

台灣二〇〇五年國際科學展覽會

科 別：植物學

作品名稱：台灣水生食蟲植物~

絲葉狸藻捕蟲行爲及消化功能的進階探索

得獎獎項：大會獎第二名

候補作品:香港第 38 屆聯孝科學展覽會

柯達公司攝影獎

學 校：高雄市立五福國民中學、高雄市私立道明高級中學

作 者：莊迪喬、莊淳喬

評語與建議事項：

本研究是一個非常有趣且獨特的課題，作者們利用可觀察之色素偵測狸藻之補食行爲及消化過程。本研究呈現很好的實驗結構，優良的顯微鏡技巧，如能用"真正"的食物進行"機制"操作較為恰當。

作者簡介

莊淳喬

嗨！我是莊淳喬，目前就讀於高雄市道明高級中學一年級。在家庭中，爸、媽、妹妹和我無所不聊，遇到難題的時候大家都會一起腦力激盪尋求解決。從小就對自然科學有高度興趣的我，在國外居住的那幾年，常常要求媽媽帶我去最喜歡的科學博物館。國中曾參加過三次高市科展(第一名、第三名及佳作)及 2004 台灣國際科展比賽(通過初審)，雖然在研究過程中有歡笑也有淚水，更有意料之外的驚喜發現，但也讓我對科學研究產生興趣。感謝師長與父母給予我大力的支持與協助！我真是個幸運兒！

莊迪喬

我，莊迪喬，是個開朗、直爽的國中二年級學生，對繪畫、建築、汽車都很有興趣。從小就喜歡參加各項比賽，包括：全國科展(第一名)、全國網界博覽會(金牌)、英文網頁製作(全市第二名)、平面設計(全市佳作)、西畫(全市第三)、漫畫(全市第三)、英文作文(全市第五)。參加比賽不是為了得獎，而是希望在比賽中汲取他人優秀的經驗。很高興能參加 2005 台灣國際科展，爸媽、姐姐和我常常為了尋找答案而徹夜不眠，也常有機會聚在一起討論，我覺得這是最快樂的時光！



ABSTRACT

The “Insectivorous Plants”, the first historical publication by Charles Darwin, contained the detailed observations and meticulous descriptions of various carnivorous plants and had become the most important reference for the study of carnivorous plants . But the prey mechanism and digestive function of the bladder traps of the *Utricularia* were not well described . The present study has a great success in these fields which include the volume change of bladder traps before and after firing, the spontaneous pressure relief of the bladder traps even without being triggered by prey, and the quadriceps visible absorption process . The last two findings are not yet publicated.

This laboratory experiment is carried out with *Utricularia Gibba*, a native species of *Utricularia* in Taiwan . Through static and dynamic observation, we find that bladder traps suck in water by 12-25% of body volume change, and the bladder traps release internal pressure spontaneously under long period of waiting, despite not being triggered . We can also easily demonstrate the absorption process of quadriceps by manually triggering the bladder traps to suck food color solutions. All the events above can be clearly seen under microscopy .

摘要

達爾文是最先對食蟲植物作深入且完整研究的科學家，至今他的著作仍是研究食蟲植物的重要資料，但在其內容中對狸藻捕蟲囊捕蟲行為及消化功能的研究觀察並不完整。本實驗使用簡單的方法，在這方面有突破性的進展，包括捕蟲囊捕食前後的體積變化，自發性舒張及囊內腺毛對於食用色素的消化吸收，後兩項發現及實驗均未曾出現在文獻資料中。

本實驗以台灣本土水生食蟲植物絲葉狸藻(*Utricularia gibba*)為研究對象，由靜態及動態觀察，顯示捕蟲囊捕食前後體積變化為12~25%，且即使在沒有捕到水中生物的情況下，也會有自發性舒張以解除囊內壓力的現象。捕蟲囊內四爪腺毛消化吸收功能的整個過程，可藉由食用色素加以呈現，並清楚的在顯微鏡下觀察到這些現象。

壹、研究動機

經過了二年的研究，我們對於這株台灣本土水生食蟲植物的外部形態、生長情形、捕蟲囊的發育、捕蟲機制、排水功能、囊內消化吸收現象，都有了初步的了解。達爾文曾針對食蟲植物做了非常深入的研究，至今，他的著作仍為很多研究食蟲植物的重要參考資料。他曾對英國狸藻作一系列的觀察與實驗；包含狸藻外部形態、捕蟲囊內部及外部結構、四爪腺毛功能及營養吸收的探討…等，但對於捕蟲囊捕蟲行為及消化功能則停留在靜態的觀察及推測。達爾文將捕蟲囊切開浸泡在各種銨鹽溶液中，但在此過程中，捕蟲囊已遭到破壞，生理機能也可能會受到影響，因此所得到的結果是否能真正代表四爪腺毛的消化吸收作用？

老師曾教我們以食用色素將洋蔥表皮細胞染上顏色，可以成功的在不影響細胞的正常生理下，觀察到細胞質的流動及內含的物質。因此是否能經由色素的變化，而看出四爪腺毛的吸收功能？

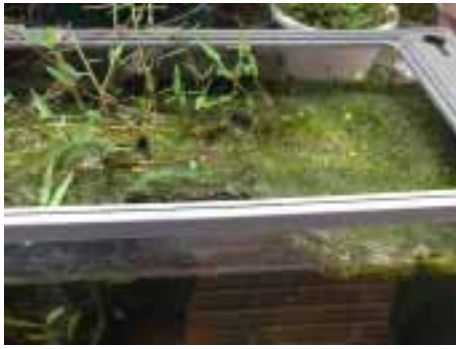
貳、研究目的

- 一、觀察絲葉狸藻各部位的形態
- 二、觀察捕蟲囊的生長情形、形態與內部構造
- 三、觀察捕蟲囊捕的蟲機制
- 四、以各種銨鹽溶液探討捕蟲囊內四爪腺毛的消化吸收現象
- 五、以各種食用及非食用色素探討捕蟲囊內四爪腺毛的消化吸收功能

參、設備及器材

- 一、設備：教材提示機(Sc-980)、解剖顯微鏡(Motic X40)、複式照相顯微鏡(Alphaphot-2 YS2)、數位相機(Nikon Coolpix 990)、數位攝影機(Sony Dcr-pc100)、腳架、電視、照相機、冷光裝置(Potop)、電腦影像軟體(Video Studio、Flash MX)
- 二、器材：解剖用具、載玻片、甘油、培養皿、試紙、吸管、蓋玻片、自製頭髮探針、轉接頭、測微尺、圓規、尺、中性紅、0.1M硝酸銨(NH_4NO_3)、0.2M氯化銨(NH_4Cl)、0.1M尿素UREA ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$)、0.1M碳酸銨($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$)、蒸餾水、綠色彩色墨水(Artone)、特級紅色 6 號食用色料(雙十牌)、紅、藍食用色素(Food club)

三、採集地點：



成功大學生物館溫室



屏東縣麟洛鄉田心生態園區

肆、研究過程或方法

一、觀察絲葉狸藻各部位的形態

將剛採集的絲葉狸藻，以肉眼觀察並記錄它的特徵，再用解剖顯微鏡及複式照相顯微鏡觀察細部構造。

二、觀察捕蟲囊的生長情形、形態與內部構造

(一) 將絲葉狸藻放在池塘水溶液中培養(pH=6)，選定生長良好，且具有生長前端的狸藻，定時拍攝捕蟲囊的生長情形，共觀察記錄十二天。

(二) 在解剖顯微鏡下將成熟捕蟲囊解剖作成切片，包括縱切及橫切。

(三) 以中性紅染色或直接以顯微鏡觀察各部分的形態及內部構造，

(四) 比對文獻資料，加以分辨其特徵及功能。

三、觀察捕蟲囊的捕蟲機制

捕蟲囊能在極短時間內完成捕蟲的動作，此高效率的行為，實無法單憑肉眼就能觀察清楚，因此我們利用靜態及動態的實驗設計，做進一步的探討。

(一) 靜態觀察

1. 利用自製的頭髮探針，刺激捕蟲囊的觸發毛，使其舒張，以顯微鏡觀察並記錄外型變化。
2. 利用面積的變化來估算捕蟲囊舒張前後的體積變化。

(二) 動態觀察

利用冷光裝置及解剖顯微鏡(X40)，接上教材提示機及數位攝影機，長時間攝錄捕蟲囊的形態並記錄。

四、以各種銨鹽溶液探討捕蟲囊內四爪腺毛的消化吸收現象

(一) 調配各種銨鹽水溶液，包括：0.1M硝酸銨(NH_4NO_3)、0.2M氯化銨(NH_4Cl)、0.1M尿素UREA ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$)、0.1M碳酸銨($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$)、蒸餾水。

(二) 分別將上述溶液滴在瓷盤凹槽上。

(三) 將捕蟲囊切開後浸泡在上面的溶液，分別於 8 小時，16 小時及 24 小時後，在高倍顯微鏡下觀察四爪腺毛的變化並拍照記錄之。

五、以各種食用及非食用色素探討捕蟲囊內四爪腺毛的消化吸收功能

在所蒐集的文獻資料中，針對捕蟲囊內消化吸收機能的研究很少，有學者認為是囊中四爪腺毛的功用，因此我們嘗試以不同顏色的食用色素溶液來求證這些現象。

(一) 捕蟲囊吸入各種色素後外觀的變化

1. 四個培養皿分別裝上不同的水溶液：包括綠色墨水（美術用），特級紅色 6 號食用色料（染紅龜粿用），藍、紅食用色素（蛋糕、彩蛋用）。

非食用色素—綠色墨水（美術用）30 cc。

食用色素—100mg 紅色 6 號食用色料（染紅龜粿用）溶於 30cc 的水中。

另分別取 30 cc 藍、紅食用色素（蛋糕、彩蛋用）。

2. 調配紅色 6 號食用色料溶液時，利用比色法，使其色度盡可能與紅色食用色素相近。

3. 將狸藻株放入上面四種不同色素的培養皿中，在解剖顯微鏡下以自製頭髮探針刺激捕蟲囊觸發毛，使捕蟲囊打開瓣蓋吸入各種色素水溶液。

4. 取出狸藻，於清水中洗掉外層的色素，靜置於清水中觀察捕蟲囊並記錄拍照。

(二) 捕蟲囊吸入各種色素後囊內四爪腺毛的變化—四爪腺毛消化吸收機能的探討

1. 分別於 8hr、24hr 及 48hr 後，將上列已吸入色素的捕蟲囊，觀察記錄它們外

觀的變化。

2. 將吸入各種色素的捕蟲囊在不同時間解剖，以高倍顯微鏡，觀察並拍攝記錄四爪腺毛細胞質內有色液胞的變化。

伍、研究結果

一、絲葉狸藻各部位型態的觀察結果

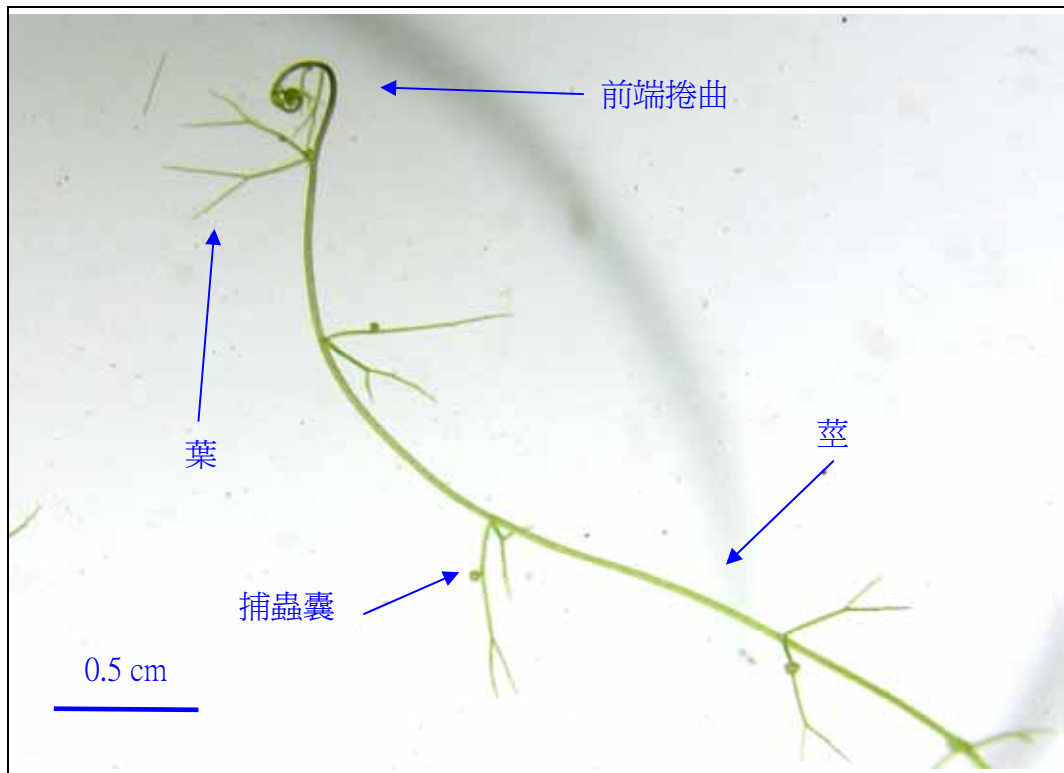


圖 1 單株狸藻的全貌圖

(一) 莖

狸藻無根，漂浮於水面(圖 1)。主要為一長莖，每隔約 1.0 ~ 1.5 cm，兩旁會長出絲狀小葉。前端呈捲曲狀(圖 2)，不停的由前端向前成長，長可達 20~30 cm，尾端會慢慢老化掉落(圖 3)。

狸藻本身不斷的分枝成長，互相纏繞成簇(圖 4)，會勾住附近的植物(類似台灣萍蓬草)，有助於固定狸藻群的位置。莖在剖開放大後可見許多空腔，腔內充滿空氣(圖 5)，是為莖會漂浮在水面之原因。莖上常見寄生藻類(圖 6、7)。

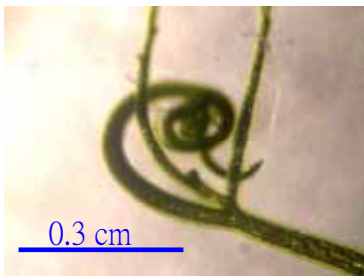


圖 2 莖前端成捲曲狀



圖 3 完整的狸藻全株

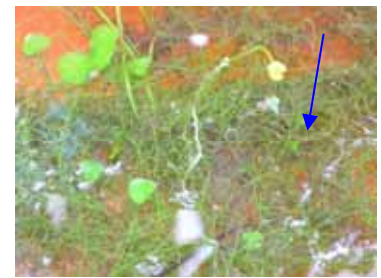


圖 4 互相纏繞成簇

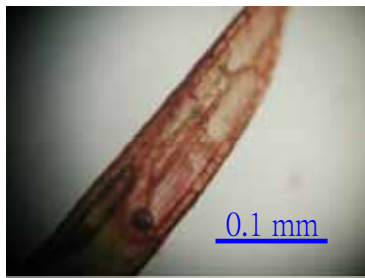


圖 5 莖斜切面的空腔

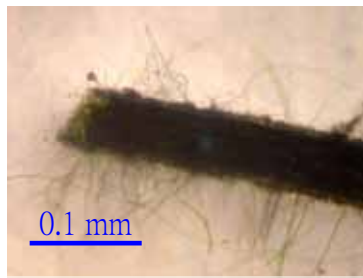


圖 6 莖上寄生的藻類

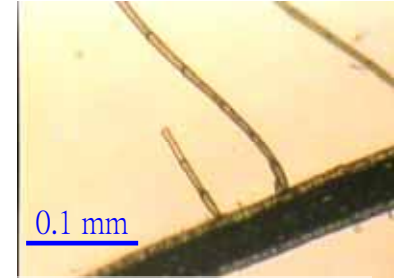


圖 7 莖上寄生的藻類

(二) 葉

葉細短，約 0.3~1.0 cm，從莖側面長出，互生的羽狀複葉，呈 V 型狀(圖 8)，葉均在不同的平面上。部分葉的分叉處會出芽，發展出側枝。顯微鏡下可見葉側及葉尖有細小突刺(圖 9、10)。



圖 8 葉成 V-型狀

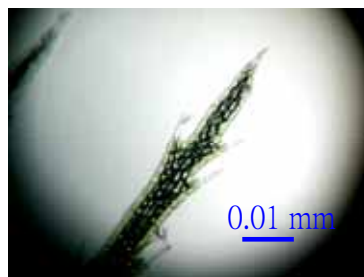


圖 9 葉末及葉緣的突刺



圖 10 葉末及葉緣的突刺

(三) 捕蟲囊

分佈在莖兩側的細葉上，每一對葉可長出淡綠色的捕蟲囊(圖 8)，外表類似甲蟲(圖 11、12)，大小約 0.3~1.0 mm，可以捕食水中小生物(圖 13)，有葉綠體可以行光合作用(圖 14)。有時在囊內可見到空氣泡(圖 11)。捕蟲囊外壁可見到寄生藻類(圖 15、16)。

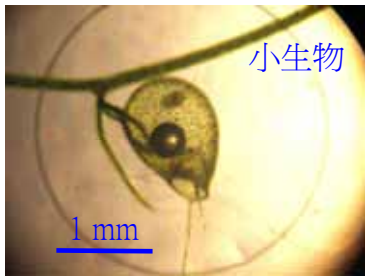


圖 11 囊內小生物及氣泡

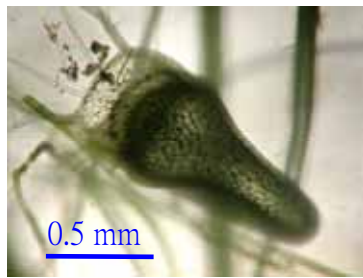


圖 12 捕蟲囊鳥瞰



圖 13 被捕食的小生物

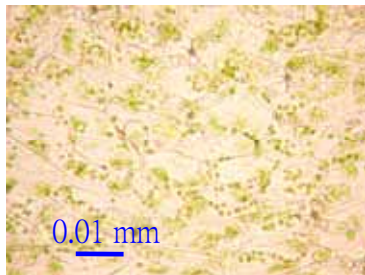


圖 14 捕蟲囊的葉綠體

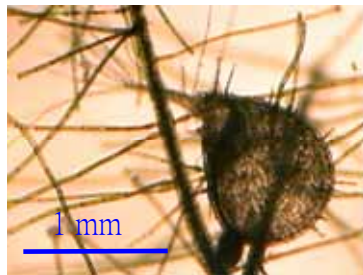


圖 15 囊外壁寄生的藻類

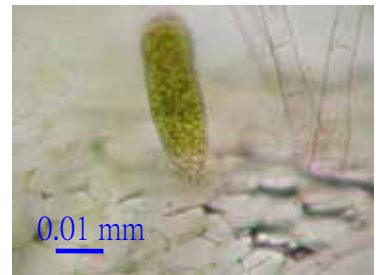


圖 16 囊外壁寄生的藻類

(四) 花

狸藻通常在夏季開黃色花，大小約 0.5 cm，無味，花期約三天。分上下圓形花瓣，像小貝殼，且上花瓣較下花瓣大，下花瓣向中間延伸成爲子房(圖 17、18)。花梗細長直立可分枝，約 5~6 cm 高，並高出水面(圖 19、20)。基部有放射狀的莖(圖 21)，此特殊的構造得以支撐花軸向上生長。在花梗四周莖的捕蟲囊特別明顯且大(圖 22)。



圖 17 狸藻的花正面圖



圖 18 手繪狸藻花正面圖

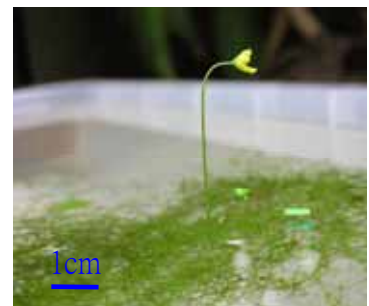


圖 19 狸藻花側面圖

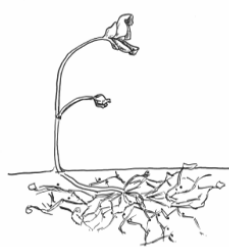


圖 20 手繪狸藻花側面圖



圖 21 支撐花軸生長的莖

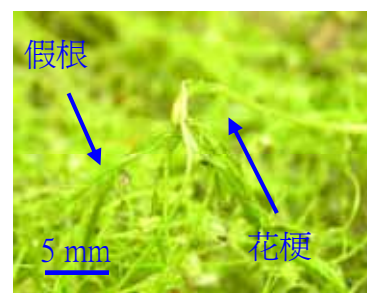


圖 22 花軸基部莖放射狀

二、觀察捕蟲囊的生長情形、形態與內部構造

(一) 捕蟲囊的發育觀察紀錄

捕蟲囊發育完成約需 10 天(圖 23)。新的捕蟲囊較青翠透明，已捕食小蟲或老化的捕蟲囊，顏色變深，最後脫落(圖 24)。



圖 23 捕蟲囊發育過程的形態變化



圖 24 右側成熟的捕蟲囊顏色較深，最後慢慢脫落

(二) 捕蟲囊的形態與內部構造觀察紀錄

將捕蟲囊縱切可看到囊口緣、囊口內部、瓣蓋及觸發毛、捕蟲囊內部及捕蟲囊壁(圖 25、26)。

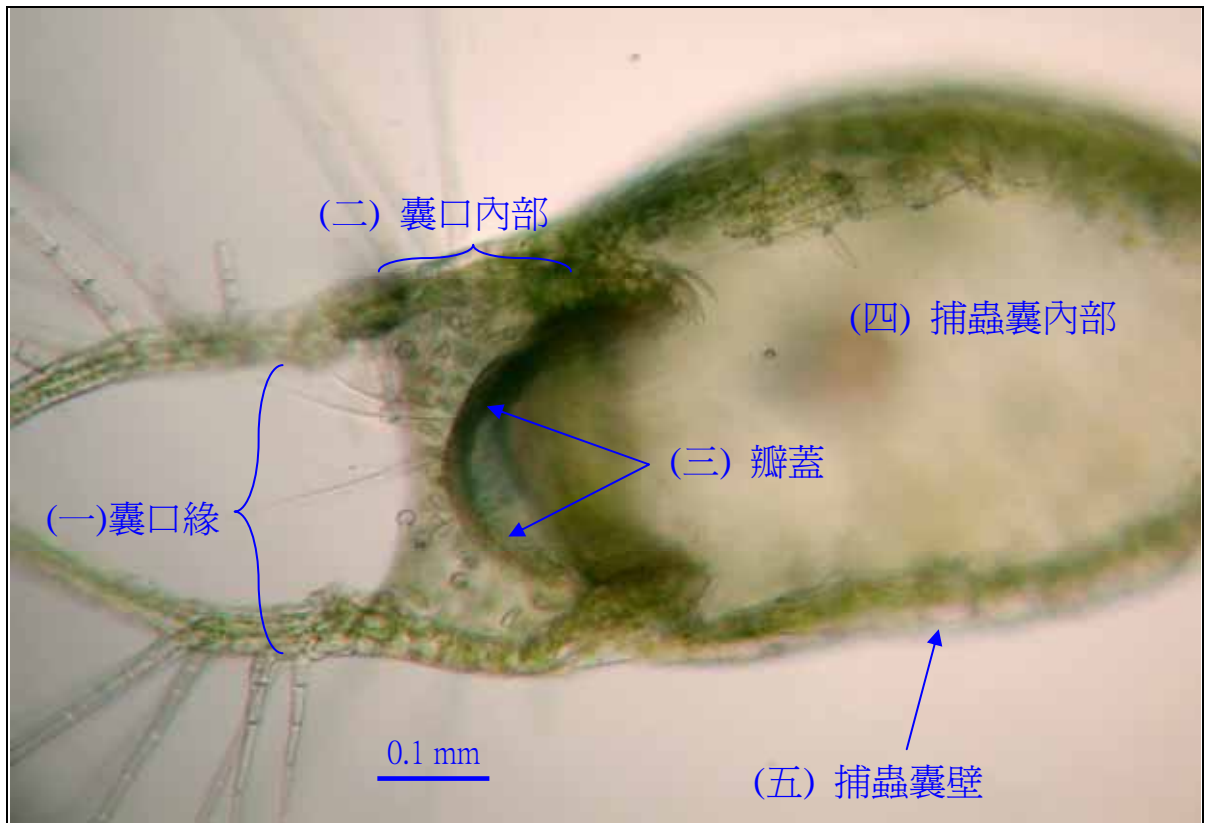


圖 25 捕蟲囊內部結構

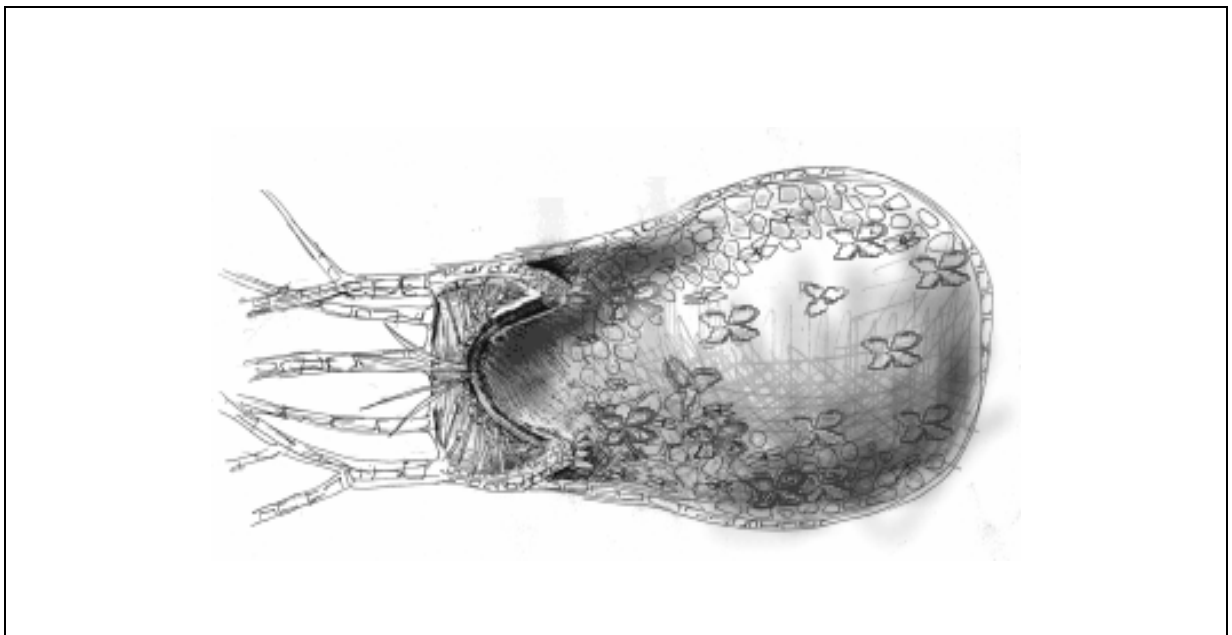


圖 26 手繪捕蟲囊剖面圖

1. 捕蟲囊囊口：(圖 27)

- (1). 天線細枝：在囊口邊緣，由捕蟲囊背部延伸而來，如甲蟲類觸角，內含葉綠體，有分枝(圖 28、30)。
- (2). 一般細枝：位於天線細枝間的透明狀毛，5 支(圖 29、31)，可用來吸引水中生物或阻擋雜物流入囊口。
- (3). 觸發毛的頂端：囊口緣可見到四支觸發毛的頂端(圖 32)。

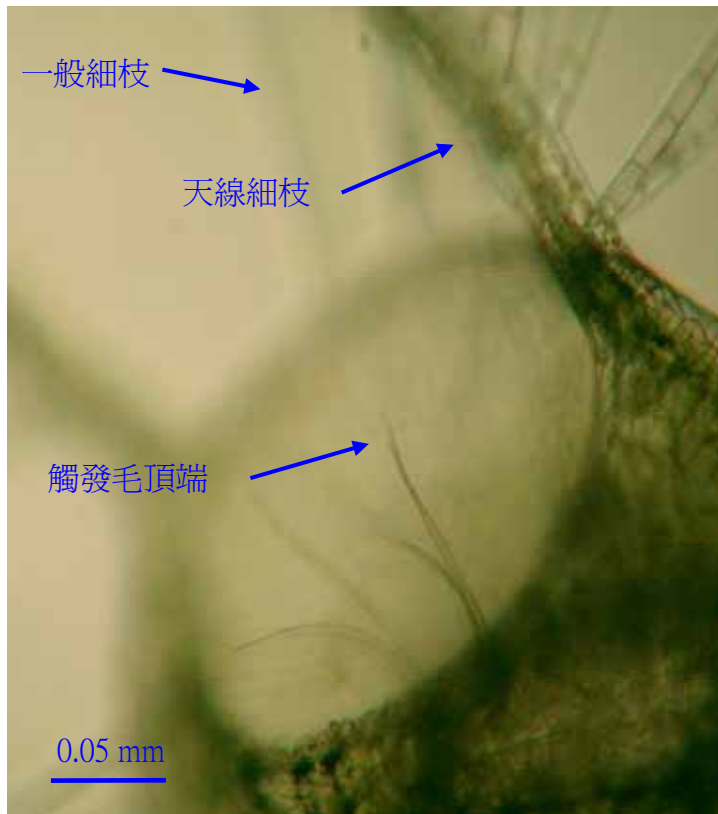


圖 27 捕蟲囊囊口緣

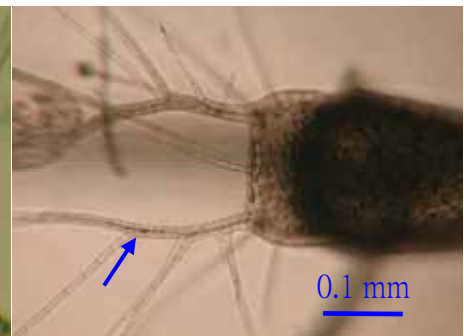


圖 28 天線細枝

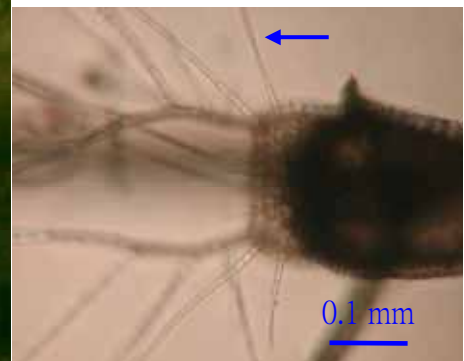


圖 29 一般細枝

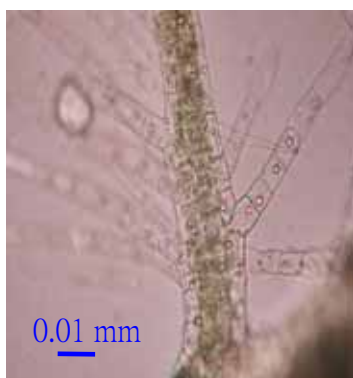


圖 30 天線細枝(放大)

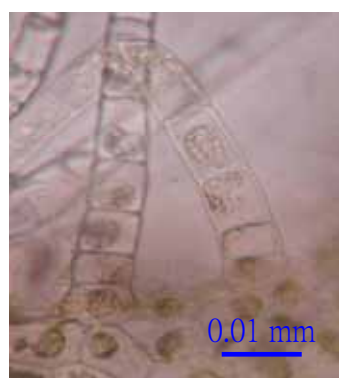


圖 31 一般細枝(放大)

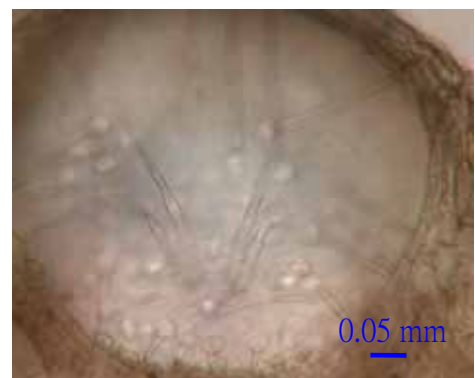


圖 32 觸發毛的頂端

2. 囊口內部：內壁佈滿腺毛(圖 33)，腺毛具長柄、燈泡狀頭部(圖 34)；越接近瓣蓋，柄越短，頭部呈橢圓形(圖 35、36)。

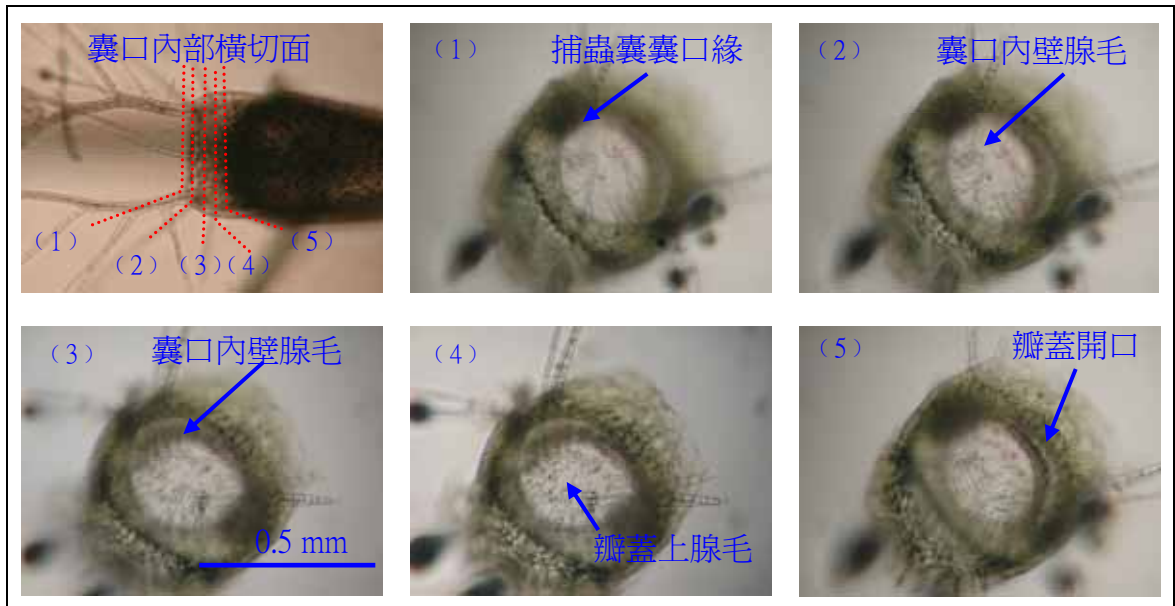


圖 33 從囊口緣到瓣蓋之間的不同剖面 (1)~(5) 的腺毛



圖 34 長柄燈泡狀的腺毛

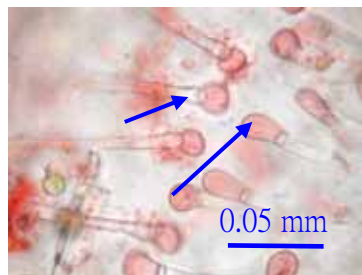


圖 35 燈泡狀及橢圓形頭部的腺毛

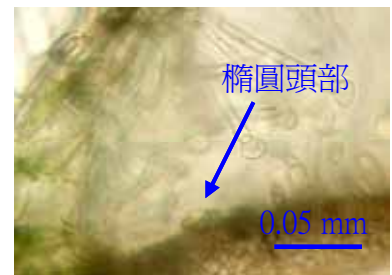


圖 36 橢圓頭部的腺毛

3. 瓣蓋及觸發毛：瓣蓋為單層細胞(圖 37)，位於囊入口處，其下緣光滑平整與囊的頸部密合，上有四支觸發毛(圖 38)，當觸發毛被碰觸時，瓣蓋即向內打開，且立刻閉合。瓣蓋上有短柄腺毛，邊緣有橢圓形的細胞(圖 39)。

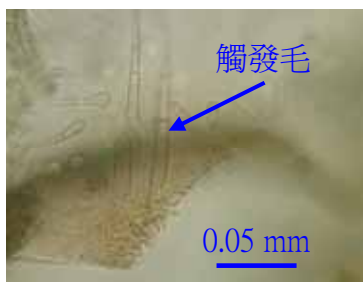


圖 37 單層細胞的瓣蓋

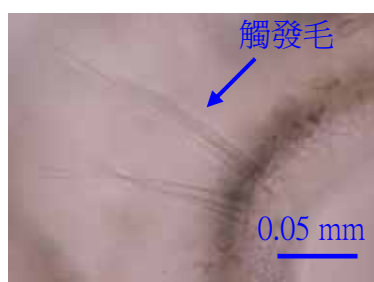


圖 38 瓣蓋上觸發毛

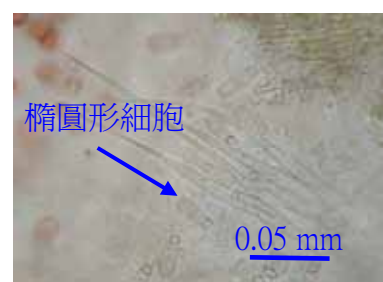


圖 39 瓣蓋上橢圓形細胞

4. 捕蟲囊內部：

- (1). 二爪腺毛：分佈在瓣蓋開口下方，可阻擋小生物從此處爬出(圖 40、41)。
- (2). 三爪腺毛：文獻上無相關資料，可能為四爪腺毛的變異(圖 42、43)。
- (3). 四爪腺毛：平均分佈在內壁上，長軸與捕蟲囊細胞走向平行。每一長臂略呈三角形，分成兩邊(一邊兩瓣)(圖 44、45)。由四個長臂細胞結合在一短柄上，並固定於內壁細胞(圖 45)。

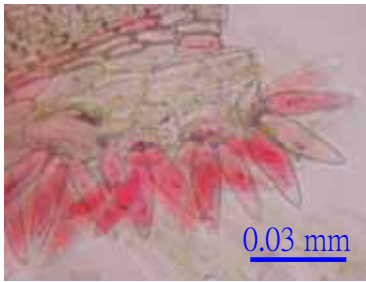


圖40 二爪腺毛(中性紅染色)



圖 41 二爪腺毛

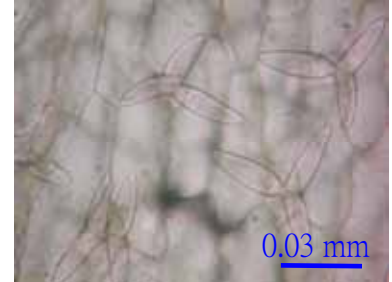


圖 42 內壁三爪及四爪腺毛

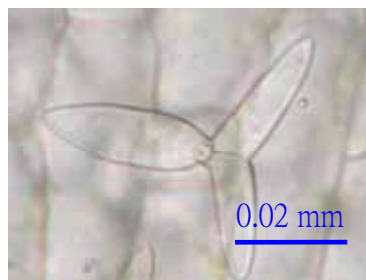


圖 43 三爪腺毛

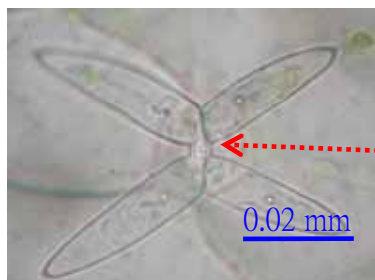


圖 44 四爪腺毛

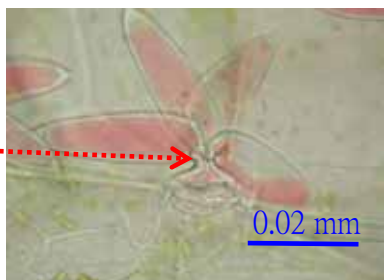


圖 45 四爪腺毛(有短柄)

5. 捕蟲囊壁：由二層細胞所構成(圖 46)，外層為扁平多角形，間隙有顆粒狀細胞，臆測為鞏固作用或擔任囊壁內外物質的交通橋樑(圖 47)。內壁細胞較小(圖 48)，上面佈滿了四爪腺毛。

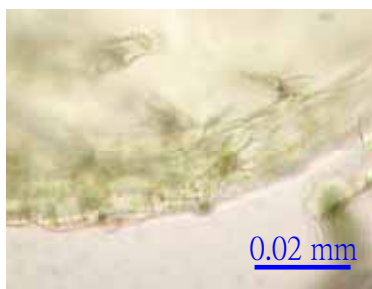


圖 46 捕蟲囊壁

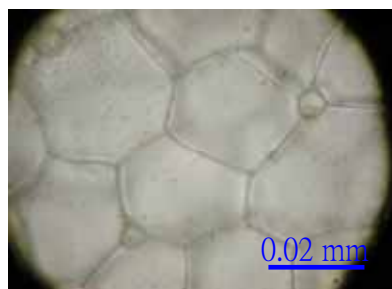


圖 47 捕蟲囊外壁細胞

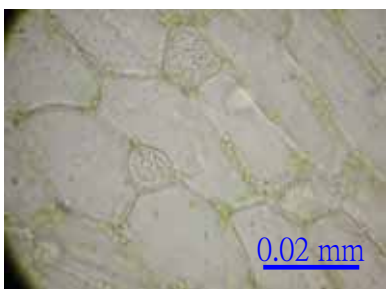


圖 48 捕蟲囊內壁細胞

6. 捕蟲囊內小生物：捕蟲囊內發現的眼蟲，可在囊內活動長達 7~10 天，且數量愈來愈多，像是把捕蟲囊當作繁殖的家(圖 49、50)。

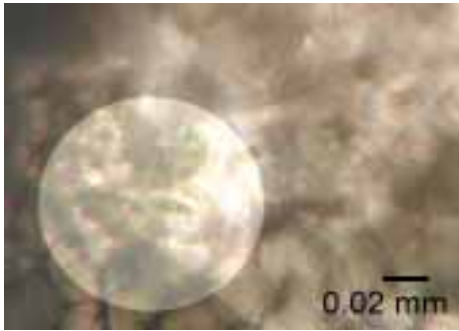


圖 49 囊中眼蟲群落

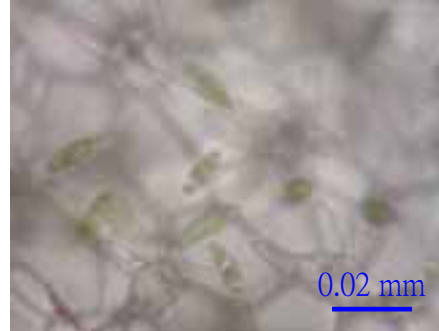


圖 50 囊中的小生物(眼蟲)

三、捕蟲囊捕蟲機制的觀察結果

(一) 靜態觀察

分析不同捕蟲囊收縮前後，根據面積變化估算出他們的體積改變(圖 51-54)。發現捕蟲囊約有 12~25%體積的變化，形成吸入小生物的負壓。

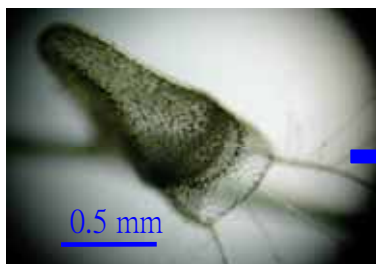


圖51 內凹的捕蟲囊(狩獵期)



圖52 鼓起的捕蟲囊(舒張期)

+25%
體積變化(略估)

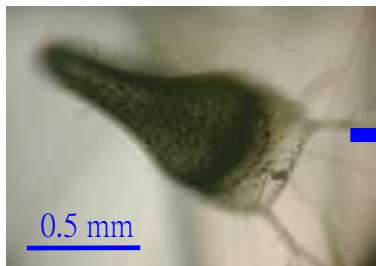


圖53 內凹的捕蟲囊(狩獵期)









圖54 鼓起的捕蟲囊(舒張期)

+12%
體積變化(略估)

(二) 動態觀察 (表 1)

1. 捕蟲囊在捕蟲之前兩側壁是內凹的，保持在負壓狀態。攝錄過程中，拍攝到捕蟲囊瞬間鼓起舒張，顯示水被吸入。全部過程僅 1/30 秒內完成，非常迅速。
2. 分析捕蟲囊活動的影像結果如下（詳細影片請見筆記型電腦檔案畫面）：捕蟲囊瞬間舒張後，再度逐漸形成負壓進入狩獵等待狀態（30~50 分鐘）；無獵物上鈎時，數小時後再自發性的舒張，依(表 1)三個時期反覆進行。

表 1 捕蟲囊捕蟲活動的動態觀察

狩獵期		時間 維持數 小時 ↔	
兩側壁內凹，等待小生物靠近			
瞬間舒張期		1/30 秒內 →	
內縮→膨脹，瓣蓋開啓又關閉，將水吸入			
復原期		30~50 分鐘內 →	
膨脹→內縮，恢復負壓，兩側壁內凹			

3. 推測小生物被吸入的手繪流程圖 (圖 55)。

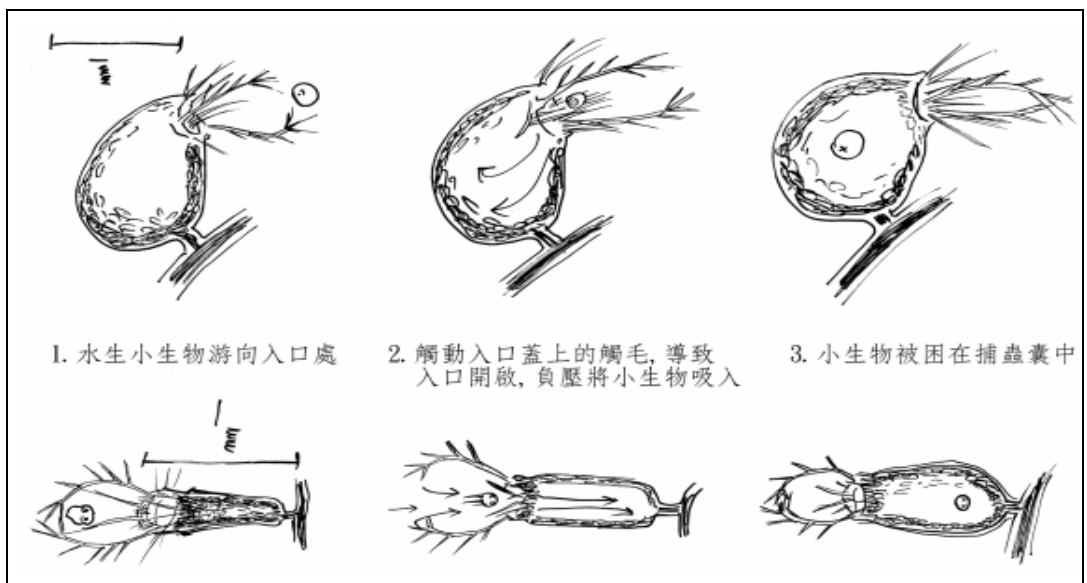


圖 55 捕蟲囊捕捉生物的手繪流程圖 (上)側面 (下)俯視

(三) 討論


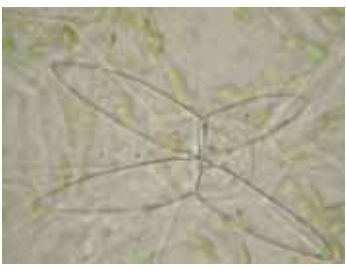




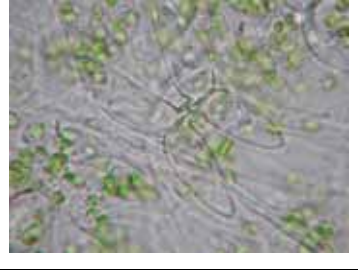








1. 捕蟲囊漂浮在水中，不易捕捉到其兩側凹陷的畫面，我們經過長期不斷的嘗試才得以克服技術上困難，拍攝到精彩畫面。
2. 經過長期的錄影觀察，原先期待可以觀察小蟲子被吸入的實景，卻一直都沒發現。雖然曾懷疑顯微鏡的光源是否太熱或太亮，而改用冷光源，但仍未突破。卻意外發現捕蟲囊會自行舒張後再恢復負壓，這一點是狸藻與其它食蟲植物不同之處。
3. 如何觸發捕蟲囊吸入食用色素，也是一項挑戰。我們曾利用各種材質試圖刺激觸發毛，但總是撥弄到一旁的側枝。最後，我們自製了一支以頭髮綁在竹籤上的探針，最能準確的刺激觸發毛，效果最好。
4. 目前的文獻對捕蟲囊捕食前後體積及壓力的變化均未提到，我們以實例描繪出捕蟲囊從收縮到舒張約有 12~25%的體積變化，形成囊內負壓來吸入水中生物。
5. 整個捕蟲機制是捕蟲囊處於收縮狀態等待生物靠近，一旦生物觸動瓣蓋上的觸發毛，瓣蓋立刻向內打開，因囊內負壓將生物吸入，瓣蓋隨即關閉，在 1/30 秒內完成捕蟲過程。

四、以各種銨鹽溶液探討捕蟲囊內四爪腺毛的消化吸收現象

【想法】：達爾文在 19 世紀曾經將捕蟲囊切開，放在各種不同銨鹽水溶液中浸泡，並在顯微鏡下觀察。當時曾發現到四爪及二爪腺毛內的細胞質有收縮及顆粒產生的現象，因而推論四爪及二爪腺毛具有吸收營養的功能。實驗過程中，達爾文將捕蟲囊切開才浸泡在各種銨鹽溶液中，在這過程中，捕蟲囊已遭到破壞，生理機能也可能受到影響，因此所得到的結果是否能真正代表四爪腺毛的消化吸收作用？或許只是溶液的滲透壓不同而產生的現象？

(一) 以各種銨鹽溶液浸泡後四爪腺毛的變化觀察

將捕蟲囊切開浸在銨鹽溶液內，分別於 8 小時，16 小時及 24 小時後取出，在高倍顯微鏡下觀察四爪腺毛的變化 (表 2)。

表 2 切開捕蟲囊放入各種銨鹽溶液，觀察四爪腺毛的變化			
時間 溶液	8 小時後觀察	16 小時後觀察	24 小時後觀察
硝酸銨 (NH ₄ NO ₃)			
氯化銨 (NH ₄ Cl)			
尿素 UREA (NH ₂) ₂ CO			
碳酸銨 (NH ₄) ₂ CO ₃			
蒸餾水 (對照組)			

(二) 四爪腺毛內細胞質的變化分析 (表 3)

依據細胞質膜變化、細胞質結塊、細胞質內小顆粒加以分析，結果如下 (表 3)：

表 3 四爪腺毛內細胞質的變化									
經過時間	8 小時後觀察			16 小時後觀察			24 小時後觀察		
細胞內 變化 溶液	細胞質 膜變化	細胞質 結塊	細胞質內 小顆粒	細胞質 膜變化	細胞質 結塊	細胞質內 小顆粒	細胞質 膜變化	細胞質 結塊	細胞質內 小顆粒
硝酸銨 (NH ₄ NO ₃)	有	微	有	微	無	一個	有	微	無
氯化銨 (NH ₄ Cl)	有	有	無	有	有	一兩個	有	有	無
尿素UREA (NH ₂) ₂ CO	有(微)	無	微	有	有	有	有	有	有
碳酸銨 (NH ₄) ₂ CO ₃	有	有	少	微	無	部份有 部份沒有	有	有	有
蒸餾水 (對照組)	有	少	少	有	有	有	有	微	無

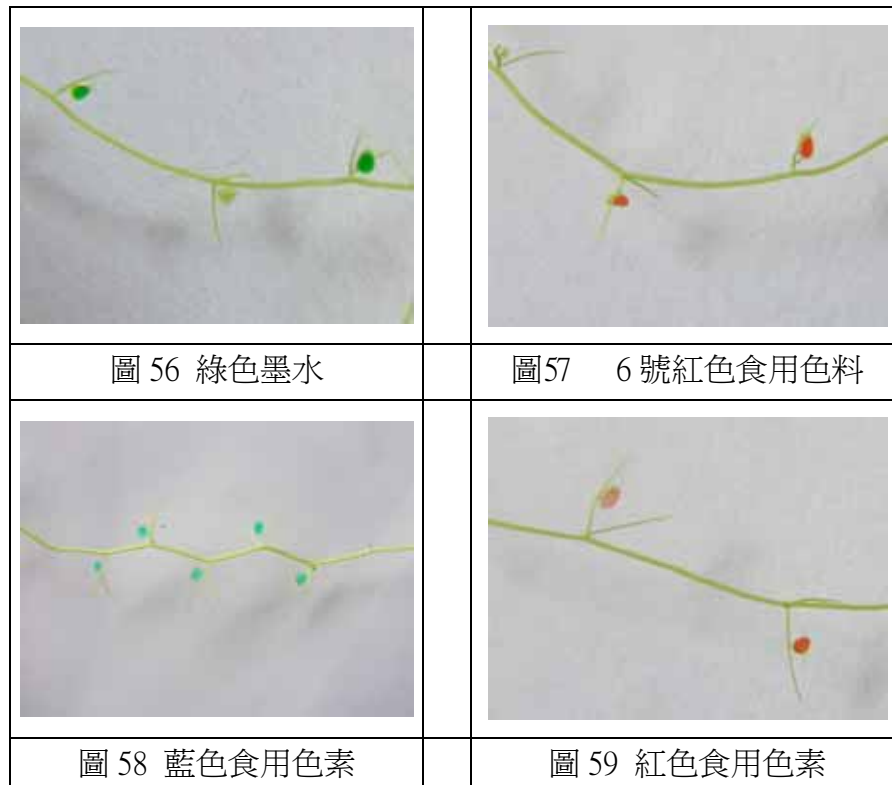
從表 3 中可以發現：切開的捕蟲囊在浸泡後，四爪腺毛細胞質的變化與浸泡過蒸餾水的四爪腺毛並沒有明顯的差異，不能因此證明四爪腺毛具有消化吸收的作用。

五、以各種食用及非食用色素探討捕蟲囊內四爪腺毛的消化吸收功能

【想法】：上述實驗需破壞捕蟲囊，其生理機能可能會受到影響，且浸過各種銨鹽水溶液並無法證實四爪腺毛具有消化吸收作用。我們曾使用食用色素，將洋蔥表皮細胞質染上顏色，在不影響細胞的正常生理下，成功的觀察到細胞質的流動及內含的物質。因此，如果使用不會傷害細胞的食用色素，是否能經由色素的變化或流動，而能看出四爪腺毛的吸收消化功能？

(一) 捕蟲囊吸入各種色素後外觀的變化

1. 捕蟲囊以人工方式刺激瓣蓋張開而吸入綠色墨水（美術用）（圖 56），特級紅色 6 號食用色料（紅龜粿）（圖 57），藍、紅食用色素（蛋糕、彩蛋用）（圖 58、59）。在肉眼之下就可以明顯的看出它們外觀的不同。



2. 在操作捕蟲囊吸入各樣的色素過程中，並沒有難易度上的差異。

(二) 捕蟲囊吸入色素後外觀的持續變化

1. 捕蟲囊吸入綠色墨水（美術用）後，囊內的可色液體並不隨著時間的經過而褪色（圖 60）。



圖 60 捕蟲囊吸入綠色墨水後在不同時間外觀的變化

2. 吸入特級紅色 6 號食用色料，以及藍、紅食用色素的捕蟲囊，則有下列的共同現象：首先，囊內充滿可色液體，隨著時間的變化，顏色逐漸變淡，在 72 小時後，囊內的可色液體幾乎消失。此變淡的過程中，四爪腺毛充滿色素的現象愈趨明顯(圖 61、62、63)，因此我們推測捕蟲囊對食用色素有產生作用。以上的變化則有異於綠色墨水（美術用）(圖 60)。



圖 61 捕蟲囊吸入 6 號紅色食用色料後，在不同時間外觀的變化

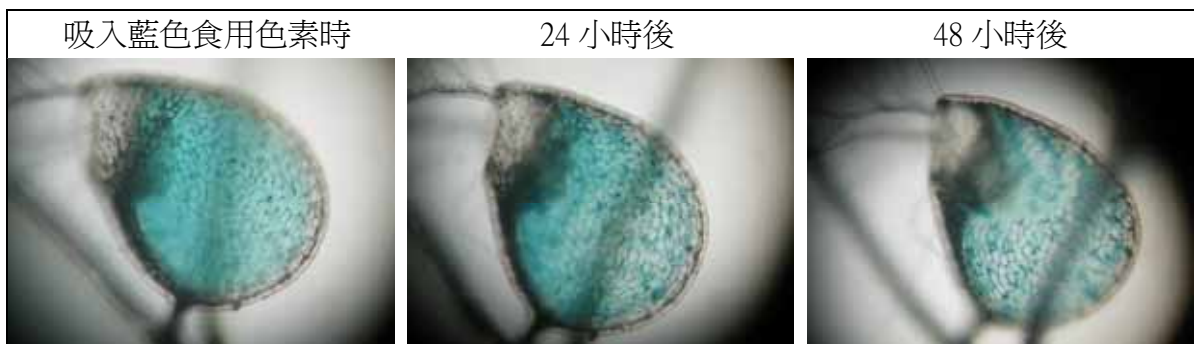


圖 62 捕蟲囊吸入藍色食用色素後，在不同時間外觀的變化



圖 63 捕蟲囊吸入紅色食用色素後，在不同時間外觀的變化

(三) 捕蟲囊吸入色素後囊柄的變化

1. 在觀察捕蟲囊吸入食用色素的過程中，我們亦發現部份捕蟲囊柄在 24 - 48 小時後仍有色素存在，就如同將色素輸送到莖部(圖 64)，很可惜，從莖的外觀上無法進一步觀察到色素流動的現象。



圖 64 捕蟲囊吸入 6 號紅色食用色素後，囊柄內的色素

(四) 捕蟲囊吸入各種色素後囊內四爪腺毛的變化

1. 雖然捕蟲囊吸入綠色墨水（美術用）後，囊內的有色液體並不隨著時間而褪色。但我們驚奇的發現，吸入食用色素的捕蟲囊，則會慢慢變淡，但四爪腺毛會因着上色素而更為明顯。因此在好奇心的驅使下，我們分別在捕蟲囊吸入色素後 8 小時，24 小時及 48 小時，切開捕蟲囊，進一步觀察內部四爪腺毛的變化。
2. 8 小時後切開吸入綠色墨水（美術用）的捕蟲囊，發現囊內細胞及四爪腺毛均無吸入綠色墨水。在 24 小時及 48 小時後切開捕蟲囊則可以看到部份的四爪腺毛充滿綠色墨水，顏色深且持續存在，不易消失(圖 65)。

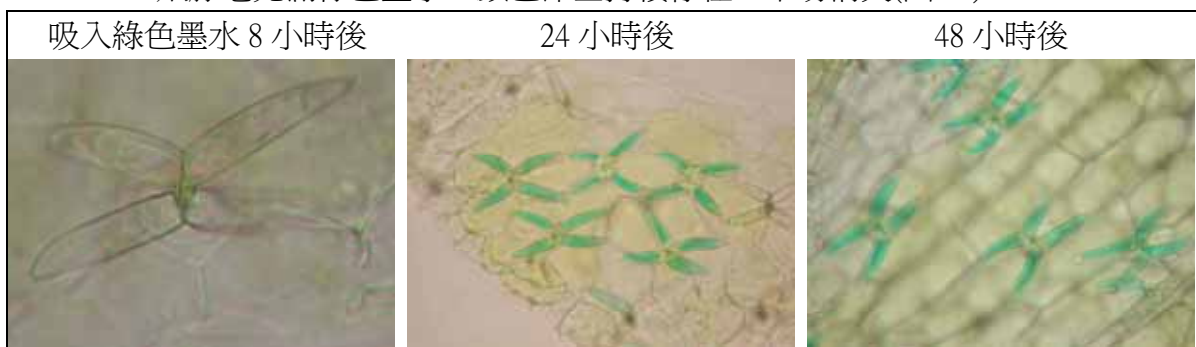


圖 65 捕蟲囊吸入綠色墨水後，囊內四爪腺毛的變化

3. 至於吸入特級紅色 6 號食用色料，以及藍、紅食用色素的四爪腺毛，於 24 小時後切開捕蟲囊時，幾乎所有的四爪腺毛內都充滿色素，但在幾分鐘之內就會消失。而在 48 小時後囊內液體顏色會變淡，四爪腺毛則是充滿色素，接著，腺毛內的色素也有緩慢消失的現象(圖 66、67、68)。進一步驗證了捕蟲囊內四爪腺毛對食用色素有消化吸收的作用。上述現象異於綠色墨水的實驗

結果。

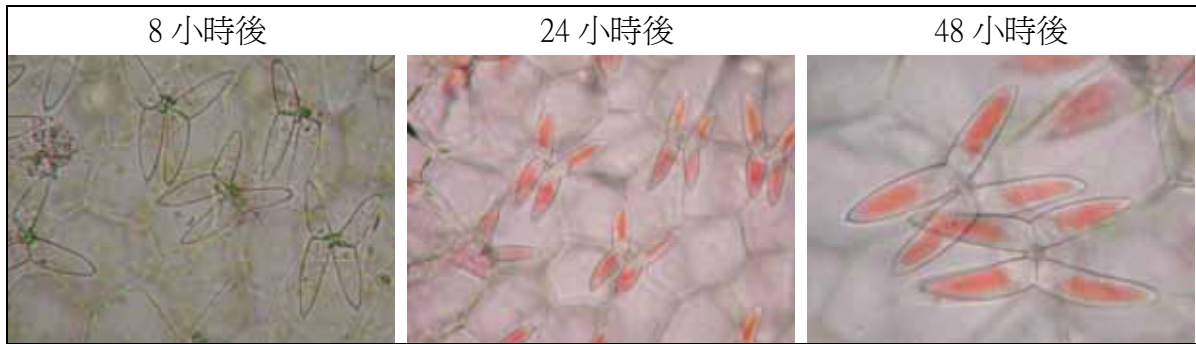


圖 66 捕蟲囊吸入 6 號紅色食用色料，囊內四爪腺毛的變化



圖 67 捕蟲囊吸入藍色食用色素，囊內四爪腺毛的變化

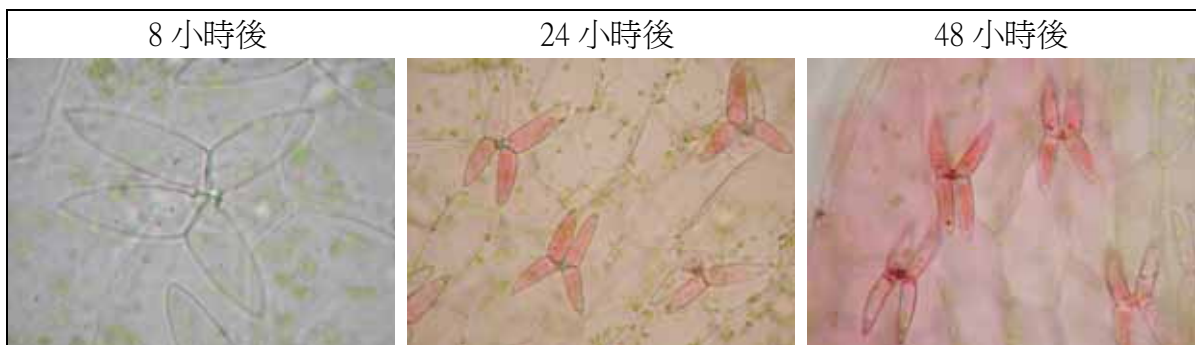


圖 68 捕蟲囊吸入紅色食用色素，囊內四爪腺毛的變化

4. 在四爪腺毛內色素緩慢消失的過程中，從四爪腺毛的側面像(圖 69)可以發現色素流向四爪腺毛的短柄。也反應出捕蟲囊內四爪腺毛對食用色素有消化吸收的作用；相較之下，綠色墨水的實驗中則沒有發現這種現象。

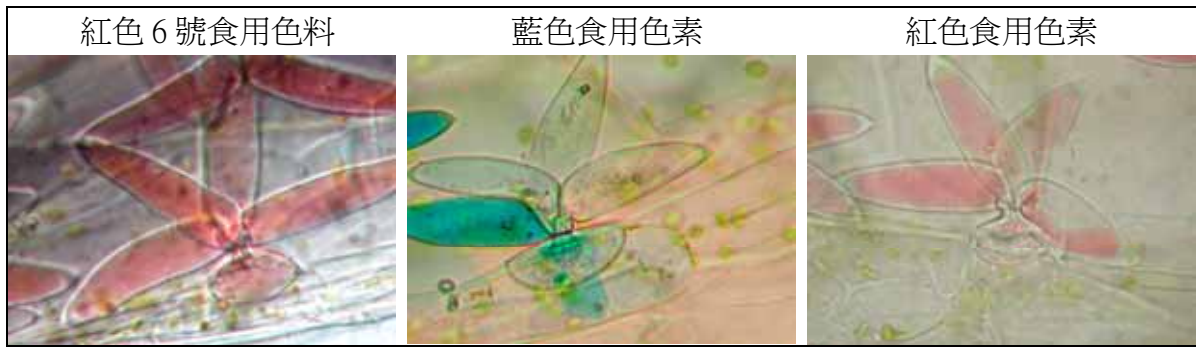


圖 69 食用色素出現在四爪腺毛的短柄內

5. 吸入色素 48 小時後，切開捕蟲囊持續觀察，發現四爪腺毛內的色素在數分鐘內向細胞中間聚縮成團，顏色也逐漸加深，之後慢慢膨脹且顏色變淡，最後色素全部消失，歷程約 2 小時(圖 70、71)。

細胞質內液胞的紅色食用色素消失過程(圖片依序是由左至右，由上至下)

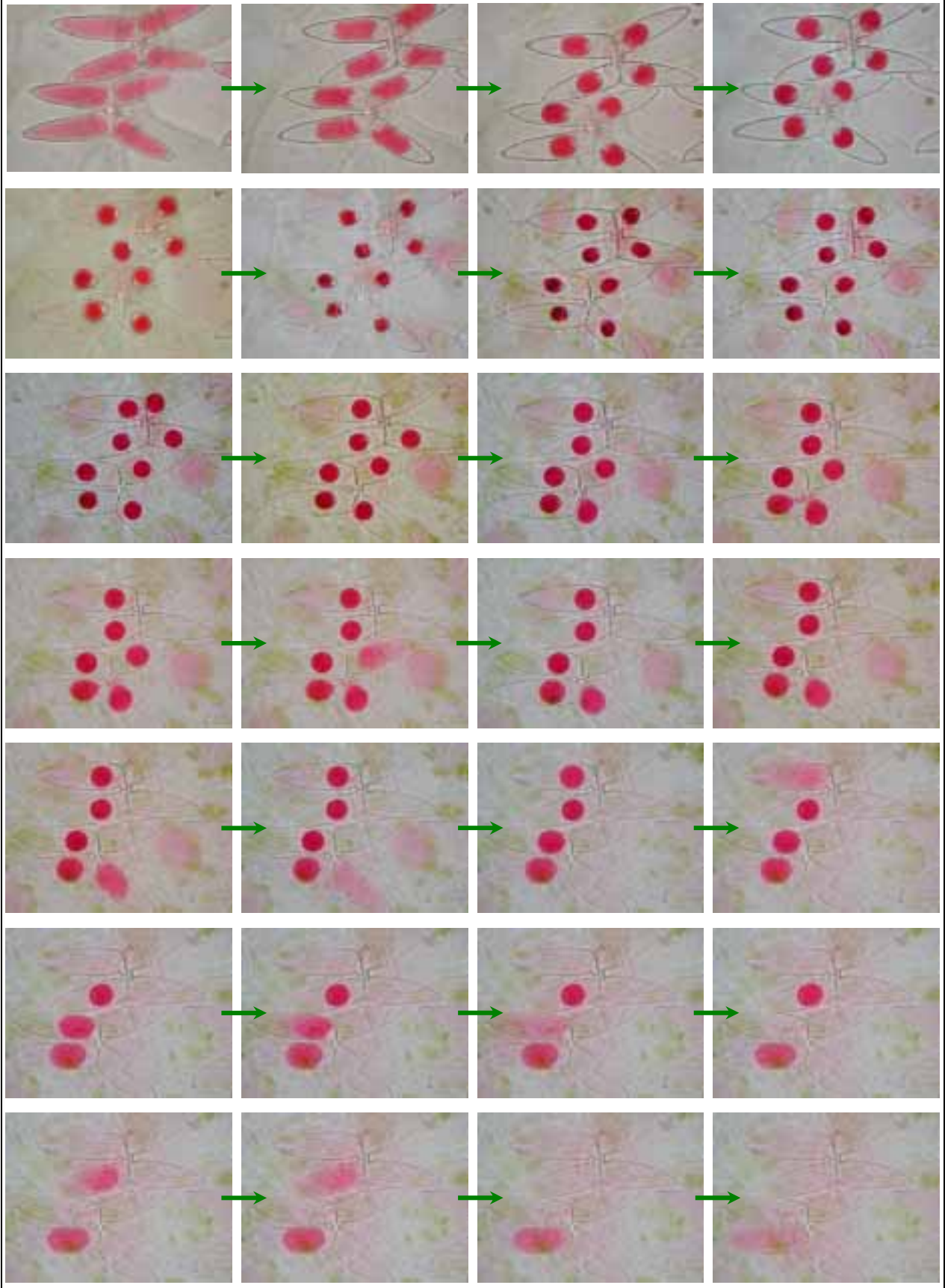


圖 70 囊內的四爪腺毛中細胞質充滿紅色食用色素，從內縮到消失的過程

細胞質內液胞的藍色食用色素消失過程(圖片依序是由左至右，由上至下)

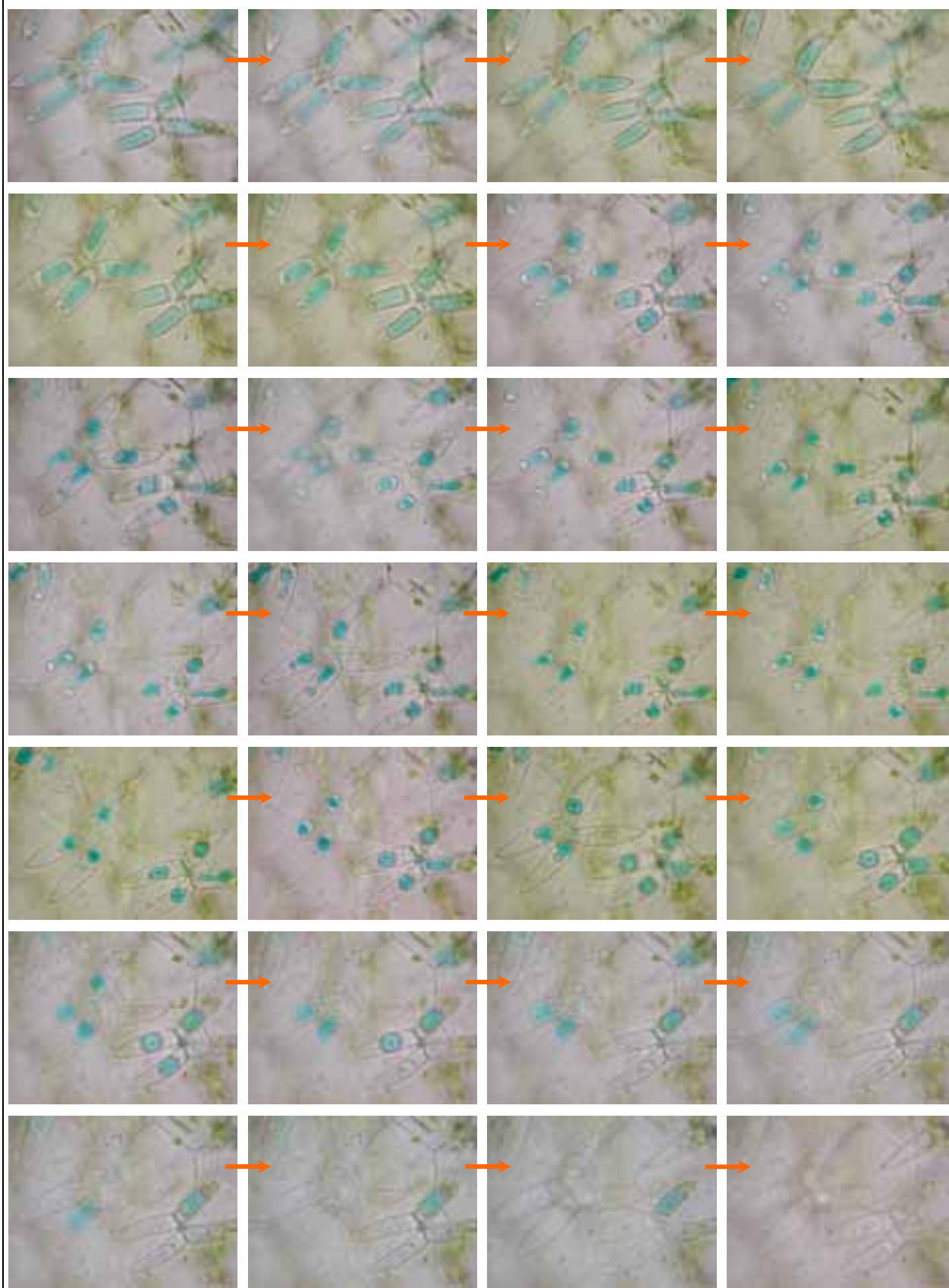


圖 71 囊內的四爪腺毛中細胞質充滿藍色食用色素，從內縮到消失的過程

6. 我們加以觀察分析，發現同一個捕蟲囊中腺毛內四個液胞的色素，分別會在不同時間消失。例如：

細胞質內充滿紅色食用色素液胞消失的順序是：

A1→A2→B1→B2→A3→B3→A4→B4 (圖 72)

藍色食用色素的液胞，消失的順序則是：

C2→D2→C1→D4→D3→C3→C4→D1 (圖 73)

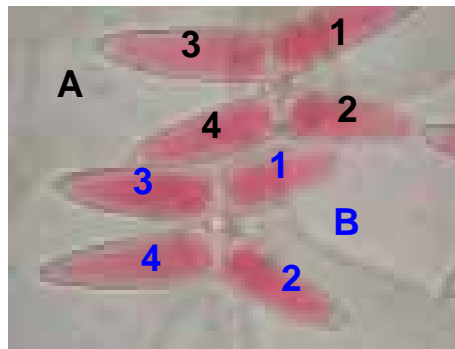


圖 72 細胞質內紅色色素消失圖示



圖 73 細胞質內藍色色素消失圖示

7. 討論

- (1). 在充滿食用色素的培養皿中操作，不易確定捕蟲囊是否吸入染料，但反覆操作熟練之後，便可以判別色素湧入囊內與否。
- (2). 曾有學者利用酵素螢光染色法，證明四爪腺毛中磷酸酵素的成份，這也說明了四爪腺毛的消化作用。在實驗室中如何以簡單的方法證明呢？經過多次嘗試，試圖以各種染料來進行實驗，發現一般染色用的染劑，例如中性紅，對植物細胞會產生傷害甚至死亡而無法繼續實驗。
- (3). 我們也嘗試以天然的色素做實驗，如：萃取火龍果的紫色汁液，發現捕蟲囊即使以人工方式刺激也不會打開瓣蓋而吸入色素，推測是果汁內含多量的鉀離子或鈣離子，影響了捕蟲囊吸入液體的舒張動作。最後以食用色素才有突破的進展，進一步更觀察到四爪腺毛細胞質液胞吸收消化色素的現象。

陸、結論

台灣絲葉狸藻適合生長在陽光日照充足、水質清澈未受污染、有其他魚類及水生植物共同生活的地方，但由於生活環境逐漸遭到破壞，臺灣狸藻的數量及種類已有減少的趨勢。狸藻是唯一的水中食蟲植物，因此，不論在生態環境、或生物學上均有重要的意義。希望藉由本次的研究探討，能喚起大眾對狸藻的注意，並加以珍惜及保育。

絲葉狸藻(*Utricularia gibba*)為台灣本土水生食蟲植物。無根，整簇浮於水面。主要構造為一長莖，每隔 1.0~1.5 cm，兩旁會長出 V 型絲狀葉。生長速率約為 1.56 cm /day，長可達 20~30 cm。花高出水面，黃色無味，花期約 3 天。葉片旁會長出捕蟲囊，能捕食水中的小生物。

捕蟲囊發育完全需 10 天，大小約 0.3~1.0 mm。捕蟲囊囊口內壁及瓣蓋上有數種不同形態的腺毛。囊口壁腺毛具長柄、頭為燈泡狀；愈往內部柄愈短，頭部略呈橢圓形。囊的頸部佈滿二爪腺毛，而囊內充滿四爪腺毛及少量三爪腺毛。查閱文獻資料均未提到此三爪腺毛。

捕蟲囊入口邊緣頂端有兩支天線般的細枝，是由捕蟲囊的主體延伸而來。另有較小的細枝，可能用來吸引水中生物或阻擋雜物流入捕蟲囊。在入口瓣蓋上有細小的觸發毛，當捕蟲囊處於收縮狀態，小生物碰觸到觸發毛，捕蟲囊的瓣蓋立即向內打開，吸入小生物，1/30 秒內即可完成捕捉過程。約 30~50 分後逐漸形成負壓等待下一次的捕食；即使沒有捕捉到水中生物也會有自發性舒張，這種自發性舒張解除囊內壓力的方式不同於其他食蟲植物。

利用各種簡單的食用色素可以顯現捕蟲囊的消化吸收行為，而捕蟲囊對綠色墨水(美術用)並不產生消化作用，使得囊內的有色液體持續存在。相反的，捕蟲囊對於特級紅色 6 號食用色料，以及藍、紅食用色素，則產生消化作用。隨著時間的經過，捕蟲囊內顏色逐漸變淡，72 小時後則全部消失。在顯微鏡下可以觀察到捕蟲囊內四爪腺毛吸入食用色素的整個消化吸收過程。

柒、參考資料

- 一、2000 洋蔥表皮細胞質流動的觀測及影響變因之探討 高雄市第四十屆中小學科學展覽會 國中組生物科 作品說明書
- 二、2004 台灣本土水生食蟲植物—絲葉狸藻的囊裡乾坤 第四十四屆全國中小學科學展覽會 國中組生物科 作品說明書
- 三、楊遠波 1999 台灣維管束植物簡誌 第四卷 狸藻科 台北 行政院農業委員會 p193~p194
- 四、Darwin, CHAPTER XVII ◦ UTRICULARIA ◦ Insectivorous plants. New York, D. Appleton & Co., 1875 ◦ From The writings of Charles Darwin on the web by John van Wyhe Ph.D.
<http://pages.britishlibrary.net/charles.darwin3/insectivorous/insect17.htm>
- 五、Yi-Shan Chao ◦ A Taxonomic Study on Lentibulariaceae of Taiwan
http://etd.lib.nsysu.edu.tw/ETD-db/ETD-search/view_etd?URN=etd-0128104-235544
- 六、Dagmara Sirová , Lubomír Adamec and Jaroslav Vrba 2003 ◦ Enzymatic activities in traps of four aquatic species of the carnivorous genus Utricularia ◦ New Phytologist (2003) 159: 669 –675
www.newphytologist.com