯微鏡下的觀察發現，將牙緣毛口苔加水後，在其莖上會出現突出部份，可能是牙緣毛口苔儲存水分的另一個方式：水分進入植株的方式除了假根及假葉外，也可能從類似葉鞘的部位進入。

三、 探討「在有、無水分補給的狀態下，溫度、溼度等因子對牙緣毛口苔的影響」的實驗裡，得知各環境因子對牙緣毛口苔水分散失速率的影響：水分補給 > 濕度 > 溫度。由此結果可以推論，牙緣毛口苔假根自土壤中吸水的速率略大於空氣中水氣進入假葉的速率。另外，觀察照片，我們發現葉片會某個時段後開始快速皺縮，我們推測可能是細胞間隙的水分耗盡、膨壓改變所導致；莖與葉間的角度改變亦可能是膨壓改變的結果。

四、 細胞間隙的功能討論(參照圖表 16.)：

(一)根據圖表 16.及顯微鏡下觀察之樣本，推論：

1.乾燥 0~20 分鐘，樣本所蒸散水分多來自沒有屏蔽的細胞間隙。

2.乾燥 30~60 分鐘，還有少許存餘在細胞間隙的水分緩緩蒸散；顯微鏡底下所見的，發現其細胞體內水分蒸散較少(細胞的質離情形並不明顯)。

3.乾燥 60~70 分鐘，細胞體內水分的蒸散量急遽升高。

4.乾燥 80 分鐘的樣本，水分散失量較乾燥 70 分鐘的樣本少。

5.乾燥 90 分鐘的樣本，僅有極微量的水分散失，可將此時之樣本重，視為短期乾燥的失水極限，得公式中「短期乾燥後的細胞重量之最小值」。

(二)根據定義，若細胞體內充滿水分且細胞間隙沒有水分，恢復率至多為 1；因此可以得知恢復力 > 1 之情形，即為水分進入細胞且存在於細胞間隙所造成。從圖表 16.實驗數據得知，70~80 及 80~90 分鐘的恢復力趨緩，約止於 140%；我們得知細胞間隙，可以儲存「短期乾燥的失水極限的 40%」的水分。

(三)總結之，細胞間隙的水分蒸散完後，細胞體內的水分才開始大量蒸散，因此細胞間隙的儲水功能可以讓表面積大(易蒸散)的牙緣毛口苔更有利於生存。而細胞間隙的儲水量約為「短期乾燥的失水極限的 40%的水分」。

五、以顯微鏡觀察(實驗「二、(二)」)，並分析實驗「四(一)」，可以得知：濕度愈低的環境，植株愈快開始自細胞間隙散失水分；植株到達水分散失極限時剩餘的水分也愈少。而就影響程度而言，當相對濕度較低時，每增減一單位溼度，植株所受的影響較處於高濕度的環境中明顯。

散失水分的來源		細胞表面及細胞間隙	細胞質	水分散失到達極限
不同濕度	相對濕度 40%	0~40 分	40~80 分	80 分以後
	相對濕度 60%	0~5 小時	5~14 小時	14 小時以後
	相對濕度 80%	0 小時~		

六、根據植物生理學(William. Hopkins 著)，呼吸作用在光環境與暗環境中可能有些許差異，但此差異目前是無法得知的，但此文獻後的圖表(p.326 圖 13.7)中，仍將淨光合作用視為整體光合作用與呼吸作用間的差異而定。因此我們也以此法進行實驗分析。

$$\text{淨 CO}_2 \text{ 產量(測量結果)} = \text{呼吸作用產生的 CO}_2 - \text{光合作用消耗的 CO}_2$$

七、綜合分析「在相對濕度 40%的環境下，牙緣毛口苔的生理狀態」

「在相對濕度 40%的環境下，乾燥不同時間，牙緣毛口苔的生理狀態」(圖表 15.A、B)。A：得知牙緣毛口苔在水分大量散失期間(乾燥時間為 2 小時以內)，生理作用(呼吸作用及光合作用)的變化也很劇烈；其中又以呼吸作用受較大影響。B：更進一步分析植株生理狀態劇烈變化的區間，可知牙緣毛口苔的呼吸作用、光合作用的改變與植株體內水分含量變化密切相關。

「在相對濕度 40%的環境下，乾燥不同時間，加水復甦後，牙緣毛口苔的生理狀態」(圖表 15.C、D)。C：得知樣本在未復甦時，乾燥時間在 2 小時以內(水分大量散失期間)，其在加水恢復後的 20 分鐘內，生理作用(呼吸作用及光合作用)均無法恢復至和未乾燥樣本相同，其中呼吸作用尤其明顯；而乾燥時間大於 3 小時的樣本，加水復甦後，植株的呼吸作用的 CO₂ 產量、光合作用的 O₂ 產量均高於未乾燥樣本——我們認為已乾燥至極限的樣本，未復甦時處於休眠狀態，加水後「維持性呼吸作用」速率增大導致 CO₂ 產量大增；光合作用的上升則應該與生理機能恢復有關(可參見討論八「在相對濕度 60%下，加水恢復樣本的光合作用」)。D：更進一步分析植株水分含量劇烈變化的區間，牙緣毛口苔復甦後的呼吸作用的 CO₂ 產量、光合作用的 O₂ 產量，也與乾燥、未復甦的植株體內水分含量變化密切相關。

註：根據植物生理學(William. Hopkins 著) p.320，呼吸作用可分為「生長性呼吸作用」包括碳實際參與呼吸作用以產生能量(還原潛勢及 ATP)以供合成及生長；以及「維持性呼吸作用」提供能量供非實際引起乾物量增加的生理過程，如有機分子的轉換、細胞膜結構的維持、細胞膨壓、產生水分及溶質的交換。

八、綜合分析「在相對濕度 60%的環境下，牙緣毛口苔的生理狀態」

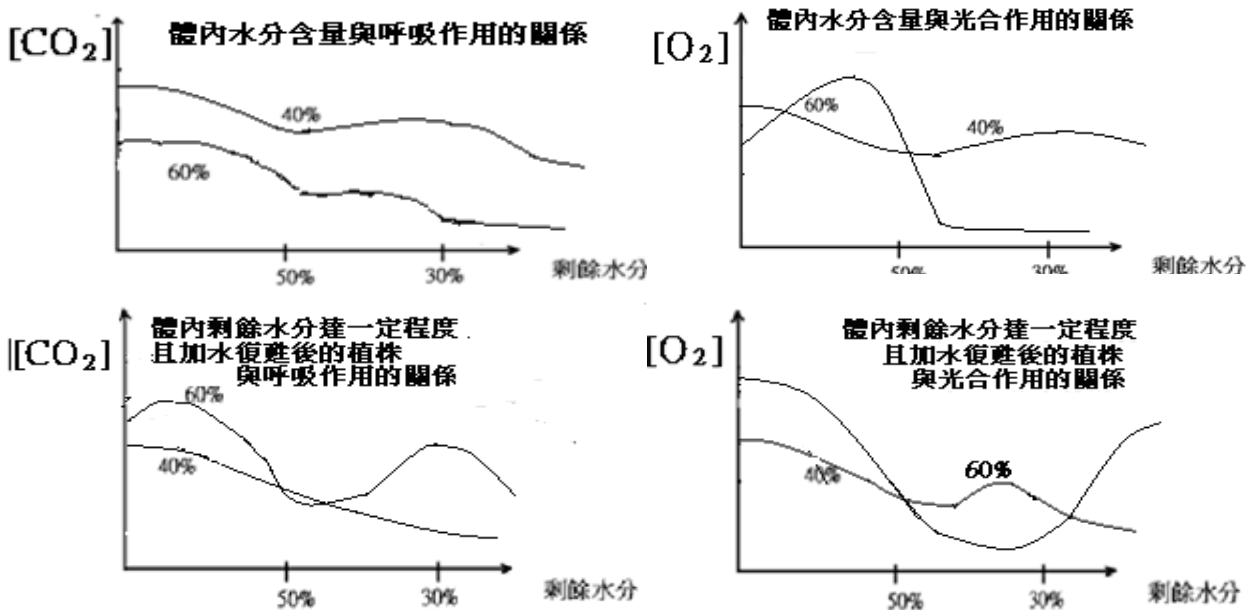
植株在相對濕度 60%下**乾燥**，水分散失未進入 B 階段—水分剩餘 50%以上(參照實驗結果「四、(一)」)時，並不會對呼吸作用造成影響；但水分開始由細胞質蒸散出去(B 階段)時，其呼吸作用就大受影響，應與細胞質濃度上升，使呼吸作用相關物質活性下降有關；而當水分散失到 30%以下時，則會進入休眠的情形，此時呼吸作用近乎為零。至於光合作用，則會先上升，再緩緩下降，前者上升的原因應該是：在陽光行光合作用，通常濕度較低，因此若光合作用速率立刻下降，則不利於植物生存，值得更深入探討；後者(光合作用的產值下降)則推測可能是因為：(一)原料「水」不足或(二)因某機制避免其蛋白質結構改變，同時也使部分功能暫時關閉，因此在水分散失到達極限時，幾乎停止進行光合作用，而進入休眠狀態。推測(二)的根據是：文獻(參考資料五.)中，牛耳草(一種復甦植物)的光合作用產值下降與「因某機制避免其蛋白質結構改變，同時也使部分功能暫時關閉」有關，又根據「討論十、」，牙緣毛口苔與復甦植物有許多相似之處，因此推論，實驗結果「光合作用的產值下降」可能與上述因應機制有關。

至於**加水復甦後**的樣本：呼吸作用方面，我們認為其為維持性呼吸作用增加，修補受損的部份，也使得加水復甦後的樣本數值上升。至於光合作用，若其未復甦時，體內水分含量到達 B 階段後一部份(約 8 小時)，光合作用無法在 20 分鐘之內回復原來之狀態，我們認為需要更多的時間回復其原來的生理狀況；但乾燥時水分到達 C 階段後一部分(約 18 小時)，數值會有上升的情形，推測當乾燥到一定程度(幾乎已達休眠狀態)時，細胞便會產生某些特定物質抵抗乾燥。作此推測的根據：在關於牛耳草(一種復甦植物)的文獻(參考資料五.)中提到，牛耳草在乾燥後一段時間後，體內類胡蘿蔔素會有上升的情形，而類胡蘿蔔素可能參與復甦植物中抵抗乾燥的一部份；而在「討論十、」中，我們發現牙緣毛口苔與復甦植物有許多相同之處，因此推論我們實驗所得的現象可能也與類胡蘿蔔素有關。而又從植物生理學(William. Hopkins 著)p.170 知，類胡蘿蔔素具有吸收藍光，保護葉綠體之功能，且能將其能量傳給葉綠體，因此乾燥時所增加的胡蘿蔔素，在加水恢復後、光合作用原料充足(水分充足)時，造成光合作用產量的上升。

九、比較處於不同溼度的環境下乾燥，牙緣毛口苔生理狀態的異同

由剩餘水分、光合作用、呼吸作用圖表共同比較可得知，環境為相對溼度 60%和相對溼度 40%的圖表中，剩餘水分到達約 50%、約 30%時，就會進入下一個水分散失的階段，並且和光合作用與呼吸作用的變化趨勢吻合，(但因應措施不一定相同，有待探討)。所以我們認為水分與其細胞生理關係十分密切。此外在相對濕度 80%下的樣本，水分較不易散失，且水分散失到達極限時，體內剩餘水分上高於 50%，因此其轉折趨勢較不明顯。

註：因應措施如「因某機制避免其蛋白質結構改變，同時也使部分功能暫時關閉」或其他。下面四張圖是以植株體內剩餘水分為橫軸，相較於直接以乾燥小時數為橫軸，可以更清楚的看出急速乾燥與緩慢乾燥的植株，其生理狀態改變過程的差異。由於在實驗中，我們主要分析的是三個不同水分散失來源的階段，植株生理作用的不同；因此以下四圖僅大略表示趨勢，於細部的改變及實際數值並沒有十分精確。



(一) 乾燥時：

剩餘水分	水分散失處	呼吸作用	光合作用
剩餘水分 100%~50%	細胞表面及細胞間隙	影響小 / 急劇↓	影響小 / 影響小
剩餘水分 50%~30%	細胞質	急劇↓ / 稍微↑	緩緩↓ / 平緩
剩餘水分 30%以下	水分散失到達極限	近乎休眠	近乎休眠 / 稍微↓

表示法：[樣本在相對濕度 60%環境下乾燥的情形 / 樣本在相對濕度 40%環境下乾燥的情形]，而且表示的是該階段內的變化。

其中得知，在同一個階段內，呼吸作用對水分散失較敏感(急速乾燥的植株，變化較緩慢乾燥的植株明顯)；光合作用方面，急速乾燥的植株反而下降稍緩。從反應物分析，水是光合作用的原料，光合作用應該受較大影響，可是結果並不如此：因此可能是急速乾燥的環境對某一參與呼吸作用的酵素具有顯著的影響(如生理濃度的改變)；也有可能是因為急速乾燥的植株缺水時間尚短，和光合作用有關的酵素與胞器尚未受損嚴重，這些是值得繼續探討的。

(二) 加水復甦相同時間後：

剩餘水分	乾燥時的水分散失處	呼吸作用	光合作用
剩餘水分 100%~50%	細胞表面及細胞間隙	平緩 / 急劇↓	產量高 / 平緩
剩餘水分 50%~30%	細胞質	平緩 / 平緩	產量較低 / 平緩
剩餘水分 30%以下	水分散失到達極限	平緩 / 稍微↓	產量較低 / 稍微↓

表示法：[樣本在相對濕度 60%環境下乾燥的情形 / 樣本在相對濕度 40%環境下乾燥的情形]，而且表示的是該階段內的變化。

比較得知，急速乾燥(相對溼度 40%)的樣本，其乾燥時體內剩餘水分多寡與復甦所需要的時間有明顯關係，可能是因為急速乾燥的過程，植株來不及適當調整生理機制；造成相較下，溼度 60%環境下乾燥不同時數、同一階段內的樣本，恢復相同時間內，呼吸作用產量相差不大(但乾燥時數不同的樣本，從開始恢復到恢復完全整個過程的 CO₂ 總產量是否相同，仍有待探討)。

另外，以上四張圖，牙緣毛口苔的生理作用整體的改變幅度，以緩慢乾燥的植株較大，這個現象應該是因為緩慢乾燥的植株有較多時間調整生理機制(因應措施)以因應環境的變化。

十、 根據資料(中國科學院植物研究所副研究員—鄧馨：生命世界：當植物遭遇乾旱)，「自然界中有一類植物，它們可以生活在極端乾旱的環境裡，但是並沒有特殊的結構來保水，也沒有強大的根系來吸水。這類植物採取的是一種相反的策略，即快速徹底地脫水(失去原自身含水量的 90%~95%以上)，減弱生理代謝活動，進入一種類似休眠的狀態度過乾旱時期；而在水分變得充足時又快速地吸收水分，恢復生活狀態，繼續完成其生活史。在這個過程中，這些植物表現出形態結構上的可見變化，乾旱時葉片發生卷曲、變硬、失綠，復水時逆轉，重新變得舒展、柔軟、鮮綠，就像它死而復生一般，因此人們把這類植物稱為復甦植物。」根據實驗結果，我們認為牙緣毛口苔有許多復甦植物的特性(粗體字部分)，也有些較不同之處(畫底線的部分)；值得再深入探討、比較兩者其他相異、相同之處，可能會有助於應用層面的發展。

十一、 我們也做了「探討加水復甦時數對牙緣毛口苔的光合作用、呼吸作用、水分增加量的影響」的初步實驗。我們發現乾燥愈久的植株，加水後需要愈久的時間才能恢復，而乾燥時所處環境的濕度也會稍微影響恢復的模式。但因為數據資料不夠齊全，並未在實驗結果中呈現。

我們希望在統計完「探討加水復甦時數對牙緣毛口苔的光合作用、呼吸作用、水分增加量的影響」的實驗後，可以了解牙緣毛口苔的恢復過程：恢復程度與生理作用的關係，乾燥不同時數的植株其恢復時生理作用改變的幅度、恢復所須的時間等。

十二、 在「四、比較牙緣毛口苔在相對濕度 40%、60%、80%的環境下，植株的生理狀態及體內剩餘水分含量隨離土乾燥時間的變化」實驗中，我們試圖探討植株在 80%環境下的生理狀態，但因為牙緣毛口苔在高濕環境下水分較不易散失，而且當水分達散失極限時，體內剩餘水分含量也仍高達 65%，從細胞質中散失的水分並不多，其生理狀態幾乎不受影響；這使實驗中人為操作不慎造成的微小誤差，也會造成數據波動甚大，而看不出變化的情形，因此還有待更仔細的探討。

柒、 結論

在不同溼度下乾燥，牙緣毛口苔失去水分的量及速度皆有不同，但都有相似的趨勢和轉折處，因此將牙緣毛口苔整個水分散失過程分成三個階段，每個階段分別有不同的水分散失來源、生理狀態等。大略而言，乾燥愈久，牙緣毛口苔的呼吸作用、光合作用速率都會下降，而呼吸作用受影響較光合作用大；加水後短時間內，外觀會很快的恢復，而呼吸作用、光合作用均會上升，前者可能為維持性呼吸作用上升、後者則可能與植物的保護機制有關，兩種改變均有助於植株的復甦；此外急速乾燥或緩慢乾燥的狀況，也會影響生理作用改變的幅度大小。另外也發現，牙緣毛口苔細胞間隙具暫時儲水功能，其中的水分有助於避免植株在乾燥環境下立即受損。

捌、其他

一、未來展望

- (一)能更深入探討牙緣毛口苔植株體內剩餘水分含量改變，所導致的生理狀態變化及變化原因，例如可以用酵素活性來代表生理狀態的指標……等。
- (二)觀察牙緣毛口苔的生命週期，了解各階段在植株生命中所占的時間。進而取處於不同生命階段的植株，乾燥不同時數後種回土中，探討乾燥對不同生命階段之牙緣毛口苔的**後續生命週期**(忍受逆境的方法－馴化，發生在植物個體生命史中無法遺傳的生理修飾)及**對子代是否有影響**(忍受逆境的方法－適應，結構和功能上可遺傳的改變)，其中，亦要討論乾燥不同時數的差異。
- (三)觀察下雨後的幾天，牙緣毛口苔快速生長的情形，以更了解水分對牙緣毛口苔生長過程的影響。
- (四)由實驗數據建立一套完整的「牙緣毛口苔與各影響其水分含量的因子」之關係圖表，進而利用牙緣毛口苔做為一種空氣中相對溼度的生態指標。
- (五)利用實驗所得的結果，深入比較「高等植物先祖」的苔類其與水分有關的生理狀態，和高等植物的相同與相異之處，進而可以了解植物演化過程中的改變。

二、參考資料

- (一)行政院農業委員會(民 89)。台灣蘚類植物彩色圖鑑。台北市：蔣鎮宇 牟善傑 許再文 陳建志 <http://subject.forest.gov.tw/species/mosses/mosses/index3-2.htm>
- (二)王月雲、陳世瑩、童武夫(民 92)。植物生理學實驗增訂本(3 版)。台北市：藝軒
- (三)William. Hopkins(民 88)。植物生理學(初版)。台北市：啓英文化
- (四)林仁安 林家漢 陳品宇 黃浩倫。乾與濕的策略-捲葉濕地苔和水的關係。中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
- (五)鄧 馨、胡志昂、王洪新、溫小剛、匡廷云。脫水和復水對復甦植物牛耳草離體葉片光合作用的影響。
民 89 年，取自 [http://www.jipb.net/pubsoft/content/2/1779/X990335\(PS2\)](http://www.jipb.net/pubsoft/content/2/1779/X990335(PS2))。
- (六)鄧 馨。生命世界：當植物遭遇乾旱。
民 98 年 11 月 27 日，取自 <http://163.20.179.4/lifetype/gallery/11/11-2131.doc>

【評語】 040705

本研究之優點為於觀察到牙緣毛口苔於乾燥環境下以水澆灌即可變回翠綠後，進行一系列實驗探討其機制，具鄉土性。實驗設計基本上合理，可再改進處包括數據應以統計後結果呈現，組織圖須有比尺標示等。