

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高級中等學校組 植物學科

佳作

052106

水中黑洞-絲葉狸藻捕蟲囊之探討

學校名稱：國立潮州高級中學

作者：  高二 莊惟婷  高二 陳馬琇  高二 賴安琦	指導老師：  楊勝惠  林燈烟
---	-----------------------------

關鍵詞：狸藻、捕蟲囊、腺毛

## 摘要

本研究主要是觀察絲葉狸藻(*Utricularia gibba*)葉子特化的捕蟲囊觸發運動之影響因子，還有吸收物質的情形。結果發現此種狸藻捕蟲囊的表皮細胞主要有兩種細胞型態，分別為分布在內外表皮基部的四爪腺毛與半球型腺毛。因此，雖然其缺乏根部吸收功能，但是狸藻捕蟲囊具有輔助吸收養份的功能，水份主要由四爪腺毛基部進入至細胞內，再由內而外開啟的半球型腺毛排除。此外，我們觀察到含氮物質吸收較快，甘油與葡萄糖較慢，兩者的路徑也有差異，另外，我們也發現光照時間與照不同色光，以及在不同溫度下，對捕蟲囊的觸發運動會有不同程度的影響。若能對狸藻捕蟲囊構造更加了解，將可用於生物防治法減少孑孓病媒蚊孳生，或應用於仿生生物學開發負壓捕蟲的工具。

## 壹、研究動機

食蟲植物能藉著特殊的捕蟲運動，捕食小生物如昆蟲等，消化及吸收來補充氮或磷的來源，類似動物的行為反應與生理機制。因為看到學長姐研究了陸生捕蟲植物，引起我們對於水中捕蟲植物好奇，進而開始研究狸藻。本篇所探討的絲葉狸藻是台灣本土的物種，具有捕蟲囊的水生食蟲開花植物，因為其捕食速度為食蟲植物中最快，而有水中吸塵器之稱，能捕食孑孓等昆蟲幼蟲。另外，在現今水質污染日益嚴重的自然環境下狸藻已經逐漸稀少，我們希望透過對它們的認識與瞭解，增進野外復育與繁殖的成功機會，進而將它運用在登革熱等相關疾病的預防上。

## 貳、研究目的

### 一、目的

1. 探討絲葉狸藻捕蟲囊的觸發運動、負壓捕蟲的組織構造。
2. 探討狸藻捕蟲囊對水及各種化學物質的吸收路徑與比較。
3. 狸藻的捕蟲運動是否受到環境中的理化因子，如光照時間、不同色光及溫度等影響。

## 二、相關資料

狸藻屬(*Utricularia*)，為食蟲植物中品種數量最龐大，分布最廣的一屬，種類超過兩百種，除了南極洲，幾乎所有大陸州都有狸藻屬植物的存在。大部分生活在平靜無波的靜水域(如池塘、湖泊等)、溼地、或熱帶雨林長滿苔蘚的樹幹上。其中絲葉狸藻(*Utricularia gibba*)屬於多年生小型沉水性食蟲植物，無根，大多漂浮於水面。其種名「gibba」來源於「gibbus」，意為「峰，隆起」，指其膨大的花冠下唇。能行光合作用，且有特殊捕蟲囊，捕捉水中孑孓、水蚤等小生物，以補充貧瘠環境中缺乏的營養元素，如氮(維基百科 <https://zh.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>)。

### (一)構造觀察:

#### 1. 莖、葉、花、果實(維基百科 <https://zh.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>)

- (1)莖：水生草本，莖絲狀稍捲曲，匍匐泥中或浮於水面，光滑無根。
- (2)葉：葉片細絲形，長0.5-1公分，特化的捕蟲囊位於莖及葉上。
- (3)花：花黃色無味，總狀花序直立挺出水面。花期為6-12月。
- (4)果實：果實球形蒴果，種子橢圓形具波狀翅緣。果期為7-12月。

#### 2. 捕蟲囊

外觀成歪卵狀，囊口及囊內皆有腺毛，表皮有葉綠體故平時成綠色，囊內有獵物時則呈深色。囊壁有裡外兩層，外層細胞成多角狀，部分葉綠體散佈其中，部分圍繞著細胞壁四周，內壁細胞布滿各種協助消化的腺毛(圖1為狸藻屬圓葉挖耳草)(謝等人，2011)。



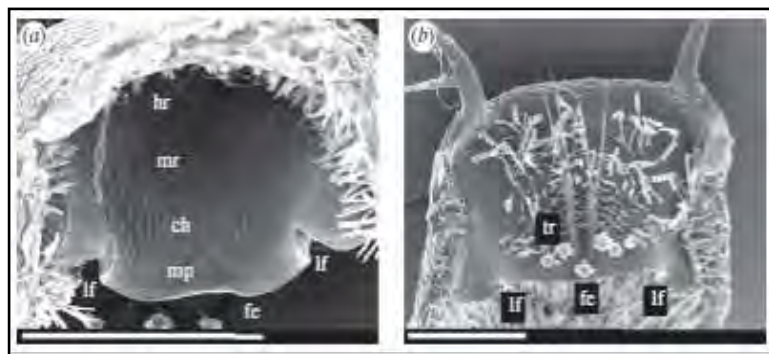
(圖1)

- (1)捕蟲囊囊口：天線細枝(從捕蟲囊口延伸出來，內含葉綠體，有分支)、一般細枝(位於天線細枝間的透明狀毛，5支，可用來吸引水中生物或阻擋雜物流入

囊口)。

(2)捕蟲囊內：二爪腺毛(分佈在瓣蓋開口下方，可阻擋小生物從此處爬出)、三爪腺毛、四爪腺毛(平均分佈在內壁上，每一長臂略呈三角形，分成兩邊，一邊兩瓣，由四個長臂細胞結合在一短柄上，固定在內壁細胞上)(圖 2)。在捕蟲囊內壁可以用螢光染色方式染磷酸酶蛋白的位置，結果可觀察到四爪腺毛上有螢光反應。可得知磷酸酶的分泌處(即囊內消化細胞)應在四爪腺毛上 (洪等人，2009；Sirová 等人，2003 )。

(3)捕蟲囊瓣蓋：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，當觸發毛被碰觸時，瓣蓋即向內打開，且立刻閉合。



(圖 2)

下圖為 *U. vulgaris*(普通狸藻)在開口處的瓣蓋構造，由內向外看(圖 2a)與由外向內看(圖 2b)。ch 為中央頁，hr 為合頁區，mp 為中央塊，if 為側折邊，fe 為游離邊，tr 為觸發毛 (Vincent 等人，2011)。

(4)捕蟲囊外壁：半球形腺毛。

(5)囊內生物：囊內有不少眼蟲(e. g. *Euglena*)，約有數百至上千隻個體，牠們大多活動力佳，能到處游動，可生存 7-10 天。有文獻認為眼蟲在囊內會競爭有限的營養源，且似乎不利於囊的生長，故應為寄生作用(蘇，2013)。

### 3. 絲葉狸藻的吸收方式：

捕蟲囊的構造精密卻不複雜，消化吸收主要靠囊內壁上的四爪腺毛。可用對細胞無害的食用色素，以 1：15 的比例調配成 20 ml 的有色蒸餾水溶液放於培養皿中。將狸藻株放入培養皿，在解剖顯微鏡下以自製頭髮探針刺激觸發毛，使捕蟲囊吸入食用色素。取出狸藻，清水中洗掉外表的食用色素，靜置於清水中觀察並記錄。不同時間手工解剖捕蟲囊，放在複式數位照相顯微鏡下觀察，可清楚看出

四爪腺毛細胞質內的有色物質的變化。因此發現食用色素不但成本低，且較螢光染劑有更多的優點，如觀察時間較不受限制等，非常適合用來研究捕蟲囊吸收物質的共質體路徑(莊，2004；莊和莊，2006)。

#### 4. 狸藻捕蟲囊食物來源

近來維也納大學研究團隊分析了八個不同地區(包括泥炭沼澤、湖與人工池塘)、三個不同種類(分別是南方狸藻 *U. australis*、普通狸藻 *U. vulgaris* 與細葉狸藻 *U. minor*)、共兩千個捕蟲囊的內涵物。結果發現，只有 10% 的捕蟲囊內有小動物；50% 的捕蟲囊內有藻類、植物的花粉(許多來自於水邊的陸生植物)；其他 40% 則是真菌的菌絲、苔蘚的葉狀體以及土壤顆粒。過去一直以為狸藻是肉食性植物，維也納大學的發現，讓大家了解到，或許我們該改稱狸藻為雜食性植物(omnivorous plants)(Koller-Peroutka 等人，2015)。

## 參、研究設備與器材

### 一、實驗器材：

培養皿(個)、燒杯(數個)、保鮮膜(一捲)、鑷子(支)、解剖刀、解剖針(支)、刀片(數片)、蓋玻片(數片)、載玻片(數片)、滴管(數支)、手套(數雙)、解剖顯微鏡(一台)、光學複式顯微鏡(一台)、數位顯微鏡(一台)、桌上型掃描式電子顯微鏡(TM3000)、手提電腦、絲葉狸藻(數十株)。樹脂包埋材料：切片機、玻璃刀、玻片、烘箱。色光罩：竹篾、玻璃紙、橡皮筋(數條)。自製睫毛探針：三秒膠、睫毛(數根)、竹籤(數支)。LED 燈(白、紅、綠、藍)、恆溫循環水槽。離心機、離心管、紗布、研磨機、微量吸管、分光光度計。

### 二、實驗藥品：

甲基藍染劑、碘液、水溶性食用色素(數瓶)、95% 酒精。樹脂包埋材料：福馬林固定液、丙酮、樹脂、Toluidine blue 染劑。硝酸鉀、甘胺酸、丙三醇(甘油)、葡萄糖。0.5M 蔗糖溶液、DCPIP。

## 肆、研究方法與過程

### 一、探討絲葉狸藻捕蟲囊的構造

1. 採集新鮮捕蟲囊放置於掃描式顯微鏡載檯下，觀察並拍照。
2. 將捕蟲囊以固定液浸泡 3 天，再用酒精序列脫水、丙酮置換後，用樹脂浸泡包埋樣本，以烘箱 12 小時製作樹脂樣本塊，再用切片機以玻璃刀切取 1 微米之厚度，置於玻片上染色後觀察。過程如下：

(1) 固定液：10% formalin 24h

(2) 緩衝液清洗(0.1M PB)2-3 次(4°C)

A 液：0.2M NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> H<sub>2</sub>O (acid)=137.99×0.2=27.598g/L

B 液：0.2M Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> (base)=141.96×0.2=28.392g/L

A=23ml, B=77ml 混合為 0.2M PB(pH=7.3)

(3) 緩衝液清洗 4 次(0.1MPB), 15min(室溫)

(4) 酒精脫水:30%, 50%, 70%, 80%, 95%, 100%各 30min

(5) 樹脂包埋

Acetone 100% 30min

Acetone/Spurr' s resin=3:1 30-60min

Acetone/Spurr' s resin=1:1 30-60min

Acetone/Spurr' s resin=1:3 30-60min

Spurr' s resin(室溫) 1-3hr

新配 Spurr' s resin 包埋用，小心避免氣泡，置入 70°C 烘箱中 12hr。

(6) 烘乾後的切片再用 1% 甲苯氨藍(Toluidine blue)染色 1min

1% Toluidine blue 25ml=0.25g Sodium borate + 25ml ddw + 0.25g Toluidine blue

3. 將新鮮捕蟲囊以亞甲藍液及碘液染色，置於顯微鏡下觀察其變化。

## 二、探討絲葉狸藻捕蟲囊吸收水分、有機物及無機鹽的路徑

1. 將硝酸鉀、葡萄糖、甘油、甘胺酸等物質分別加入逆滲透水調製成 5% 的水溶液，再將溶液與紅色食用色素以 4:1 比例混合調製。
2. 每組取出 3 顆捕蟲囊，在解剖顯微鏡下，以自製睫毛探針觸發，使其分別吸入上述 5 種溶液。
3. 將狸藻浸入清水洗去多餘紅色色素，後靜置裝有逆滲透水的燒杯。
4. 放在距日光燈管 30 公分處 24 小時照光。
5. 每隔兩小時觀察並記錄一次。

## 三、探討不同色光對絲葉狸藻的捕蟲運動之影響

### 1. 自然光週期：

(1) 將狸藻分裝玻璃瓶中並放置於窗戶旁，除白光組為對照組外，分別以紅藍色的玻璃紙包圍著，經過一段時間後，放在紅色色素溶液中（水:色素 = 4:1），觀察拍照並測量觸發前後的面積變化率 $\% = (\text{觸發後面積} - \text{觸發前面積}) / \text{觸發前面積}$ 。

(2) 在複式顯微鏡下以 40X 的倍率觀察，以 Motic Images Plus 3.0 軟體量化，測量捕蟲囊的周長及面積的大小變化。每組 10 顆捕蟲囊。以 Excel 軟體作 *t* test 分析， $P < 0.05$ ，以 \* 表示。

### 2. 日光燈管持續光照：

(1) 將狸藻一小株分裝至燒杯中，共三組，分別罩上自製紅、藍色的玻璃色紙光罩，及對照組（不罩色光罩）。

(2) 靜置於距 10W 日光燈管 30 公分處 24 小時照光（圖 3）。



(圖 3)

(3)在第 12、24、48 小時將狸藻分別取出，挑選適當捕蟲囊至於解剖顯微鏡下，用自製睫毛探針刺激捕蟲囊口的觸發毛，使其吸入紅色色素溶液(水:色素=4:1)。

(4)在顯微鏡下以 40X 的倍率觀察，並以 Motic Images Plus 3.0 軟體量化，測量捕蟲囊的周長及面積的大小變化。每組 10 顆捕蟲囊。以 Excel 軟體作  $t$  test 分析， $P < 0.05$ ，以 \* 表示。

### 3. LED 燈泡持續光照：

(1)將狸藻一小株分裝至燒杯中，共四組，分別放置在紅、藍、綠等三種 3W LED 燈泡下，及對照組（放置於白色 LED 燈泡下），24 小時連續照光。



(圖 4)

(2)在第 12、24、48 小時將狸藻分別取出，

挑選適當捕蟲囊至於解剖顯微鏡下，用自製睫毛探針刺激捕蟲囊口的觸發毛，使其吸入紅色色素溶液(水:色素=4:1)。

(3)在顯微鏡下以 40X 的倍率觀察，並以 Motic Images Plus 3.0 軟體量化，測量捕蟲囊的周長及面積的大小變化。每組 10 顆捕蟲囊。以 Excel 軟體作  $t$  test 分析， $P < 0.05$ ，以 \* 表示。

### 四、探討不同溫度對絲葉狸藻的捕蟲運動之影響

(1)將狸藻一小株分裝於大燒杯中並置入恆溫循環水槽，使其維持攝氏 5、12、28、40 及 50 度特定溫度。



(2)在 30 及 60 分鐘時將狸藻分別取出，挑選適當捕蟲囊至於解剖顯微鏡下，用自製睫毛探針刺激捕蟲囊口的觸發毛，使其吸入紅色色素溶液(水:色素=4:1)。

(3)在顯微鏡下以 40X 的倍率觀察，並以 Motic Images Plus 3.0 軟體量化，測量捕蟲囊的周



(圖 5)

長及面積的大小變化。每組 5 顆捕蟲囊。以 Excel 軟體作  $t$  test 分析,  $P < 0.05$ ，以 \* 表示。

### 五、不同色光對光反應效率之影響

(1)取狸藻(約 1 克/組)，置於滴管內，加入 0.5M 蔗糖溶液 1mL，用研磨機磨碎。

(2)以每分鐘 3000 轉離心 3 分鐘後，將上清液去除，滴入 DCPIP 0.3 毫升及 0.5M 蔗糖溶液 1mL。

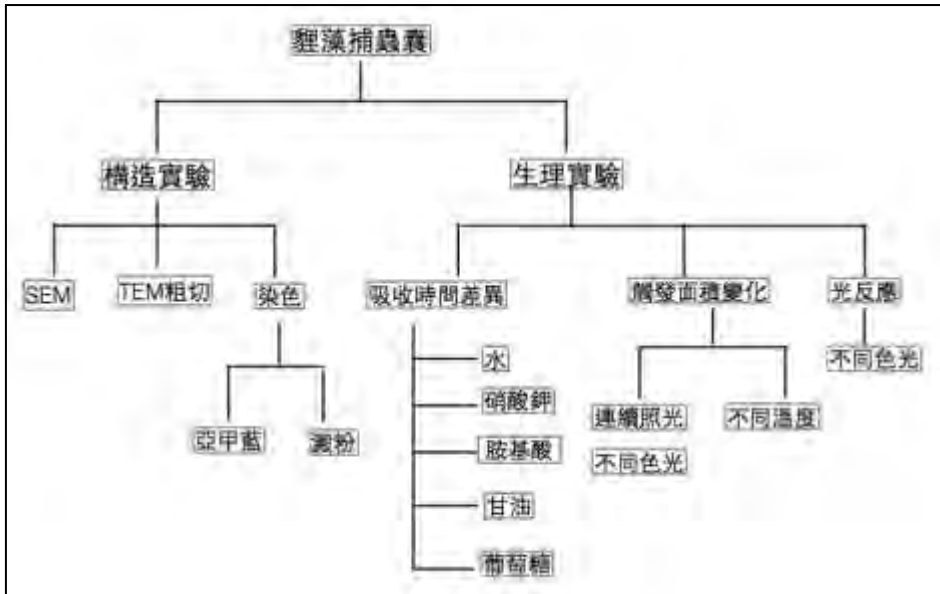
(3)將步驟(2)分別置於紅、藍、綠等四種 3W LED 燈泡下，及對照組(置於白色 3W LED 燈泡下)，靜置 40 分鐘。

(4)40 分鐘後取出同樣以每分鐘 3000 轉進行二次離心 3 分鐘，取上清液利用分光光度計吸收波長 450nm 測量氧化態藍色 DCPIP 的濃度。

(5)希爾反應：檢測光反應效率實驗

光反應產生電子，藉由指示劑反應接受電子，由藍色氧化態(DCPIP)接受電子成為無色還原態DCPIPH<sub>2</sub>

## 伍、實驗架構圖

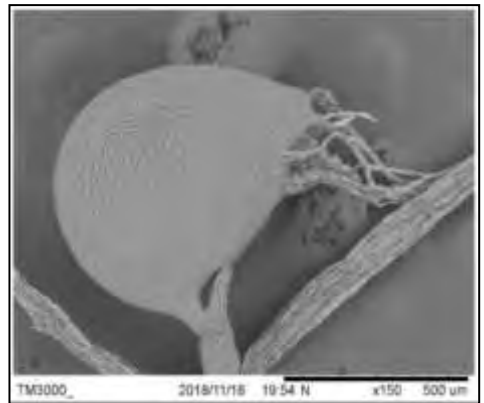


(圖 6)

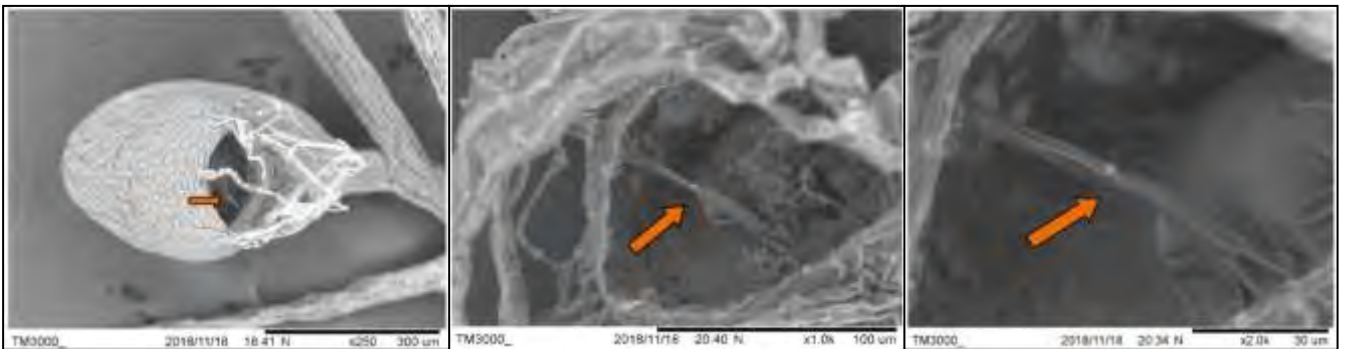
## 陸、研究結果

### 一、探討絲葉狸藻捕蟲囊外部型態

1. 捕蟲囊外觀可見有開口處的天線細枝(圖 7), 開口內有一支支撐瓣膜的觸發毛(圖 8、圖 9、圖 10 箭頭處)。雖然以光學顯微鏡無法直接觀察到, 但推測我們以自製睫毛探針刺激捕蟲囊吸入紅色色素溶液時, 此為一重要觸發點。



(圖 7)

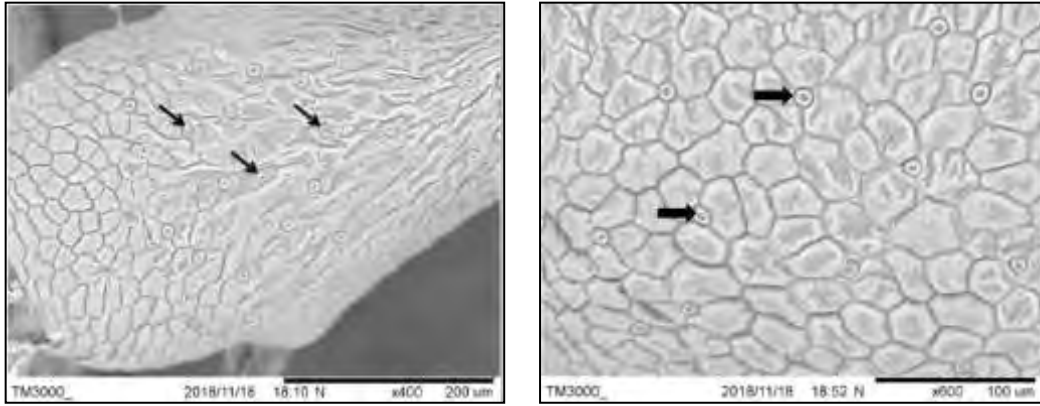


(圖 8)

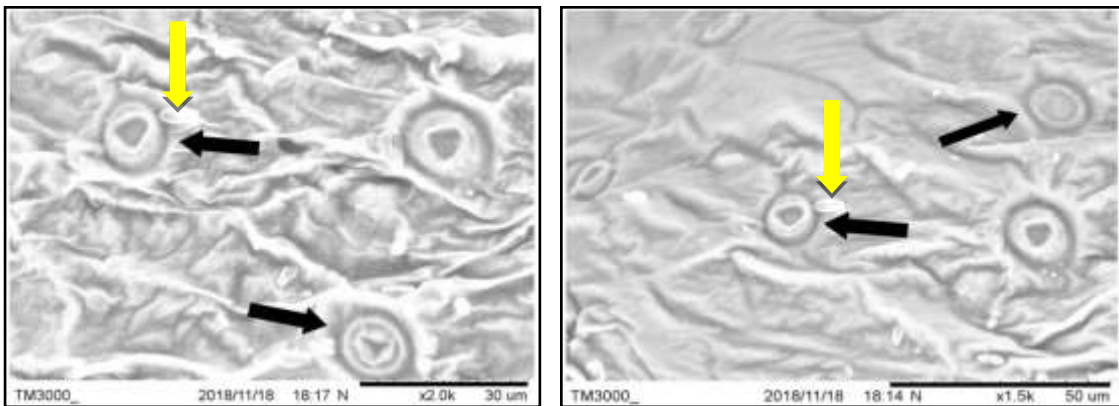
(圖 9)

(圖 10)

2. 在歪卵狀的捕蟲囊袋上，可見許多環型的半球型腺毛，主要是分布於囊袋中央及頂部的位罝(圖 11、圖 12)，在開口處較少，排列方式類似葉片表皮特化的氣孔與保衛細胞。



3. 雖然我們還不是很清楚此種半球型腺毛的功能，但是可以發現其具有不同形式的變化。如下圖箭頭所指處，有全開(圖 13 左、圖 14 左)，半開(圖 13 右下)及全關(圖 14 右上)。

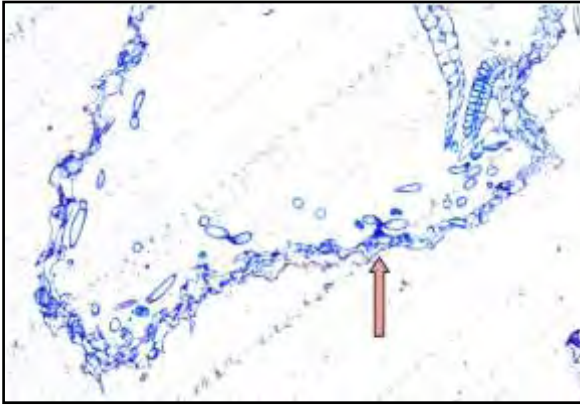


4. 我們發現捕蟲囊外部半球型腺毛附近多能看到眼蟲(如圖 13、14 黃色箭頭<sup>4)</sup>處)，且測量其體型後，推測可能可以從腺毛開口處進出，但缺乏顯微鏡直接地觀察證據。

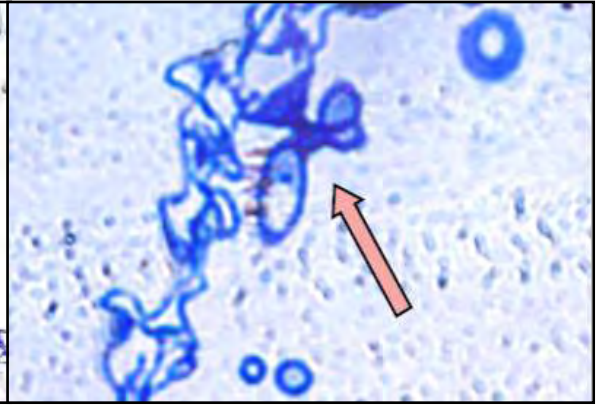
## 二、探討絲葉狸藻捕蟲囊的內部構造

1. 捕蟲囊從外而內總共可分為二層：

(A)內層有許多由四個長條狀突起與基部細胞組成的四爪腺毛(粉色箭頭)向內凸出呈小豆芽狀(圖 15)，細胞質較接近基部位置，頂端有透明大液胞，細胞核位置不一定，但普遍受液胞擠壓至細胞質邊緣(圖 16)。



(圖 15)



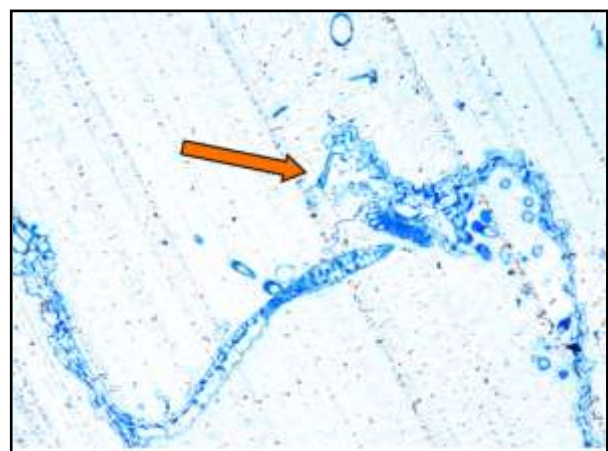
(圖 16)

(B)外層的半球型腺毛細胞(圖 17 黑色箭頭處)向外突起。但有時可發現，內層四爪腺毛細胞與外層的半球型腺毛細胞組成嵌合體(圖 17 紅色框內)。  
2. 兩層細胞交互堆疊，排列並不整齊，且略呈角形突起。細胞間隙有染色較深的絲狀物質聯繫在囊的周邊細胞。



(圖 17)

3. 以掃描式電子顯微鏡觀察，可發現捕蟲囊的開口處有支撐性的構造，同時，在捕蟲囊的橫切也可見此構造位於開口兩瓣膜處(圖 18 橘色箭頭所指位置)，影響觸發運動的啟動。

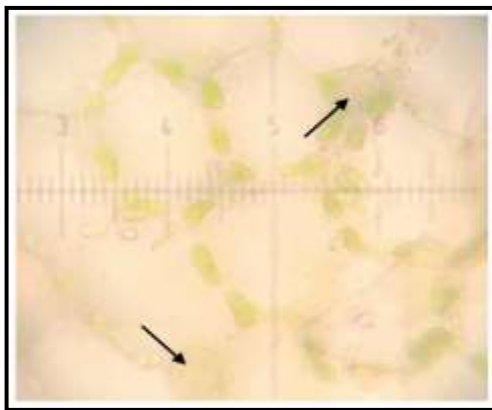


(圖 18)

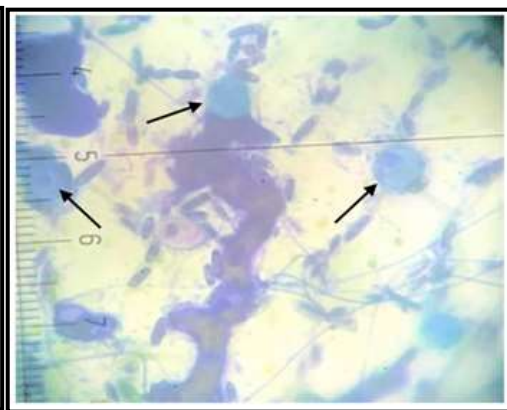
### 三、絲葉狸藻捕蟲囊的染色觀察

#### 1. 捕蟲囊亞甲藍液染色

細胞間隙有排列整齊的顆粒狀細胞，內含葉綠素，猜測為鞏固捕蟲囊形狀或影響觸發的功能。狸藻捕蟲囊壁細胞經過亞甲藍液染色的觀察，黑色箭頭所指即為原本呈現半透明色的半球型腺毛(圖 19)，經我們染色之後為深藍色的圓形構造(圖 20)。



(圖 19)

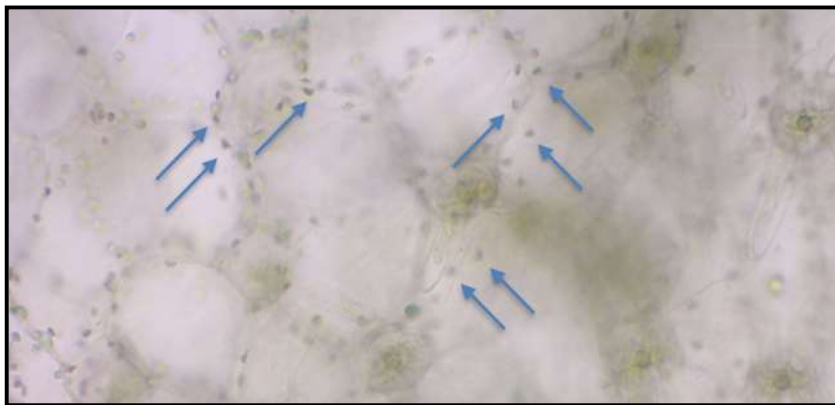


(圖 20)

蟲囊碘液染色

2.  
捕

染色的結果發現在捕蟲囊細胞中出現許多紫黑色澱粉粒(圖 21 藍色箭頭所指)，顯示澱粉粒在捕蟲囊附近儲存。

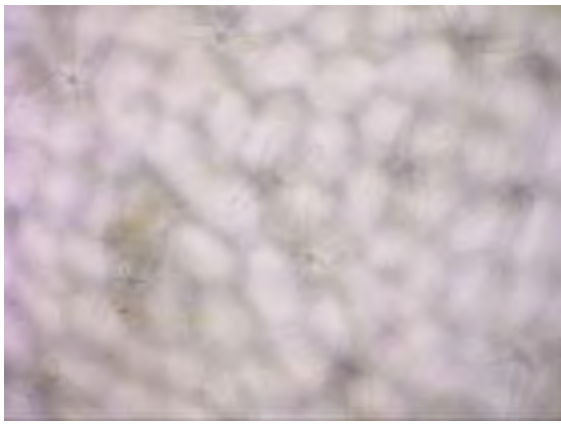


(圖 21)

#### 四、絲葉狸藻捕蟲囊吸收水份及無機鹽、有機物的路徑

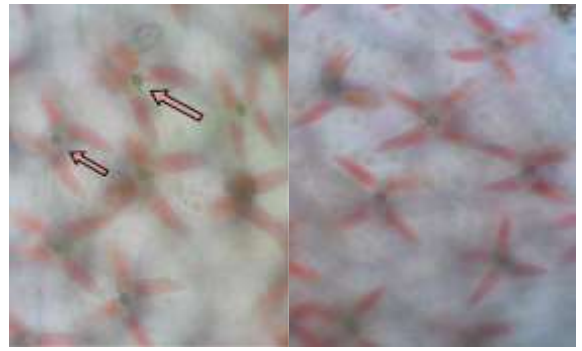
##### 1. 水的吸收階段：

(1)色素尚未進入四爪腺毛(圖 22)：將捕蟲囊浸在食用紅色素溶液中，藉由觸發運動使色素被吸入捕蟲囊內。



(圖 22)

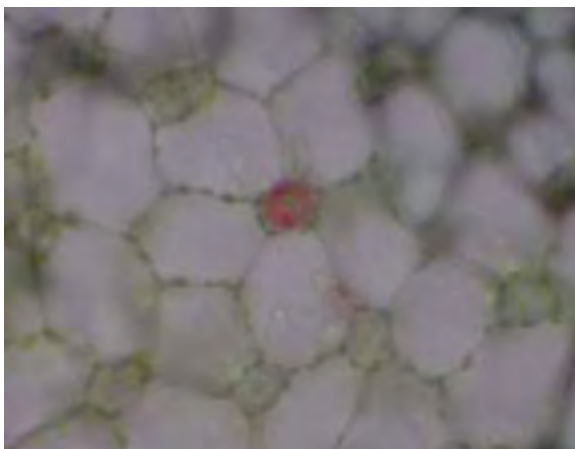
(2)色素充滿四爪腺毛(圖 23、圖 24)：接下來紅色素會注入四爪腺毛基部，後蓄積在腺毛一段時間並進入腺毛的液胞部位，四爪腺毛基部細胞內可見綠色的葉綠體(圖 23 箭頭所指處)。



(圖 23)

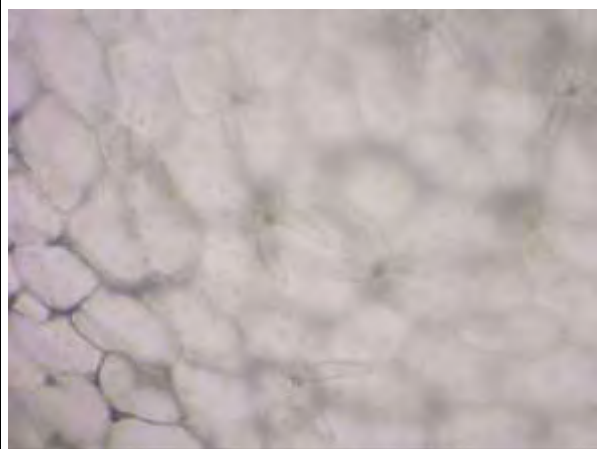
(圖 24)

(3)色素進入四爪腺毛基座細胞(圖 25)：最後紅色素藉由開口朝外的半球型腺毛，將紅色素聚集排除，呈現環狀形態。



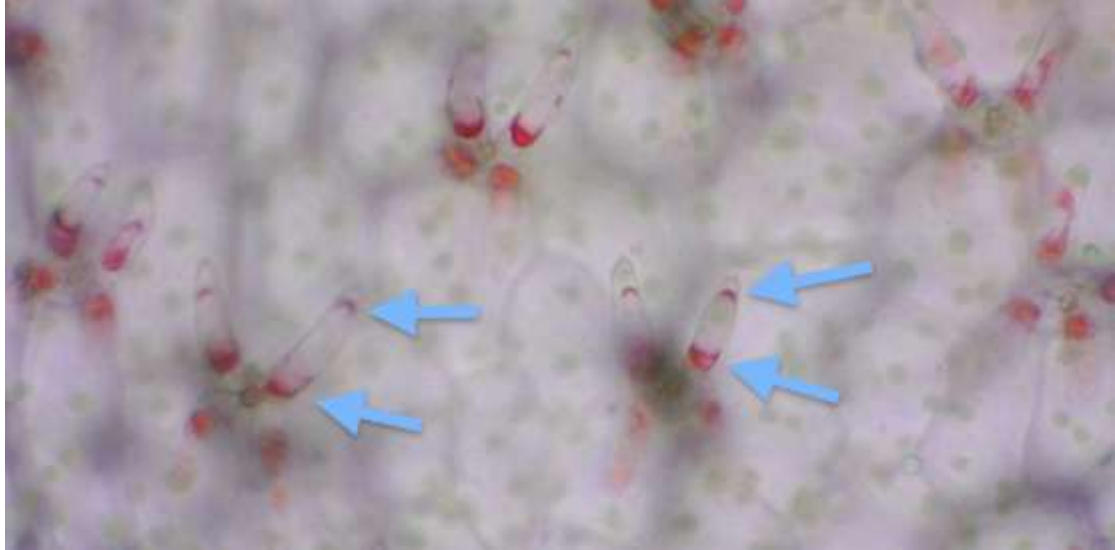
(圖 25)

(4)色素從四爪腺毛中消失，吸收作用完成(圖 26)



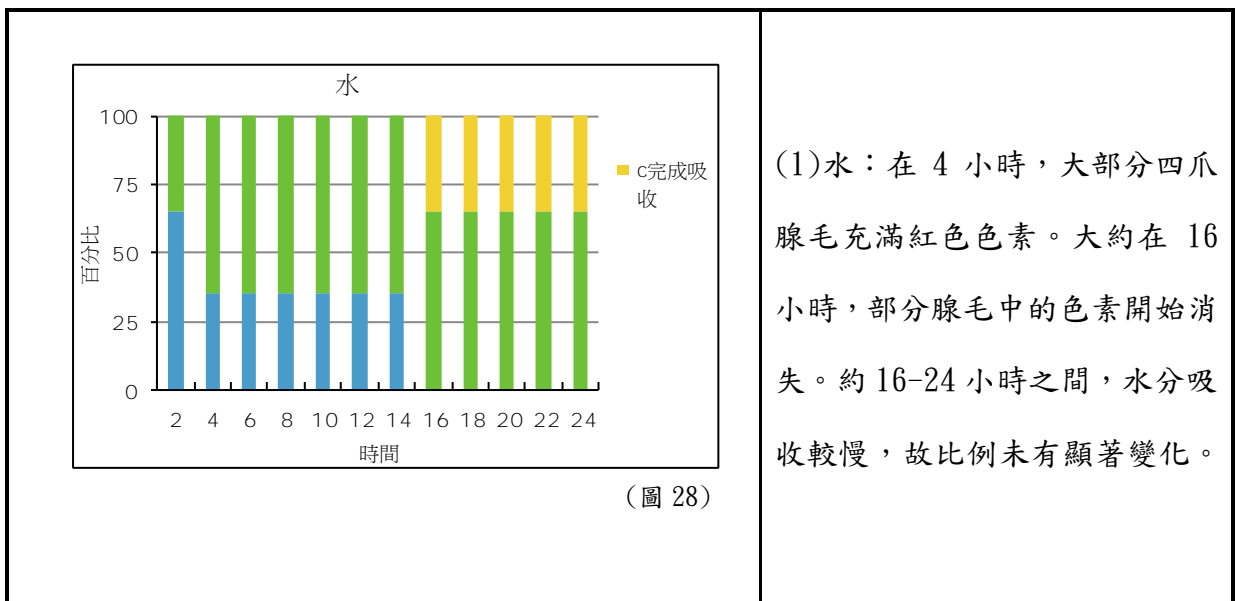
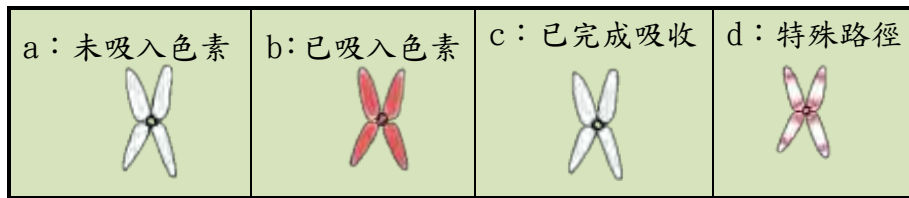
(圖 26)

2. 我們發現葡萄糖、甘油、硝酸鉀、甘胺酸的吸收都出現不同於水的路徑（圖 27），色素聚集於四爪腺毛的基部和頂端（圖 27 藍色箭頭處），中間形成一空白圓圈，推測此空白處可能為液胞。

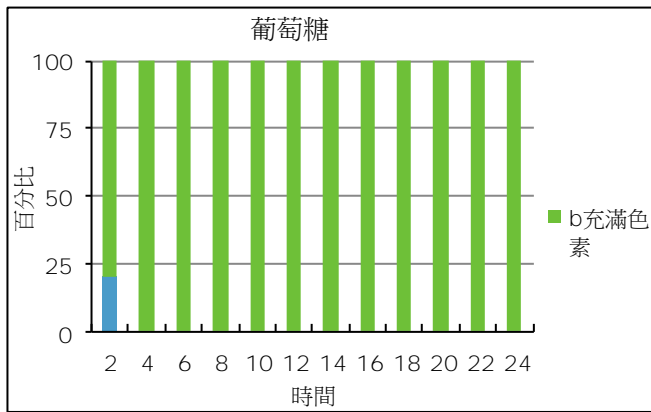


(圖 27)

3. 實驗數據：

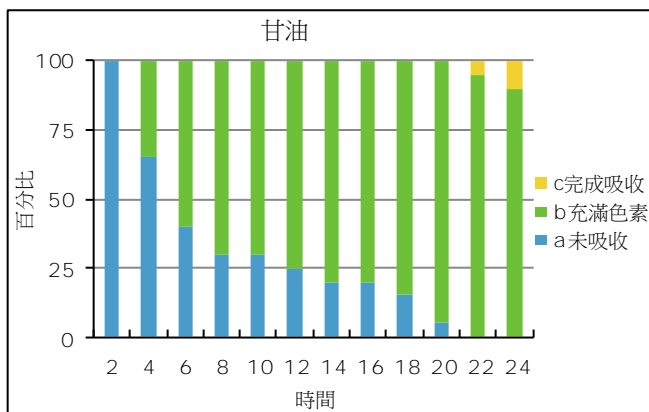


(圖 28)



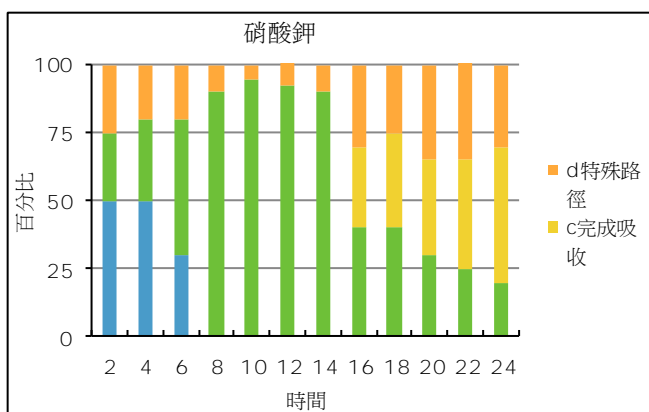
(圖 29)

(2) 葡萄糖：在 2 小時，大部分腺毛已經充滿色素，為五種溶液中速度最快。但 16-24 小時之間，幾乎未見吸收完成的腺毛。



(圖 30)

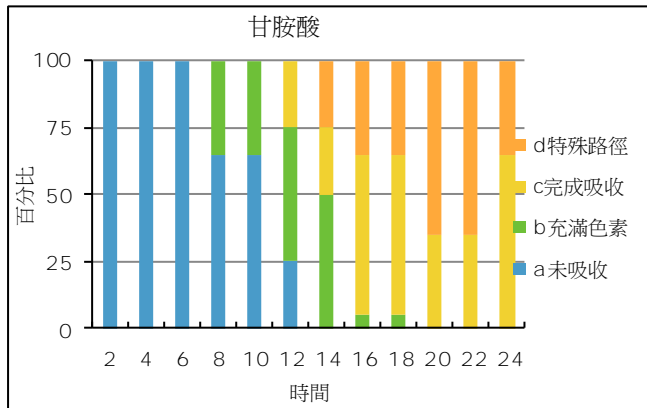
(3) 甘油：在 6 小時，大部分腺毛已經充滿色素。大約 22 小時後才開始看到吸收完成的腺毛。



(圖 31)

(4) 硝酸鉀：在 6 小時，大部分四爪腺毛充滿紅色色素。大約在 16 小時，充滿色素的腺毛漸少，取而代之的是特殊路徑和吸收完成的腺毛。另外我們也發現，在各個階段都能看到特殊路徑的腺毛，是五種溶液之中出現頻率最高。





(圖 32)

(5)甘胺酸：到 8 小時仍未見腺毛有顯著吸收，但囊外觀的顏色已變淡，推測色素大多已從半球型腺毛排出。另外我們也發現，觀察吸收甘胺酸過程中，比起正常路徑大多是腺毛被色素充滿，後期出現特殊路徑的四爪腺毛比例較高。

4. 不同物質吸收速率的比較：

(1)紅色素吸收時間：

葡萄糖 > 水 > 硝酸鉀 > 丙三醇(甘油) > 甘胺酸

(2)紅色素消失時間：

甘胺酸 > 硝酸鉀 > 丙三醇(甘油) > 水 > 葡萄糖

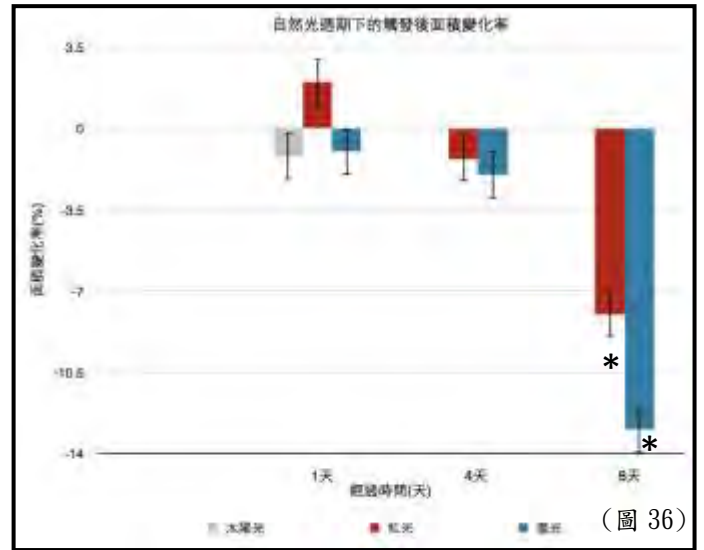


(圖 33)

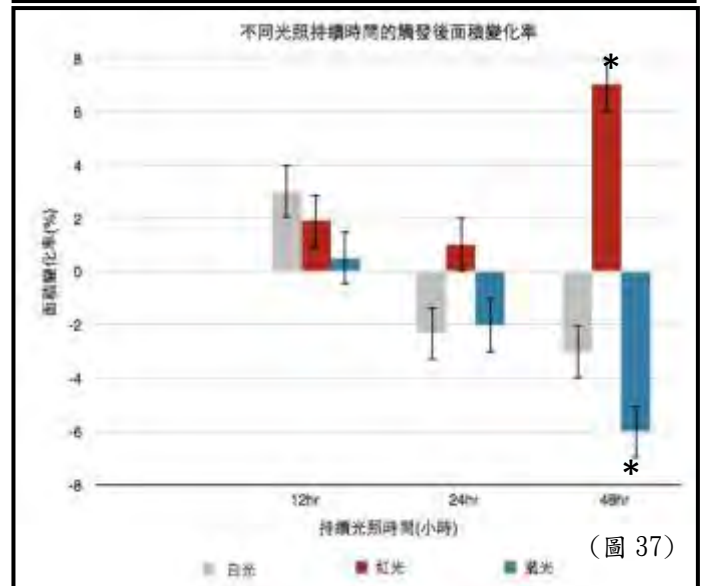
不同物質	水	含氮物質、有機物(甘油、葡萄糖)
吸收路徑	<p>(圖 34)</p>	<p>(圖 35)</p>

## 五、照光對絲葉狸藻捕蟲囊觸發運動的影響

1. 自然光線(有白天晚上的光週期): 不論紅、藍、白光, 都發現捕蟲囊大小有越來越小的趨勢。就時間上來看, 經過較長時間: 4-8 天則開始有較明顯的面積變化。照射 8 天藍光與紅光的捕蟲囊觸發後面積均有顯著變小(\*), 其中又以藍光縮小面積更加顯著。



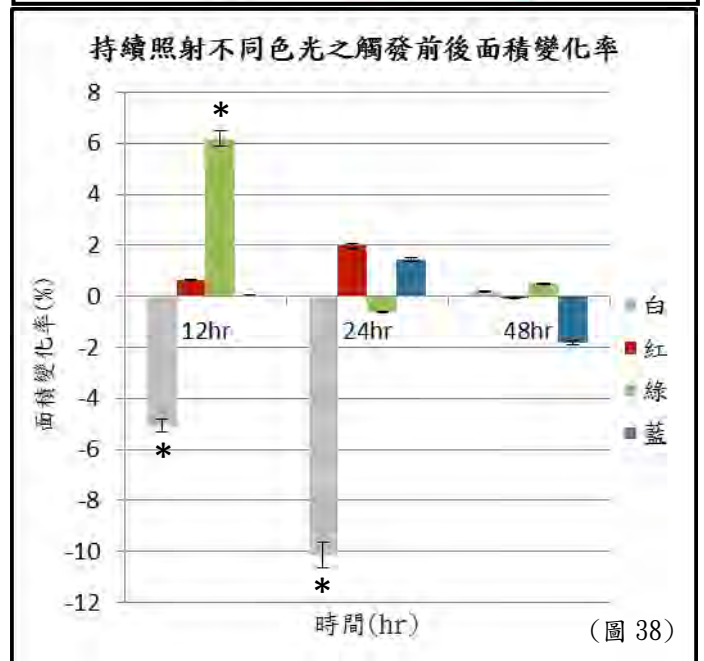
2. 日光燈管照射: 不同色光與照射白光相較, 照射較短時間: 12 小時到 24 小時, 對觸發前後捕蟲囊的面積並無顯著的改變, 持續照光 2 天後, 照射紅光的捕蟲囊觸發後面積有顯著增加的情形, 而藍光面積則是顯著減少(\*).



3. LED 燈泡照射: 呈現不同於日光燈管照射的結果。(圖 38 由附表一繪成)

(1) 由照光兩天的情形顯示, 綠光與紅光的趨勢相似, 觸發後造成面積變化率增加, 而白光與藍光趨勢相似, 觸發後面積變化率減小。

(2) 又因 LED 燈的照度在不同色光有明顯差異(藍光 500~600Lux, 紅光 1200~1500Lux, 白光 2400~2600Lux, 綠光 5000



~6000Lux)，造成白、綠光的影響較紅、藍光明顯。

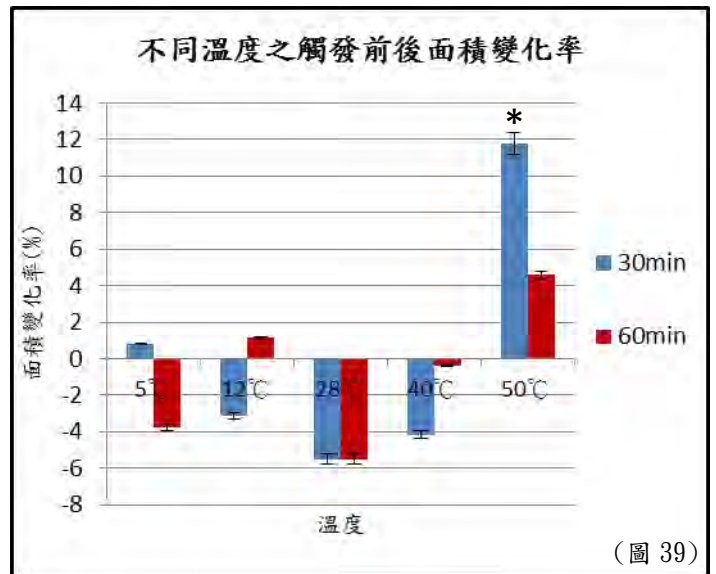
(3)綠光：持續照射 12 小時後，捕蟲囊觸發後面積明顯增加。照射較長時間，24 至 48 小時，捕蟲囊觸發後面積則是幾乎沒有變化。

(4)兩天持續照光後，各色光對捕蟲囊觸發後面積皆無明顯變化。

## 六、溫度對絲葉狸藻捕蟲囊觸發運動的影響

1. 在室溫 28°C 捕蟲囊觸發後面積變化率縮小。在 5°C~40°C 的面積變化率比較，發現捕蟲囊在 5°C、12°C 及 40°C 的環境下面積變化沒有顯著差異。
2. 在高溫處理(50°C)下，捕蟲囊觸發後的面積變化率則是顯著的增加。

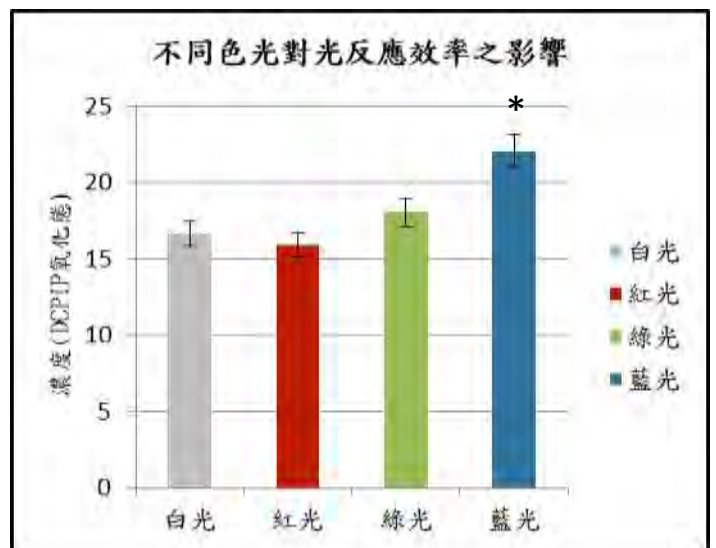
(圖 39 由附表二繪成)



(圖 39)

## 七、不同色光對光反應效率之影響

1. 紅光測得的氧化態 DCPIP 濃度較低，表示無色還原態 DCPIP 濃度較高，行光反應效率較高，但藍光測得的氧化態 DCPIP 濃度最高，表示無色還原態 DCPIP 濃度比例顯著較低，行光反應效率較其他色光低。



(圖 40)

## 柒、討論

### 一、絲葉狸藻捕蟲囊外部型態

1. 由圖(8~10)可看出在開口瓣膜附近的卡榫是主要的觸發機關，類似鼠籠的觸碰點，但是是位於閘門的外側而非內側，為機械性的觸發，遇酸鹼、溫度冷熱變化也不會被觸發吸入紅色色素(由初步實驗觀察得知)。
2. 綜合半球型腺毛(圖 11~14)可能功能:(1)配合四爪腺毛的吸收功能，排除多餘水分、廢物等物質，於四爪腺毛基部連接處觀察到的圓形葉綠體，也可能提供消耗能量的主動運輸，以協助水分排出，進而有助於囊內負壓的產生。(2)或為眼蟲進出捕蟲囊的開口。
3. 由圖 15 能看到上下表皮堆疊交錯的構造，可以瞬間承受較大的動能張力，使只有兩層細胞的囊袋，堅韌緊密且伸縮有彈性。

### 二、絲葉狸藻捕蟲囊對水份及無機鹽、有機物的吸收路徑

1. 絲葉狸藻的莖部已經有退化現象，缺乏完整的維管束等構造，實驗中紅色色素無法被吸收至莖部，因此看不出其水份運輸功能。此外，由圖 21 可見，捕蟲囊有儲存澱粉的功能，顯示莖部也已不具有韌皮部的養分輸導功能。
2. 在吸收方面，我們發現含氮物質，如甘胺酸及硝酸根吸收速率較其他溶液快，因此可以看出狸藻最需要的養分應是含氮養分優先。其餘養分如水、葡萄糖、丙三醇等吸收較慢，可能非狸藻的需求養分。
3. 葡萄糖雖然是最快進入四爪腺毛，但到 24 個小時後仍未從四爪腺毛中消失(圖 29)，應是因照光時狸藻持續進行光合作用生產葡萄糖，故不需要再透過捕蟲囊吸收，可能為其吸收較慢的主要原因。
4. 除了水以外，其餘養分在四爪腺毛中皆有出現特殊路徑，其中又以硝酸鉀出現的頻率及數量最多(圖 31)，可能是因為養分無法進入四爪腺毛內液胞，故色素在液胞周圍堆積成一圈。此結果與之前的研究報告，為四爪腺毛呈現四圓點而後消失有所差異(莊與莊，2006)。

5. 在觀察過程中，我們發現，如果捕蟲囊在吸入色素前已經捕捉到獵物(如甲殼類動物或水蚤)，則四爪腺毛內幾乎就看不到色素進入，且能在多數動物體內看到紅色色素。可能是因為色素多被獵物染色或食用，以及捕蟲囊分泌消化酶消化獵物，而使濃度較低的色素溶液變淡。

6. 狸藻生長在淤泥較多的沼澤或非流動水域的池塘而不會發生二氧化碳不足，推測與囊中有較多的眼蟲有關，且半球型腺毛可能有開口向外連通，類似植物氣孔的開閉，使得眼蟲可以自由進出捕蟲囊。此外，我們推測四爪腺毛基部的葉綠體也可能提供能量，促進主動運輸，以協助排水而有助於囊內負壓的產生。

### 三、絲葉狸藻捕蟲囊觸發運動的變化影響

1. 一開始我們將小玻璃瓶放在陽光直射的窗台前，照射紅、藍、白光照射的捕蟲囊觸發前面積均隨著時間縮小，後來移至實驗室陰暗處受 24 小時的光源照射(圖 3)，且使用較大的燒杯放置狸藻，發現捕蟲囊便無再縮小的跡象。因此推測，營養鹽、溫度、光週期及照度，皆可能是影響捕蟲囊生長的因素，可進一步實驗佐證。

2. 之後我們使用不同色光的 LED 燈泡照射狸藻，與先前實驗的結果略有差異，推測與 LED 燈單一的波長，以及顯著差異的照度有關。因此照射藍、紅光的捕蟲囊觸發後面積無明顯變化，可能是照度相對於綠光與白光較低的緣故。另外，兩天持續照光後，各色光面積變化率皆不明顯，推測是 LED 燈對捕蟲囊刺激太強，減弱其反應的變化。

3. 觸發後吸入紅色色素溶液，原本預期體積會變大，但測得的面積，大多是不變或縮小，推測可能是觀察角度的問題或是有特化排水孔，如半球型腺毛，在觸發運動的瞬間，同時也排除原本多餘的囊中水分。是否藍、紅光對半球型腺毛開閉影響，造成觸發後面積變化率的差異性，可以進一步探討。

4. 狸藻是水生無根植物，一般較長光波對水的介質穿透性較佳，因此紅光行光合作用效率較高，可促進莖葉的生長發育，也減少捕蟲囊捕食產生負壓需要消耗的

能量。但相反的，促使捕蟲囊排水產生負壓的卻是藍光以及含有藍光的LED白光，能提升其捕蟲效率以補充氮的來源。

5. 水蚤是狸藻捕蟲囊中常見的食物，其對紅光的趨性較藍光強(洪等，2008)，若能先以藍光使捕蟲囊產生負壓，再照紅光吸引水蚤活動，應該可使捕蟲囊快速捕捉到其食物。

#### 四、不同溫度對捕蟲囊面積變化率的影響

1. 45~50°C以上的高溫，可能會造成捕蟲囊的水通道、離子通道蛋白失去作用或是酶的活性停止，造成觸發後的面積變化率顯著上升，甚至狸藻的死亡。

2. 5~12°C的低溫，是觸發後面積略偏正值，影響不如高溫明顯。由此可發現捕蟲囊的機械性構造對低溫刺激仍具有高度耐受性。

### 捌、結論

一、在構造觀察的方面，我們發現捕蟲囊口的重要觸發機關及囊袋上的特殊構造，而半球型腺毛應與捕蟲囊的排水功能及負壓產生有關。

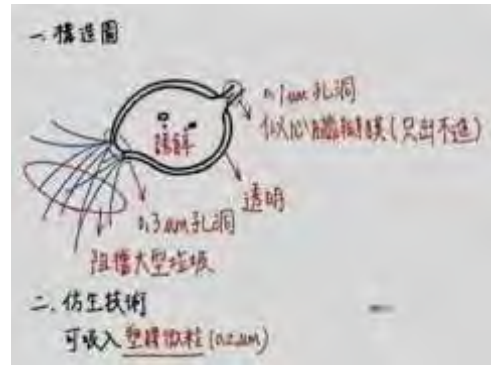
二、無根的絲葉狸藻能利用葉子特化的構造—捕蟲囊，來協助含氮養份的收集與輸送，取代根吸收的功能。捕蟲囊的消化與吸收目前已有初步的對其內部消化酶與食用色素的吸收進行研究，本報告進一步的探討，確認營養物質的吸收過程及證實不同的特殊路徑，期待未來對捕蟲囊中獵物消化與吸收的過程能有更深的了解。

三、捕蟲囊的特殊構造類似小型捕鼠器，其利用負壓捕蟲及排水的機制是所有捕蟲植物中最快速。雖然狸藻光反應的效率在藍光照射下效率較低，捕蟲運動卻會受到環境中不同光照來源及光線頻率影響，發現使用日光燈管罩藍色玻璃紙，或是使用具有藍光的高照度白光LED燈最有助於負壓的產生。另外，捕蟲運動在不同溫度的影響，則是常溫(28°C)為最佳，低溫下的耐受度又較高溫為佳。

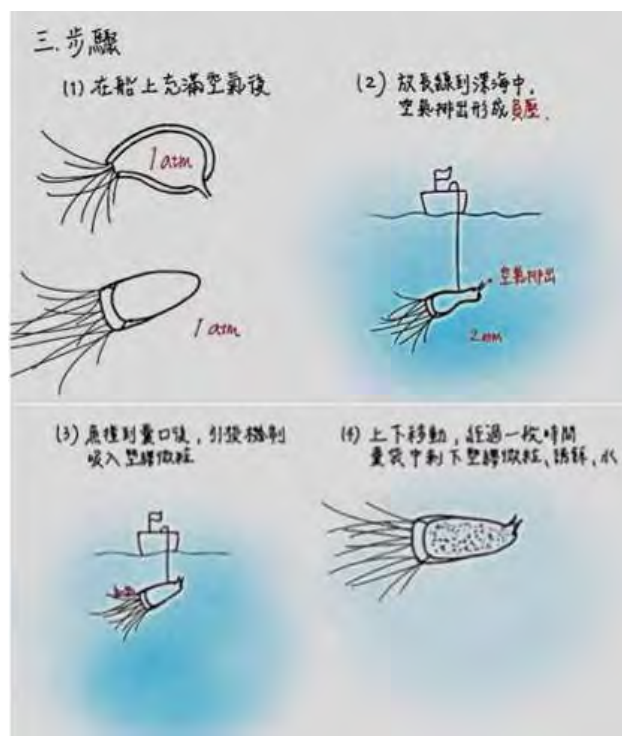
四、未來展望：

1. 絲葉狸藻捕蟲囊與大量眼蟲(e. g. *Euglena*)的相互關係，是寄生、競爭、片利還是互利的角色，尚待進一步的釐清。

2. 捕蟲囊透過負壓快速吸入囊口生物，再經由半球形腺毛排出水分的機制，可透過仿生技術將其以不同材料製成一機械囊袋。在漁業應用上，可替代需要誘餌的傳統捕蝦籠或漁網，以快速吸入的功能捕捉獵物，再用囊袋上的孔洞排出不必要的水或水生藻類；永續方面，水中塑膠微粒是難以過濾分解，且對水中生物會造成極大危害的污染源，因此可在上述囊袋內加裝孔洞小於



0.2 微米(塑膠微粒大小)的過濾網，將微粒留在袋內，再以孔洞排出不小心吸入的藻類、水中生物、及水，希望能對海水污染做出貢獻(圖 41、42)。



(圖 42)

## 玖、參考資料

1、洪偉軒、蔡欣樺、陳慧洵、王思琴(2009)水中的吸塵器-黃花狸藻生活史觀察以及捕蟲行為與消化功能研究。第 50 屆中小學科學展覽會作品說明書。

2、洪健耀、陳鈺祥、魏忠毅、姚毅前(2008)蚤生貴子-水蚤飼養環境的初步探討。

第 49 屆中小學科學展覽會作品說明書。

3、莊迪喬(2004)。台灣本土水生食蟲植物—絲葉狸藻的囊裡乾坤。第四十四屆中小學科學展覽會作品說明書

4、莊迪喬、莊淳喬(2006)。水生開花食蟲植物絲葉狸藻捕蟲囊構造及共質體輸送。台灣 2006 國際科學展覽會。

5、謝雅斤、徐亞寧、方奕傑(2011)。水生食蟲植物小祕密—絲葉狸藻。生物類小論文作品。

6、蘇襄(2013)。會開花的捕手—黃花狸藻。生物類小論文作品。

7、Koller-Peroutka M, Lendl T, Watzka M and Adlassnig W. (2015) Capture of algae promotes growth and propagation in aquatic Utricularia. *Annals of Botany* 115: 227 - 236.

8、Sirová D, Adamecand L, Vrba J. (2003) Enzymatic activities in traps of four aquatic species of the carnivorous genus Utricularia. *New Phytologist* 159: 669 - 675.

9、Vincent O, Weisskopf C, Poppinga S, Masselter T, Speck T, Joyeux M, Quilliet C, Marmottant P. (2011) Ultra-fast underwater suction traps. *Proceedings of the royal society B: Biological Sciences* 278, 2909-2914.

10、豬籠草、毛氈苔及捕蠅草之資料參考維基百科

<https://zh.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:%E9%A6%96%E9%A1%B5>)



## 拾、附件

表一、照射 LED 燈的捕蟲囊觸發前後面積與周長數據

2019/5/28、6/7 藍光(12hr)	面積	前(B)	後(A)	周長	前(B)	後(A)
	1	2.76	2.75	1	6.21	6.19
	2	2.69	2.46	2	5.99	5.8
	3	3.74	3.06	3	7.17	6.56
	4	2.87	3.96	4	6.36	7.39
	5	2.25	2.36	5	5.66	5.71
	6	3.04	2.08	6	6.52	5.36
	7	2.51	2.14	7	5.92	5.5
	8	2.17	2.41	8	5.47	5.81
	9	2.24	3.06	9	5.64	6.55
	10	2.64	2.64	10	5.99	6.08
單位:mm 平方毫米	總和	26.91	26.92		60.93	60.95
	平均	2.691	2.692		6.093	6.095
	差(A-B)	0.001			0.002	
面積與周長變化率(%)		0.037160907			0.032824553	

2019/5/29、6/8 藍光(24hr)	面積	前(B)	後(A)	周長	前(B)	後(A)
	1	4.5	4.65	1	8.08	8.04
	2	2.86	2.68	2	6.28	6.04
	3	2.64	2.15	3	6.1	5.51
	4	2.45	2.5	4	5.82	5.92
	5	2.31	2.7	5	5.67	6.11
	6	2.64	2.77	1	6.06	6.28
	7	2.34	2.42	2	5.69	5.78
	8	2.32	2.56	3	5.65	5.91
	9	2.21	2.24	4	5.52	5.5
	10	2.41	2.4	5	5.79	5.71
單位:mm 平方毫米	總和	26.68	27.07		60.66	60.8
	平均	2.668	2.707		6.066	6.08
	差(A-B)	0.039			0.014	
面積與周長變化率(%)		1.461769115			0.230794593	

2019/5/30、6/9 藍光(48hr)	面積	前(B)	後(A)	周長	前(B)	後(A)
	1	2.48	2.49	1	5.92	5.88
	2	2	2.05	2	5.18	5.35
	3	2.32	2.2	3	5.64	5.57
	4	2.41	2.47	4	5.81	5.8
	5	3.31	3.45	5	6.82	6.9
	1	2.79	2.85	1	6.27	6.34
	2	2.52	2.47	2	5.91	5.85
	3	2.23	2.19	3	5.58	5.63
	4	2.43	2.22	4	5.75	5.59
	5	2.61	2.25	5	6.01	5.62
單位:mm 平方毫米	總和	25.1	24.64		58.89	58.53
	平均	2.51	2.464		5.889	5.853
	差(A-B)	-0.046			-0.036	
面積與周長變化率(%)		-1.832669323			-0.611309221	

2019/6/4、6/7 紅光(12hr)	面積	前(B)	後(A)	周長	前(B)	後(A)
	1	2.05	2.17	1	5.39	5.91
	2	2.08	1.76	2	5.38	4.95
	3	2.36	2.26	3	5.75	5.58
	4	1.92	2.1	4	5.15	5.37
	5	1.96	2.21	5	5.24	5.41
	6	2.74	2.75	6	6.17	6.27
	7	2.51	2.39	7	5.96	5.88
	8	2.03	1.93	8	5.38	5.22
	9	2.59	2.82	9	6.05	6.26
	10	2.52	2.51	10	5.95	5.89
單位:mm 平方毫米	總和	22.76	22.9		56.42	56.74
	平均	2.276	2.29		5.642	5.674
	差(A-B)	0.014			0.032	
面積與周長變化率(%)		0.615114236			0.567174761	

2019/6/5、6/8 紅光(24hr)	面積	前(B)	後(A)	周長	前(B)	後(A)
	1	3.89	2.87	1	7.6	6.4
	2	3.18	3.44	2	6.68	6.93
	3	2.7	3.96	3	6.09	7.37

	4	3.3	3.37	4	6.84	6.91
	5	2.78	2.97	5	6.25	6.48
	6	2.91	2.71	6	6.38	6.23
	7	3.45	3.35	7	6.96	6.88
	8	2.51	4.52	8	6.05	8.03
	9	4.49	4.59	9	7.94	8.02
	10	4.69	2.79	10	8.11	6.24
單位:mm 平方毫米	總和	33.9	34.57		68.9	69.49
	平均	3.39	3.457		6.89	6.949
	差(A-B)	0.067			0.059	
面積與周長變化率(%)		1.97640118			0.856313498	

2019/6/6、6/9 紅光(48hr)	面積	前(B)	後(A)	周長	前(B)	後(A)
	1	2.43	2.4	1	5.87	5.87
	2	3.3	3.16	2	6.79	6.6
	3	2.53	3.27	3	5.89	6.74
	4	3.37	2.37	4	6.92	5.76
	5	3.95	3.72	5	7.55	7.21
	6	3.07	2.28	6	6.58	5.62
	7	3.28	3.21	7	6.87	6.74
	8	2.37	2.41	8	5.73	5.8
	9	2.91	3.68	9	6.22	7.15
	10	2.2	2.89	10	5.52	6.3
單位:mm 平方毫米	總和	29.41	29.39		63.94	63.79
	平均	2.941	2.939		6.394	6.379
	差(A-B)	-0.002			-0.015	
面積與周長變化率(%)		-0.06800408			-0.234594933	

2019/5/28、6/7 綠光(12hr)	面積	前(B)	後(A)	周長	前(B)	後(A)
	1	3.62	3.32	1	7.17	6.83
	2	3.04	3.1	2	6.6	6.57
	3	3.15	3.77	3	6.7	7.32
	4	1.96	1.88	4	5.17	5.18
	5	2.17	2.11	5	5.43	5.42
	6	3.05	3.05	6	8.17	6.53
	7	2.4	2.41	7	5.82	5.73

	8	3.15	4.93	8	6.63	8.35
	9	2.37	2.17	9	5.67	5.65
	10	2.74	2.62	10	6.09	5.99
單位:mm 平方毫米	總和	27.65	29.36		63.45	63.57
	平均	2.765	2.936		6.345	6.357
	差(A-B)	0.171			0.012	
面積與周長變化率(%)		6.184448463			0.189125296	

2019/5/29、6/8 綠光(24hr)	面積	前(B)	後(A)	周長	前(B)	後(A)
	1	2.4	2.5	1	5.74	5.86
	2	2.29	2.44	2	5.62	5.78
	3	2.8	3.15	3	6.3	6.66
	4	2.39	2.43	4	5.81	5.8
	5	2.02	1.95	5	5.31	5.23
	6	2.79	2.66	6	6.2	6.1
	7	2.42	2.41	7	5.74	5.9
	8	2.48	3.01	8	5.82	6.43
	9	3.18	2.07	9	6.63	5.32
	10	3.19	3.18	10	6.6	6.65
單位:mm 平方毫米	總和	25.96	25.8		59.77	59.73
	平均	2.596	2.58		5.977	5.973
	差(A-B)	-0.016			-0.004	
面積與周長變化率(%)		-0.61633282			-0.066923206	

2019/5/30、6/9 綠光(48hr)	面積	前(B)	後(A)	周長	前(B)	後(A)
	1	3.54	3.52	1	6.86	7.03
	2	5.7	6.06	2	9.01	9.18
	3	2.93	2.95	3	6.37	6.35
	4	2.48	2.5	4	5.96	5.94
	5	2.62	2.46	5	6	5.96
	6	2.36	2.28	6	5.75	6.79
	7	4.27	3.21	7	7.7	6.07
	8	2.42	2.41	8	5.88	7.9
	9	3.35	3.68	9	6.81	5.7
	10	2.14	2.89	10	5.4	5.28
單位:mm	總和	31.81	31.96		65.74	66.2

平方毫米	平均	3.454	3.196		6.574	6.62
	差(A-B)	-0.258			0.046	
面積與周長變化率(%)		-7.469600463			0.699726194	

表二、不同溫度下捕蟲囊觸發前後面積與周長數據

2019/6/15	面積	前(B)	後(A)	周長	前(B)	後(A)
5°C 30min	1	4.86	2.51	1	8.19	5.92
	2	3.96	3.84	2	7.46	7.38
	3	3.56	3.42	3	7.02	6.94
	4	2.93	3.94	4	7.43	7.42
	5	2.51	4.25	5	5.94	7.76
單位:mm 平方微米	總和	17.82	17.96		36.04	35.42
	平均	3.564	3.592		7.208	7.084
	差 (A-B)	0.028			-0.124	
面積與周長變化率(%)		0.007856341			-0.017203108	

2019/6/15	面積	前(B)	後(A)	周長	前(B)	後(A)
5°C 60min	1	2.96	2.91	1	6.3	6.31
	2	3.41	3.02	2	6.87	6.44
	3	5.35	5.3	3	8.61	8.62
	4	3.19	3.12	4	6.65	6.68
	5	3.47	3.34	5	6.99	6.89
單位:mm 平方微米	總和	18.38	17.69		35.42	34.94
	平均	3.676	3.538		7.084	6.988
	差 (A-B)	-0.138			-0.096	
面積與周長變化率(%)		-0.037540805			-0.013551666	

2019/6/5	面積	前(B)	後(A)	周長	前(B)	後(A)
12°C 30min	1	3.25	3.16	1	6.8	6.67
	2	2.44	2.34	2	5.81	5.81
	3	1.96	1.88	3	5.29	5.12
	4	4.11	4.24	4	7.65	7.72

	5	4.48	4.11	5	7.99	7.67
單位:mm 平方微米	總和	16.24	15.73		33.54	32.99
	平均	3.248	3.146		6.708	6.598
	差 (A-B)	-0.102			-0.11	
面積與周長變化率(%)		-3.140394089			-1.639833035	

2019/6/5	面積	前(B)	後(A)	周長	前(B)	後(A)
12°C 60min	1	2.66	2.71	1	6.1	6.13
	2	2.55	2.66	2	6	6.12
	3	2.16	2.27	3	5.52	5.61
	4	3.99	4	4	7.43	7.44
	5	4.43	4.33	5	7.91	7.84
單位:mm 平方微米	總和	15.79	15.97		32.96	33.14
	平均	3.158	3.194		6.592	6.628
	差 (A-B)	0.036			0.036	
面積與周長變化率(%)		1.139962001			0.546116505	

2019/5/22	面積	前(B)	後(A)	周長	前(B)	後(A)
28°C 30min	1	2.51	2.3	1	5.88	5.69
	2	3.16	2.99	2	6.68	6.47
	3	2.87	2.55	3	6.57	6.26
	4	3.56	3.35	4	7.28	6.93
	5	3.14	3.21	5	6.51	6.65
單位:mm 平方微米	總和	15.24	14.4		32.92	32
	平均	3.048	2.88		6.584	6.4
	差 (A-B)	-0.168			-0.184	
面積與周長變化率(%)		-5.511811024			-2.794653706	

2019/6/5	面積	前(B)	後(A)	周長	前(B)	後(A)
40°C 30min	1	2.51	2.44	1	5.88	5.85
	2	2.6	2.48	2	6	5.84
	3	3.12	3.1	3	6.62	6.63
	4	2.59	2.41	4	5.94	5.83

	5	1.66	1.53	5	4.83	4.54
單位:mm 平方微米	總和	12.48	11.96		29.27	28.69
	平均	2.496	2.392		5.854	5.738
	差 (A-B)	-0.104			-0.116	
面積與周長變化率(%)		-4.166666667			-1.981551076	
2019/6/5	面積	前(B)	後(A)	周長	前(B)	後(A)
40°C 60min	1	2.22	2.33	1	5.53	5.64
	2	2.24	2.46	2	5.57	5.78
	3	2.08	1.96	3	5.33	5.21
	4	2.08	1.96	4	5.37	5.2
	5	4.4	4.26	5	7.83	7.66
單位:mm 平方微米	總和	13.02	12.97		29.63	29.49
	平均	2.604	2.594		5.926	5.898
	差 (A-B)	-0.01			-0.028	
面積與周長變化率(%)		-0.384024578			-0.472494094	

2019/6/9	面積	前(B)	後(A)	周長	前(B)	後(A)
50°C 30min	1	2.46	2.63	1	5.58	6.11
	2	1.87	2.23	2	5.15	5.57
	3	2.08	2.59	3	5.45	6.04
	4	1.71	2.21	4	4.94	5.57
	5	2.26	1.87	5	5.57	5.12
單位:mm 平方微米	總和	10.38	11.53		26.69	28.41
	平均	2.076	2.306		5.338	5.682
	差 (A-B)	0.23			0.344	
面積與周長變化率(%)		0.110789981			0.064443612	

2019/6/9	面積	前(B)	後(A)	周長	前(B)	後(A)
50°C 60min	1	2.77	3.24	1	6.3	6.63
	2	2.59	2.83	2	5.97	6.2
	3	2.65	2.11	3	6	5.51
	4	2.21	3.11	4	5.59	6.65
	5	3.1	2.64	5	6.66	6.01

單位:mm 平方微米	總和	13.32	13.93		30.52	31
	平均	2.664	2.786		6.104	6.2
	差 (A-B)	0.122			0.096	
面積與周長變化率(%)		4.57957958			1.572739187	



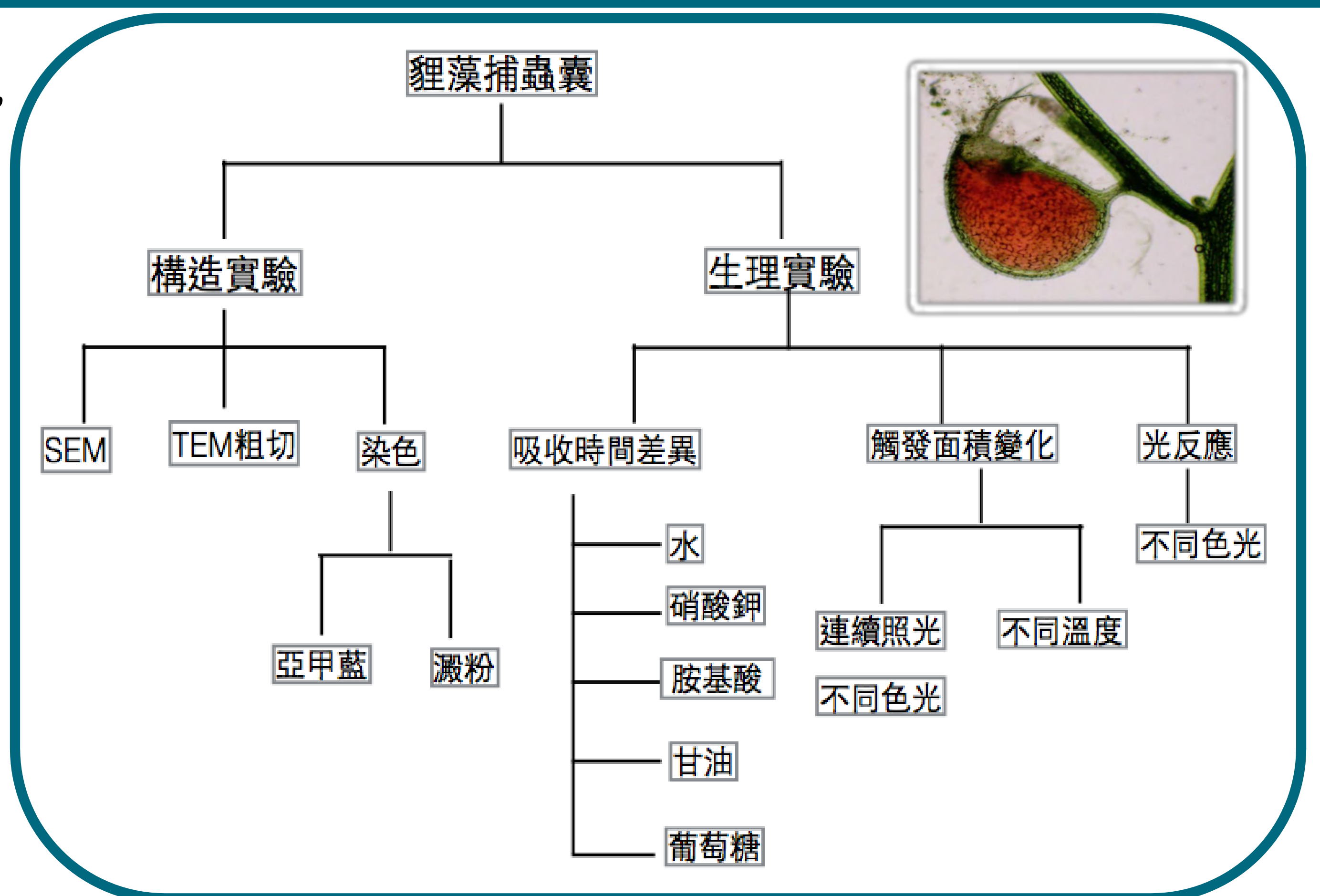
## 【評語】 052106

1. 本研究主要目的在對絲葉狸藻捕蟲囊觸發運動之影響因子，及吸收物質之探討。結果發現狸藻捕蟲囊具有輔助吸收養份的功能，水份主要由四爪腺毛基部進入細胞，再由內而外開啟的半球型腺毛排除。此外亦發現甘油與葡萄糖的吸收路徑也有差異，而光照時間、不同色光及不同溫度對捕蟲囊的觸發運動皆會有不同程度的影響。
2. 本研究是一單純葉片生理上的觀察與研究，未來是否能實際應用於仿生生物學開發負壓捕蟲的工具，仍有繼續探討之空間。
3. 能善用可取得的簡單儀器及藥品進行實驗，很有科學精神仔細地去探究問題。

## 摘要

本研究主要是觀察絲葉狸藻(*Utricularia gibba*)葉子特化的捕蟲囊觸發運動之影響因子，還有吸收物質的情形。結果發現此種狸藻捕蟲囊的表皮細胞主要有兩種細胞型態，分別為分布在內外表皮基部的**四爪腺毛**與**半球型腺毛**。因此，雖然缺乏根部吸收功能，但是捕蟲囊具有輔助吸收養份的功能，水份主要由四爪腺毛基部進入至細胞內，再由內而外開啟的半球型腺毛排除。此外，我們觀察到含氮物質吸收較快，甘油與葡萄糖較慢，兩者的路徑也有差異，另外，也發現光照時間與照不同色光，會對捕蟲囊的觸發運動會有不同影響。若能對狸藻捕蟲囊構造更加了解，將可用於生物防治法減少孑孓病媒蚊孳生，預防登革熱，或應用於仿生生物學開發捕蟲的工具。

## 貳、研究流程

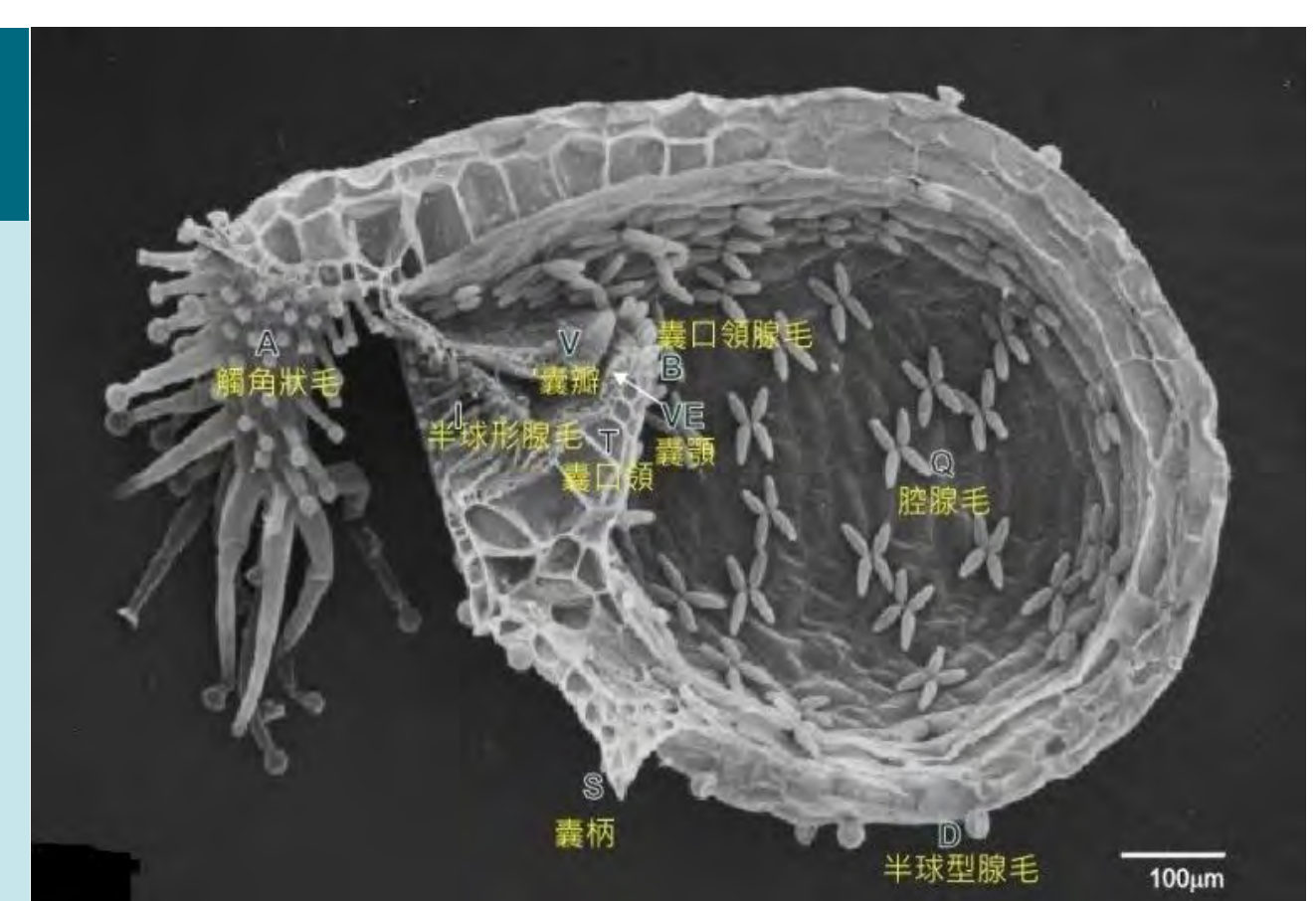


## 壹、研究目的

1. 探討絲葉狸藻捕蟲囊的觸發運動、負壓捕蟲的組織構造。
2. 探討狸藻捕蟲囊對水及化學物質吸收路徑之比較。
3. 狸藻的捕蟲運動受到環境中的物理因子--光照時間、色光及溫度之影響。

## 參、研究背景資料

1. 捕蟲囊囊口：天線細枝、一般細枝(圖1)。
2. 捕蟲囊內：二爪腺毛(分佈在瓣蓋開口下方，可阻擋小生物從此處爬出)、三爪腺毛、**四爪腺毛(主要吸收的腺毛)**。在捕蟲囊內壁用螢光染色方式染磷酸酶蛋白的位置，結果可觀察到四爪腺毛上有螢光反應。可得知**磷酸酶的分泌處(即囊內消化細胞)**應在四爪腺毛上(洪等人，2009; Sirová等人，2003)。
3. 捕蟲囊外壁：**半球型腺毛(功能不明)**。
4. 囊內生物：囊內有不少眼蟲(Euglena)，約有數百至上千隻個體，牠們大多活動力佳，能到處游動，可生存7-10天。有文獻認為眼蟲在囊內會競爭有限的營養源，且似乎不利於囊的生長，故應為寄生作用(蘇，2013)。
5. 前人利用自製頭髮探針觸發捕蟲囊吸入紅色食用色素，觀察到**捕蟲囊吸收水分的共質體路徑**。  
①由捕蟲囊內部→②進入到四爪腺毛的尾端細胞→③基座細胞→④底層的表皮細胞→⑤捕蟲囊內表皮→囊柄→狸藻葉及莖(圖2)(莊和莊，2006)。



狸藻屬圓葉挖耳草(謝等人，2011) 圖1

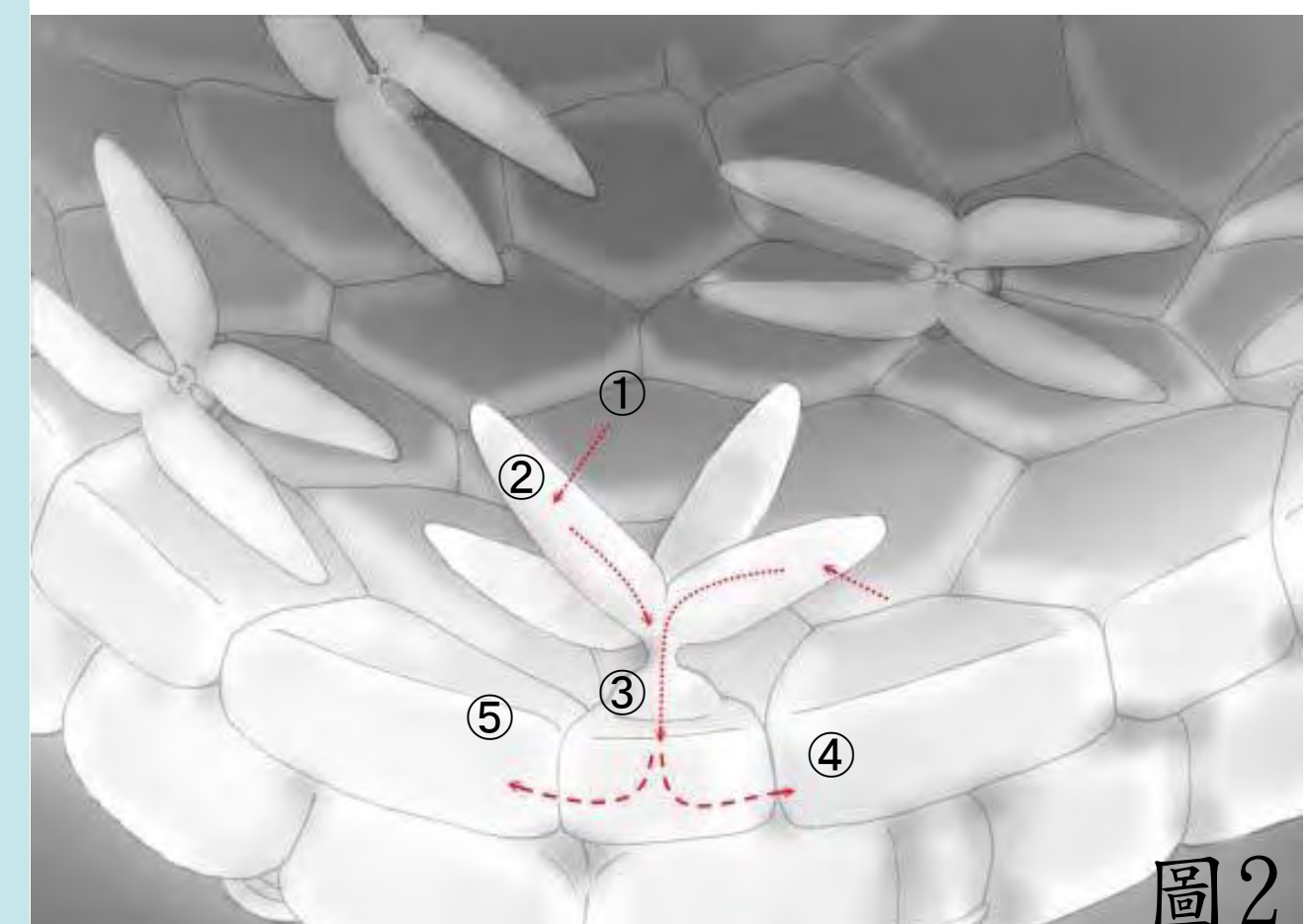


圖2

## 伍、研究結果

### 第一部分：絲葉狸藻捕蟲囊外部型態

1. 捕蟲囊開口處可見天線細枝(圖3A)，開口內有一支支撐瓣膜的觸發毛(圖3A-B箭頭處)。以光學顯微鏡無法直接觀察到，我們推測此為一重要觸發點。
2. 在捕蟲囊袋上可見許多環狀的半球型腺毛，主要分布於囊袋中央及頂部的位置(圖3C)，排列方式類似葉片表皮特化的氣孔與保衛細胞。
3. 在捕蟲囊瓣蓋及囊袋上，可以發現有可能為排水構造的開口(圖3D-E藍色箭頭)。

### 第二部分：絲葉狸藻捕蟲囊的內部構造

1. 縱切捕蟲囊從外而內總共可分為二層：內層有許多四爪腺毛向內凸出(圖3F-H粉色箭頭)，細胞質在接近基部位置，頂端有大液泡，細胞核普遍受液胞擠壓至細胞質邊緣(圖3G，比例尺=20um)。外層的半球型腺毛細胞(圖3F、H黑色箭頭)向外突起呈現雙層杯狀細胞。部分內層四爪腺毛細胞與外層的半球型腺毛細胞組成嵌合體(圖3H紅色框內，比例尺=50um)。
2. 以掃描式電子顯微鏡觀察，可發現捕蟲囊的開口處有支撐性的構造，在捕蟲囊的橫切也可見此構造位於開口兩瓣膜處(圖3I橘色箭頭，比例尺=50um)。
3. 亞甲藍液染色後原本呈現透明的半球型腺毛呈現深藍色(圖3J黑色箭頭，比例尺=20um)。

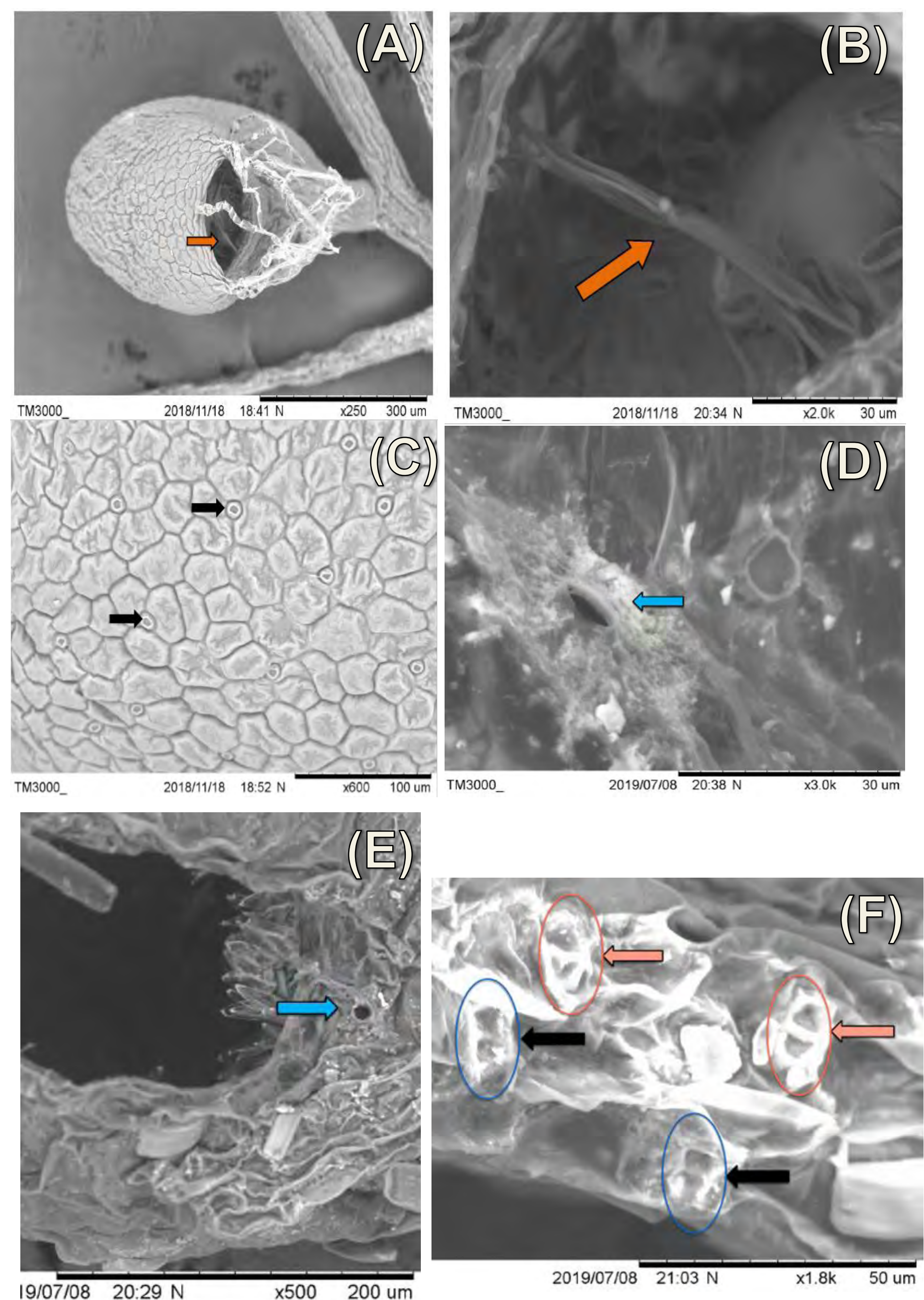
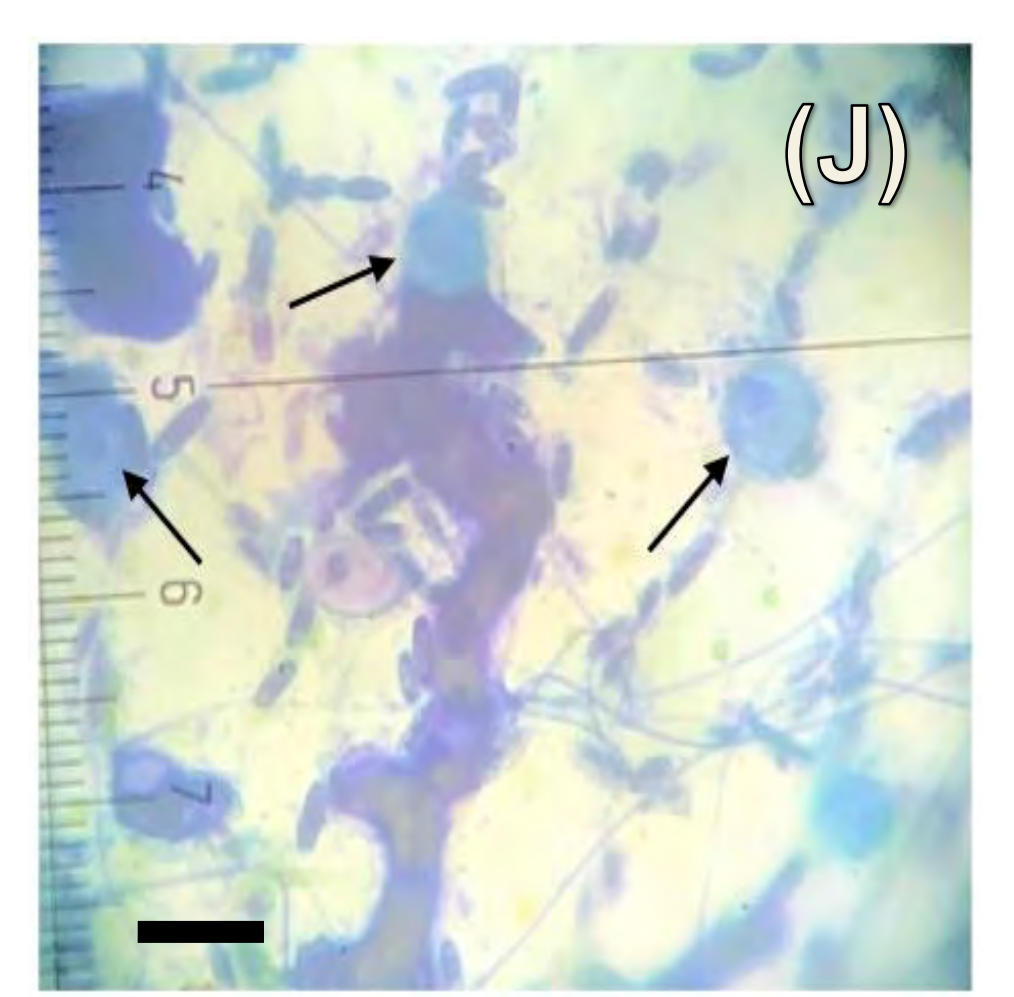
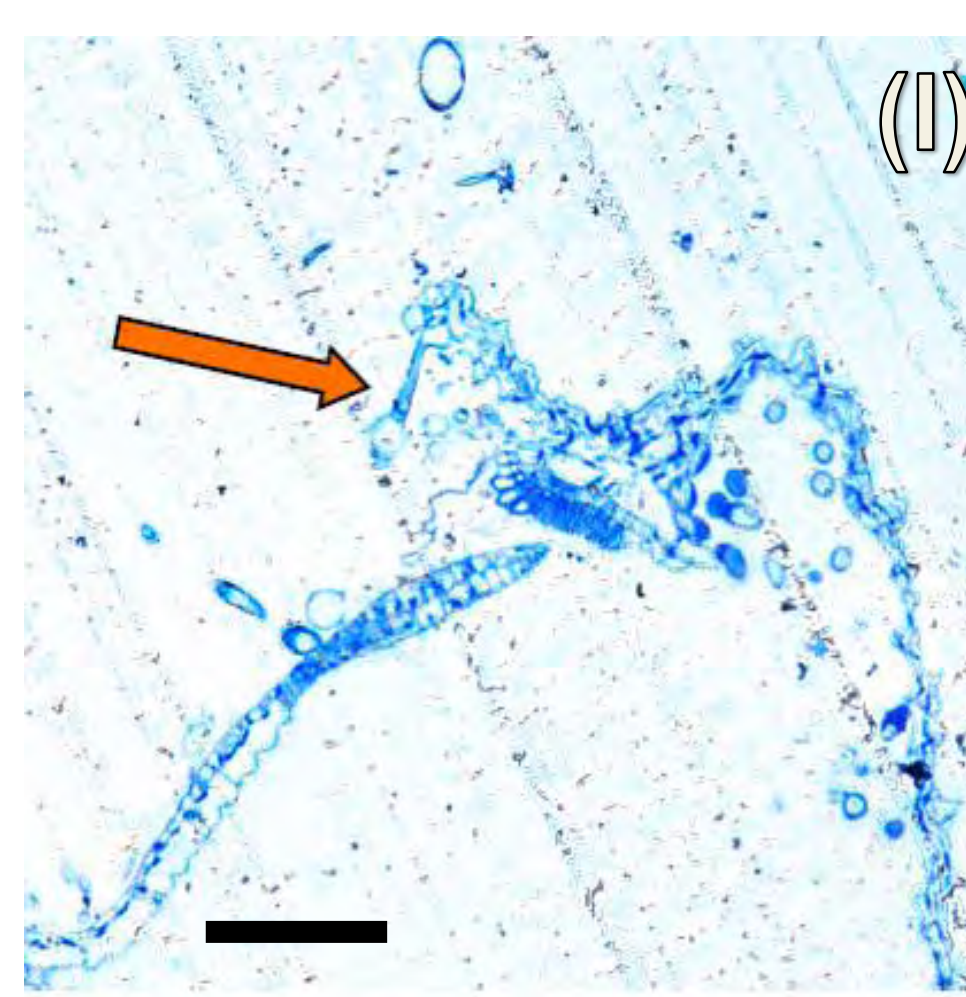
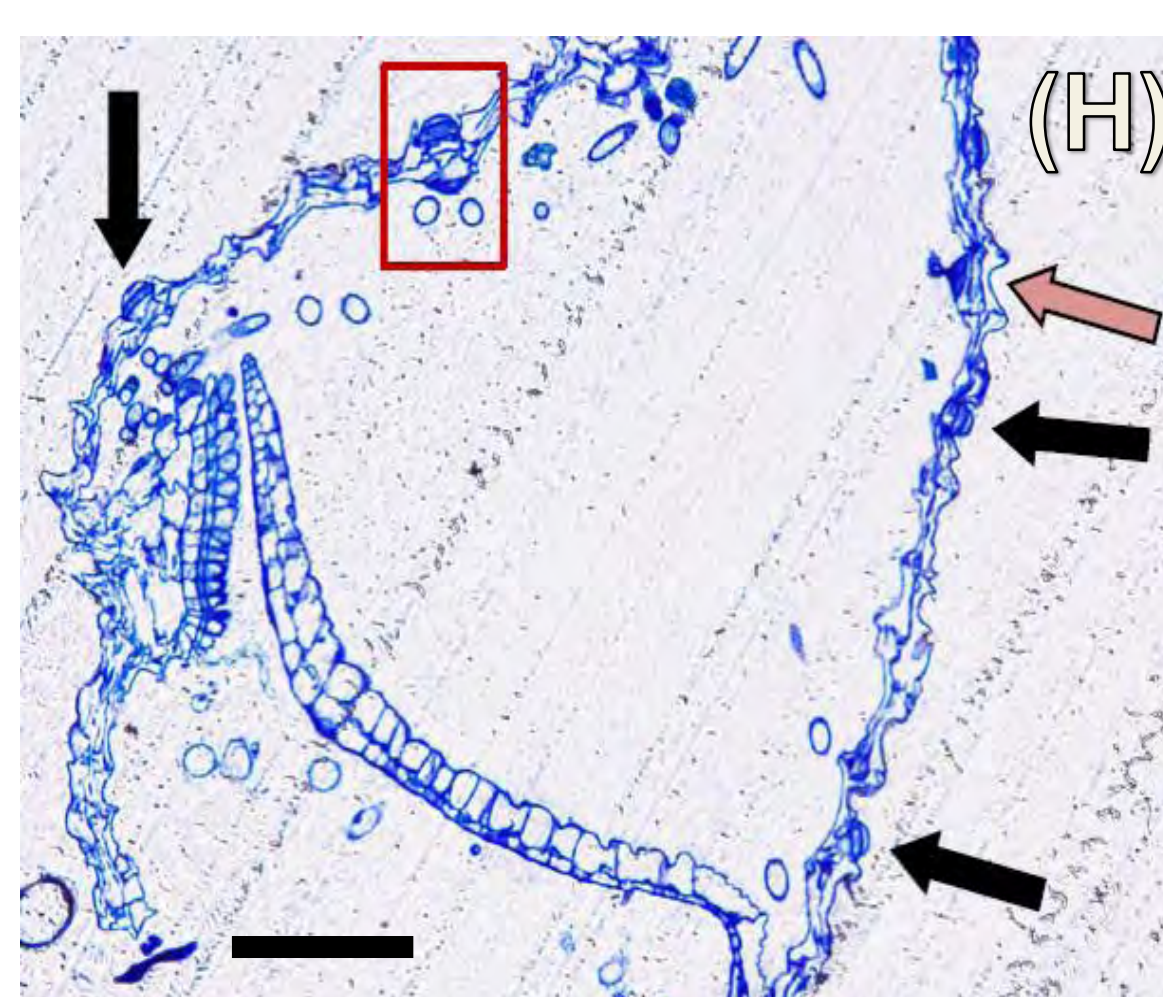
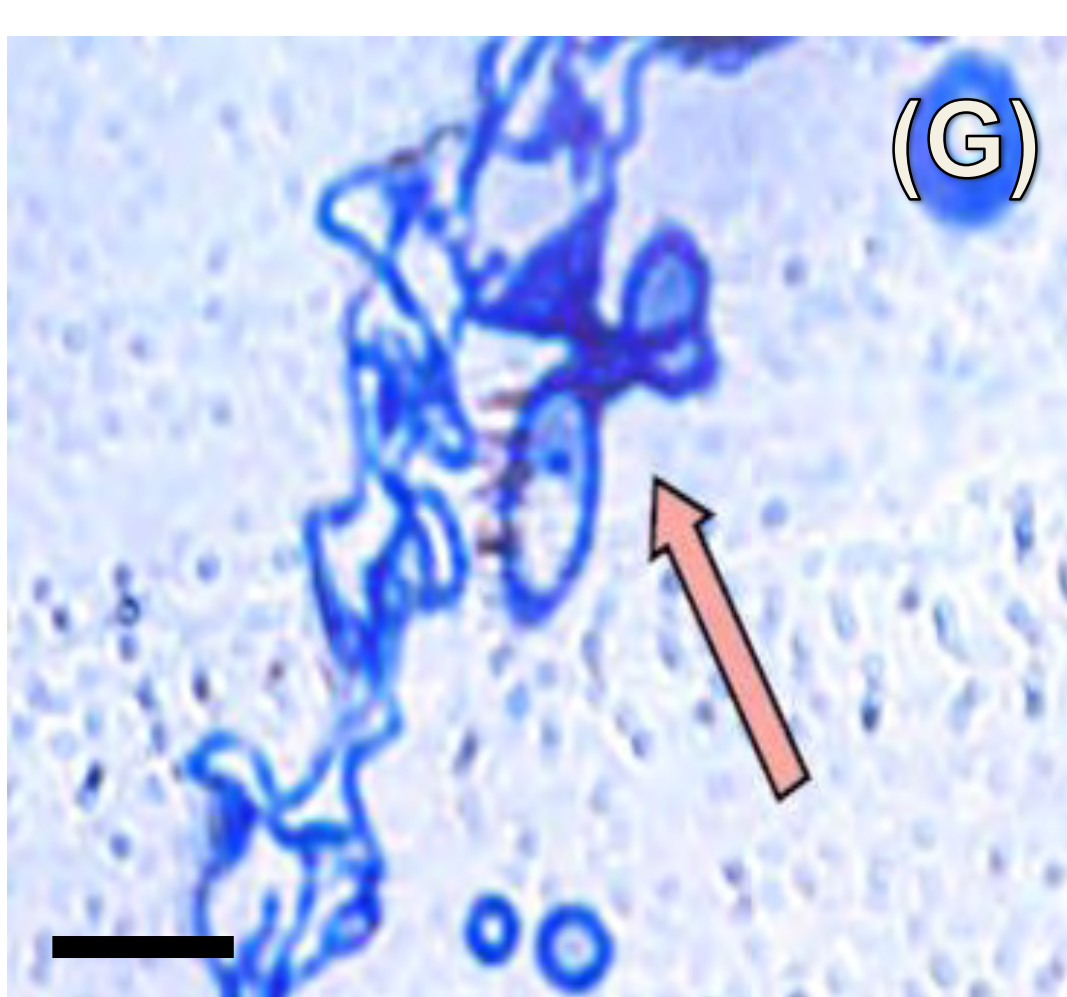


圖3



### 第三部分：絲葉狸藻捕蟲囊吸收水份及無機鹽、有機物的路徑

1. 不同物質:如水、葡萄糖、甘油吸收過程(圖4)與含氮物質出現特殊路徑的情形(圖5, 比例尺=20um)

2. 不同物質吸收速率的比較(圖6)

(1) 紅色色素吸收時間：葡萄糖 > 水 > 硝酸鉀 > 丙三醇(甘油) > 甘胺酸

(2) 紅色色素消失時間：甘胺酸 > 硝酸鉀 > 丙三醇(甘油) > 水 > 葡萄糖

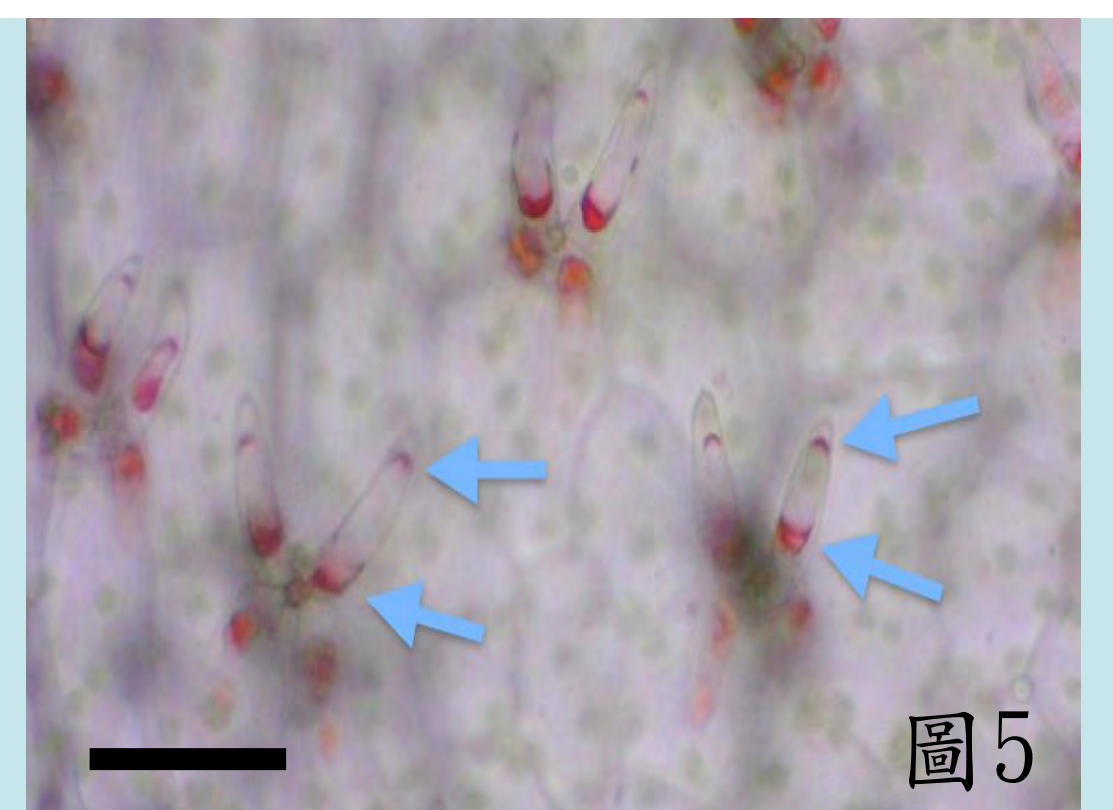


圖5

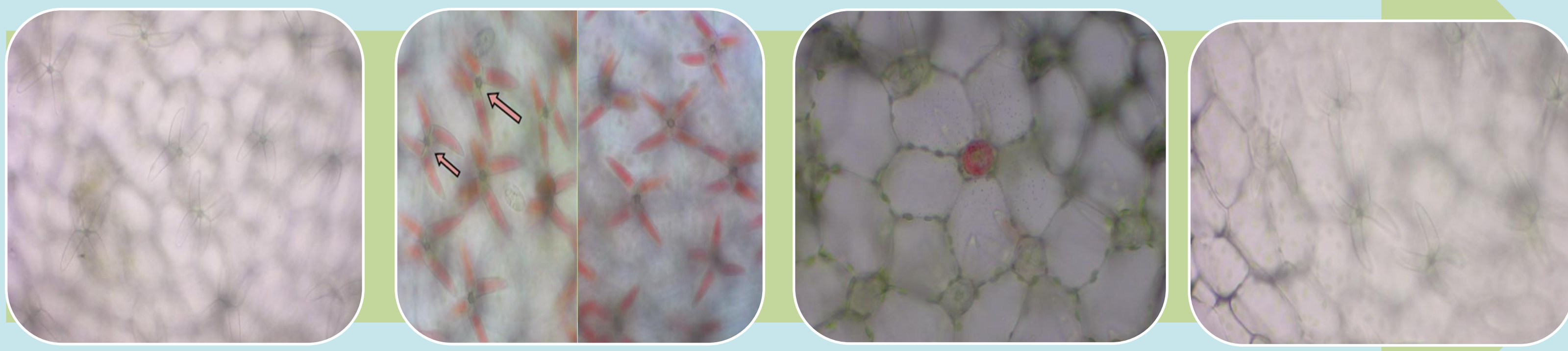


圖4

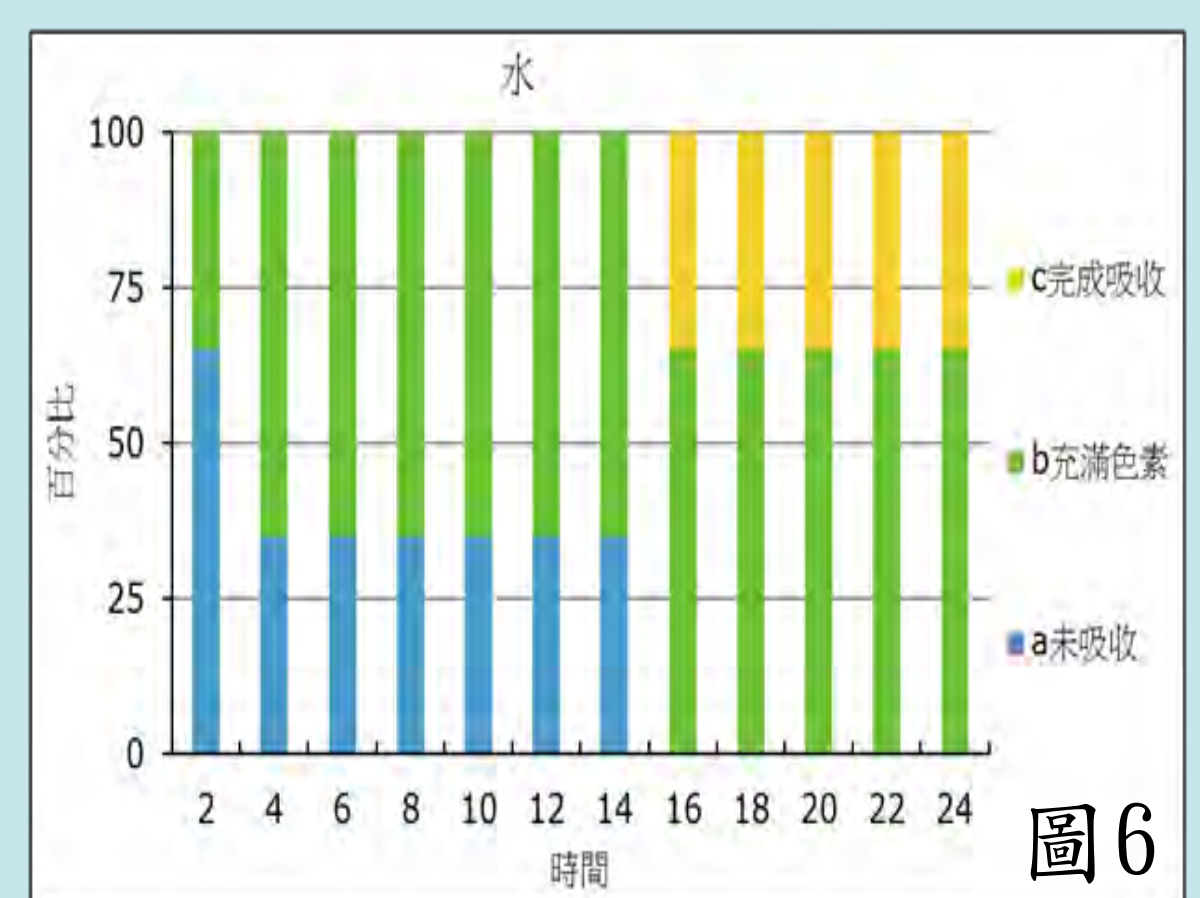


圖6

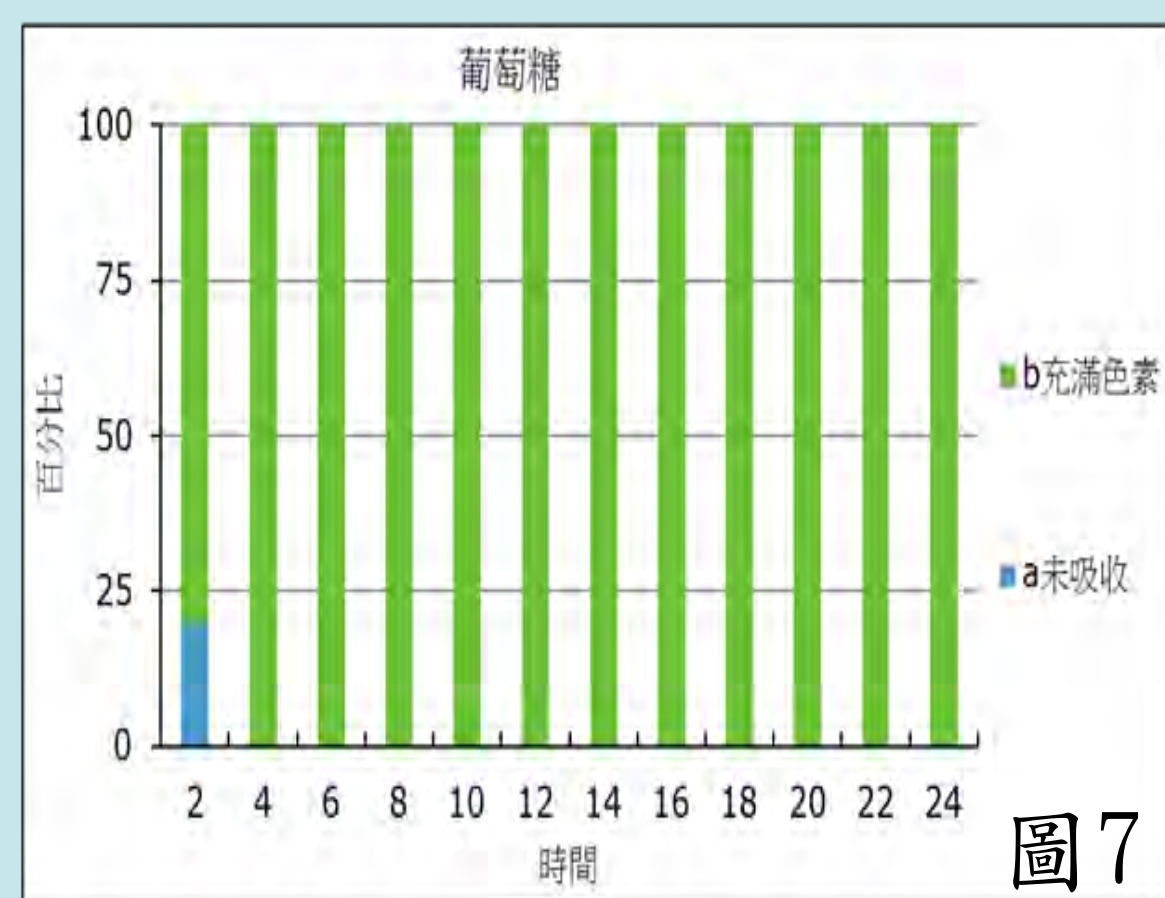


圖7

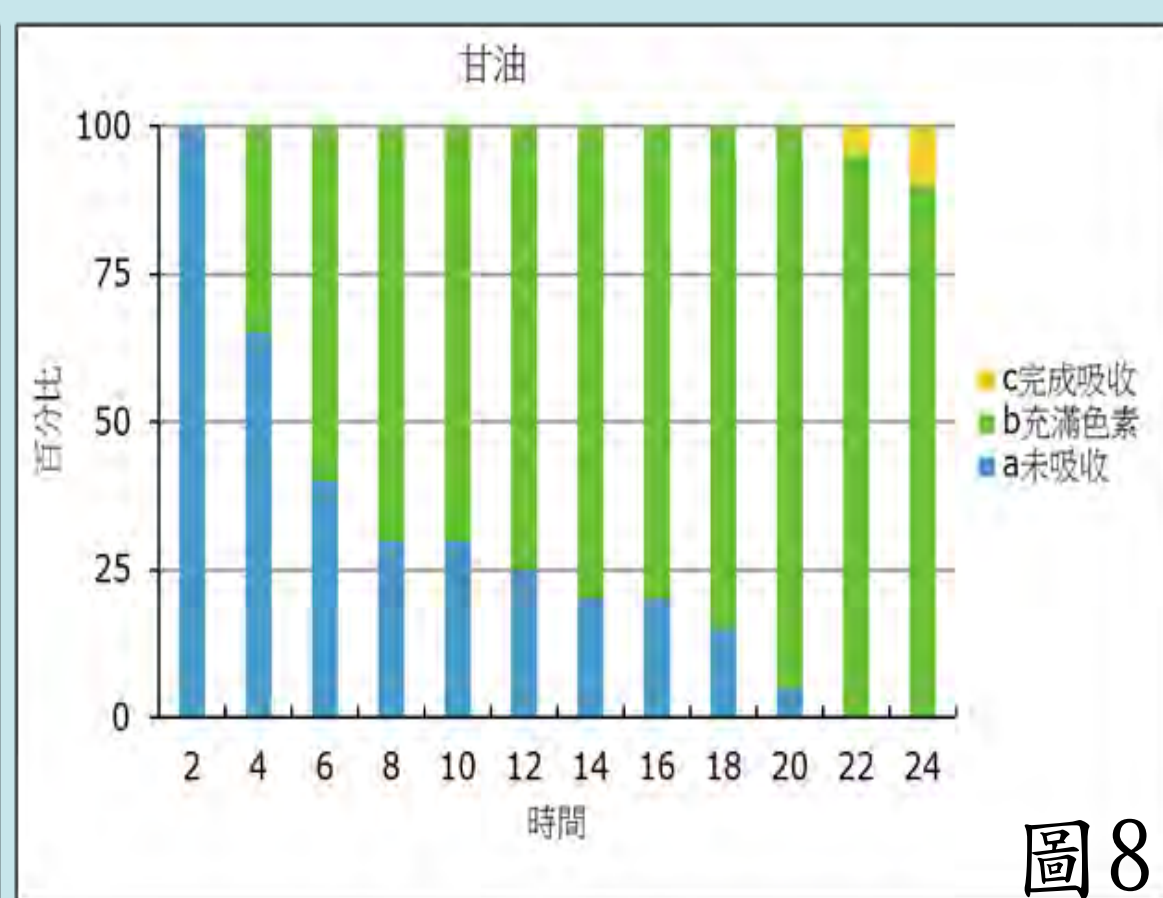


圖8

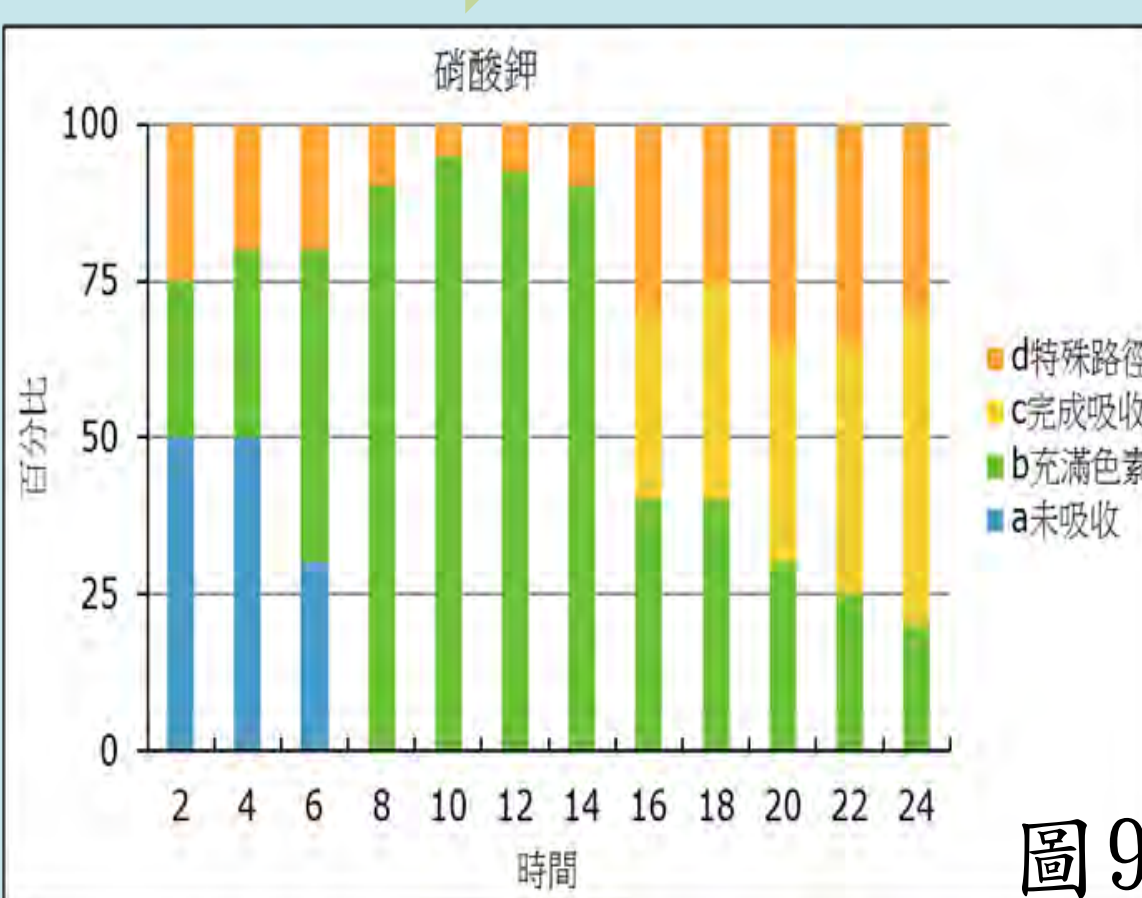


圖9

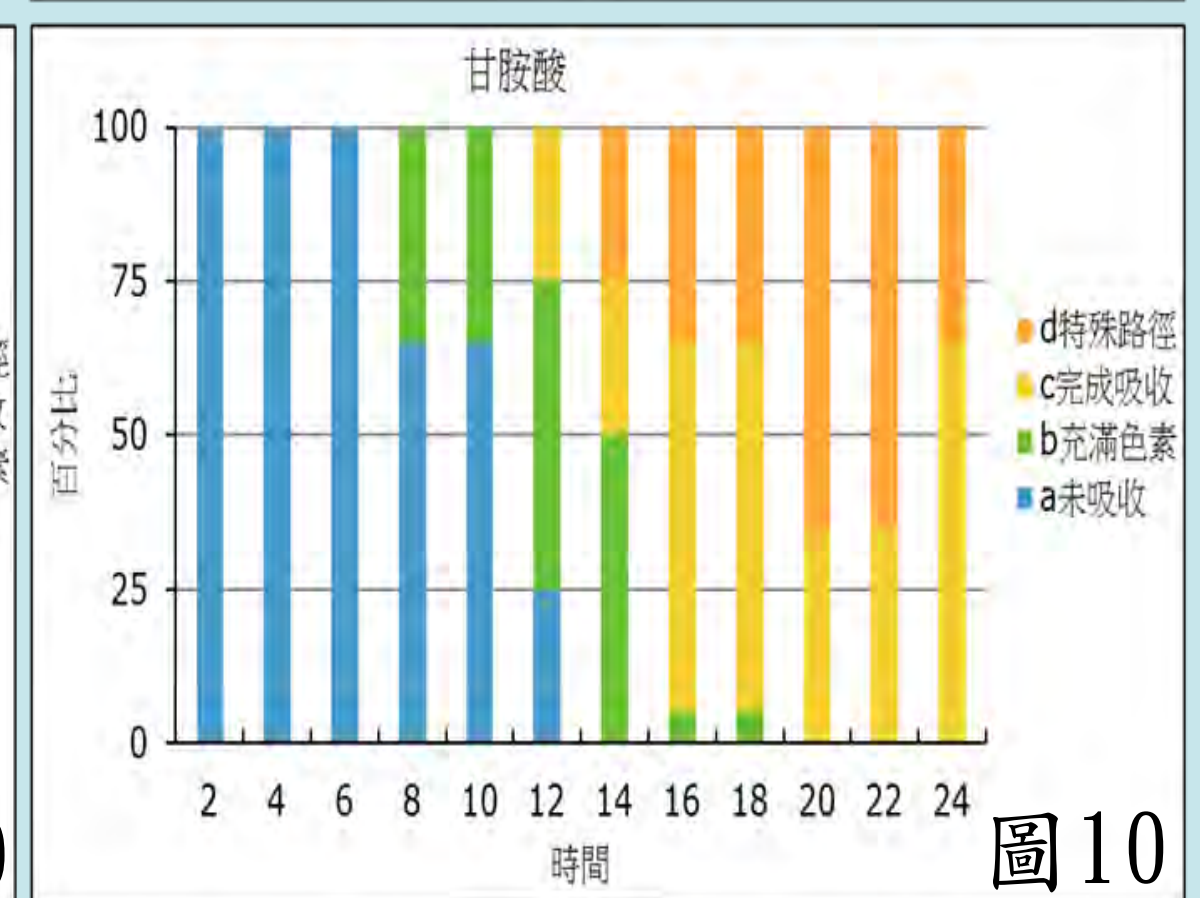


圖10

### 第四部分：影響絲葉狸藻捕蟲囊觸發運動的因素

※觸發前後的面積變化率%=(觸發後面積 - 觸發前面積) / 觸發前面積\*100%

#### (一)照光

1. 日光燈管照射：不同色光與照射白光相較，持續照射較短時間，如12小時到24小時，對觸發前後捕蟲囊的面積並無顯著的改變，持續照光2天後，照射紅光的捕蟲囊觸發後面積有顯著增加的情形，而藍光面積則是顯著減少(\*) (圖11)。

2. LED燈泡照射：

(1) 持續照光的情形顯示綠光與紅光的趨勢相似，觸發後面積變化率增加，而白光與藍光趨勢相似，觸發後面積變化率減少(圖12)。

(2) LED燈的照度在不同色光有明顯差異(藍光500~600Lux, 紅光1200~1500Lux, 白光2400~2600Lux, 綠光5000~6000Lux), 造成白、綠光的影響較紅、藍光明顯。

(3) 綠光：持續照射12小時後，捕蟲囊觸發後面積明顯增加。照射較長時間，24至48小時，捕蟲囊觸發後面積則是幾乎沒有變化。

(4) 兩天持續照光後，各色光對捕蟲囊觸發後面積皆無明顯變化。持續黑暗兩天，捕蟲囊觸發後面積顯著增加。

#### (二)溫度

1. 在室溫28°C 捕蟲囊觸發後面積變化率縮小。在5°C~40°C 的面積變化率比較，發現捕蟲囊在5°C、12°C及40°C的環境下面積變化沒有顯著差異(圖13)。

2. 在高溫處理(50°C)下捕蟲囊觸發後面積變化率則是顯著的增加。

### 第五部分：不同色光對光反應效率之影響

1. 紅光測得的氧化態DCPIP濃度較低，表示還原態DCPIP濃度較高，行光反應效率較高，但藍光測得的氧化態DCPIP濃度最高，表示還原態DCPIP濃度顯著較低，行光反應效率較其他色光低(圖14-1)。

2. 照光前後DCPIP濃度差值則顯示紅光最佳，黑暗及藍光則顯著較低(圖14-2)。

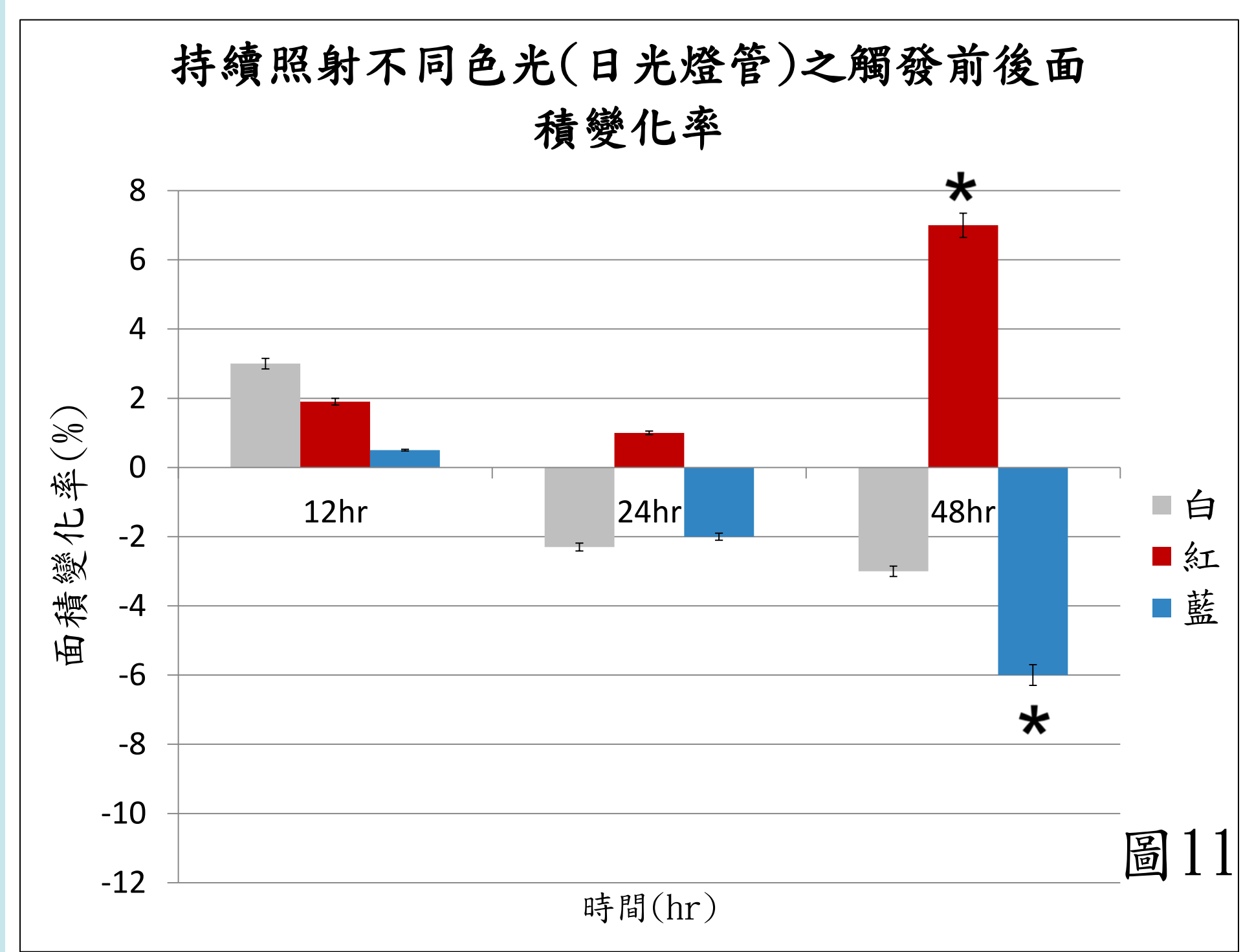


圖11

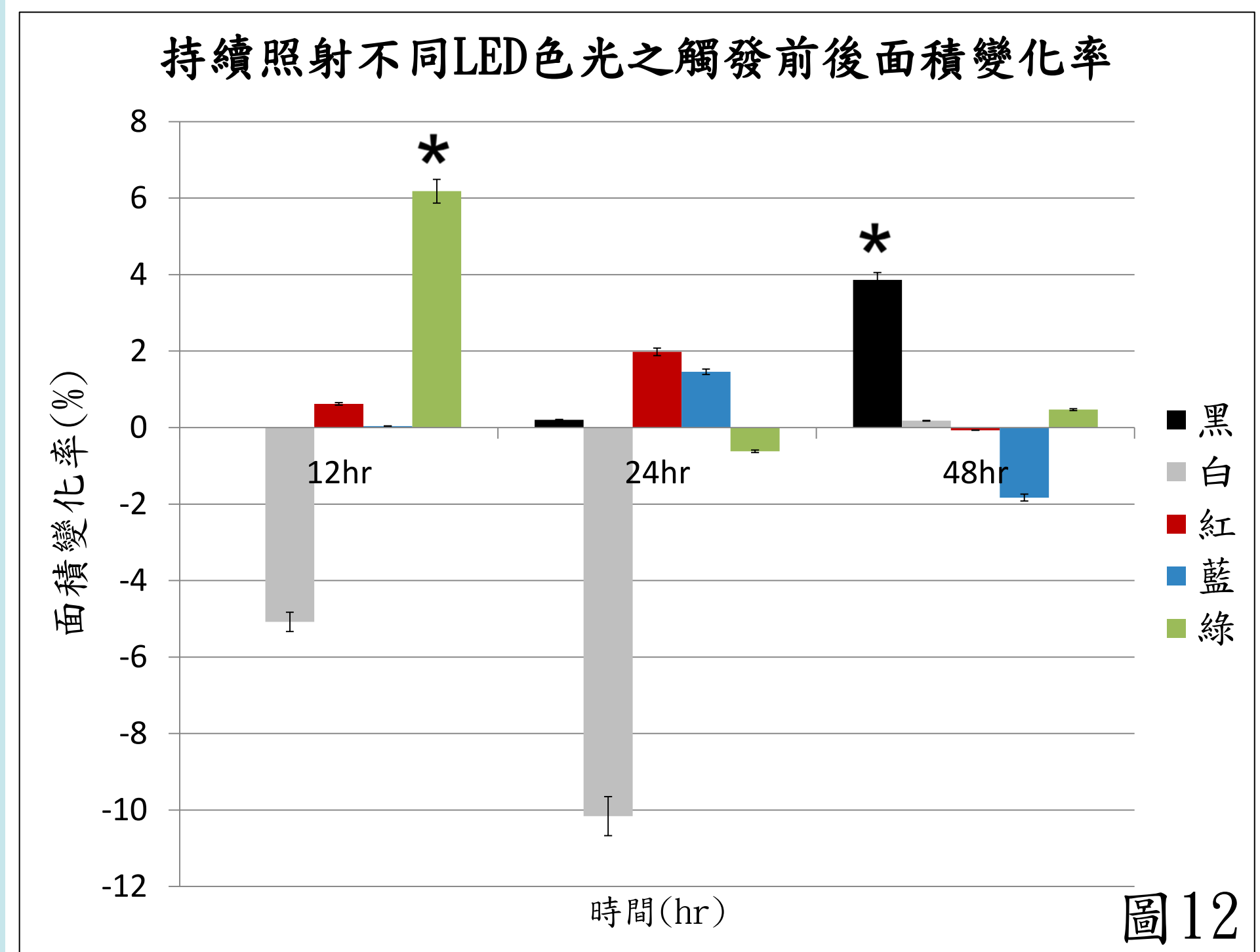


圖12

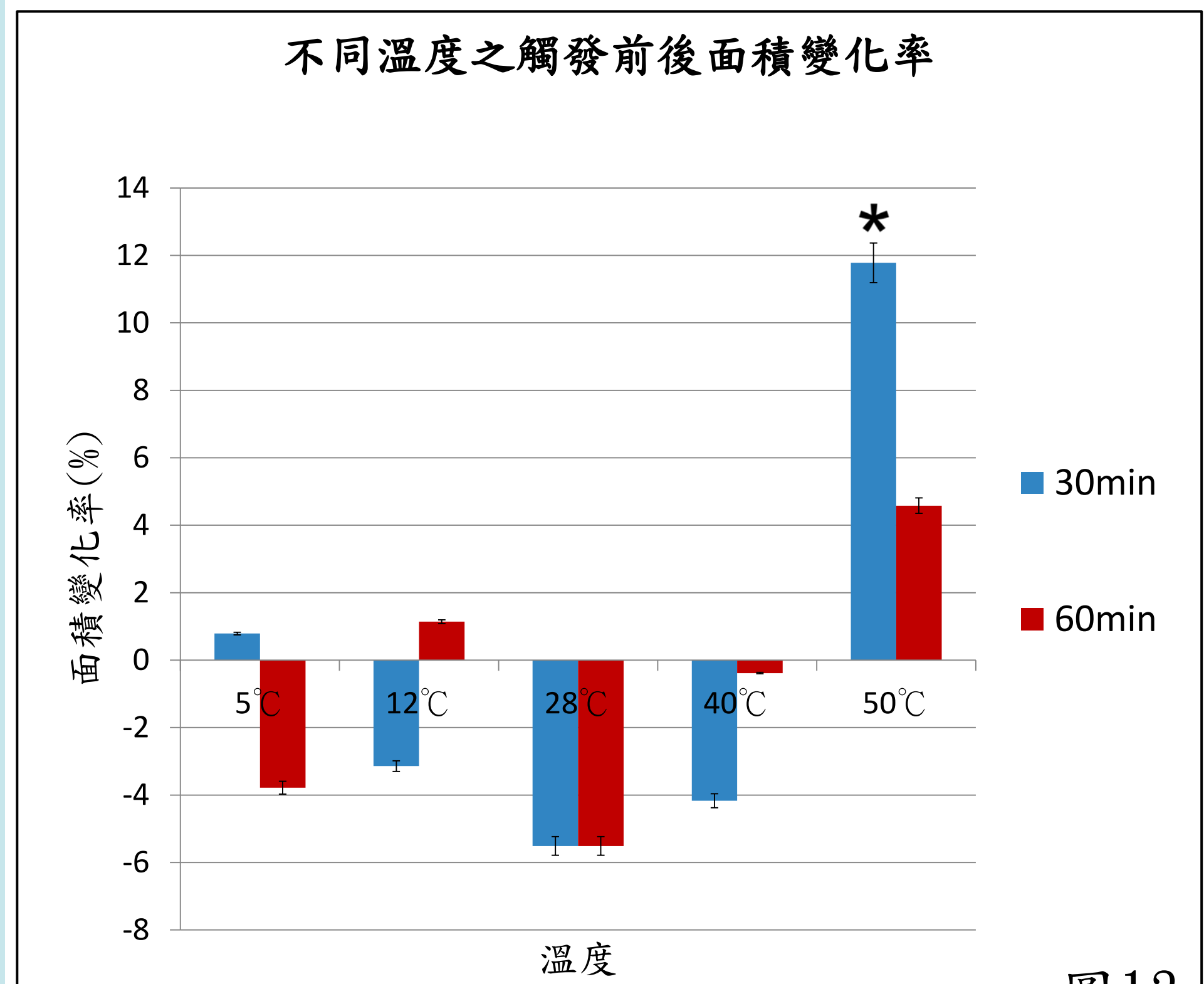


圖13

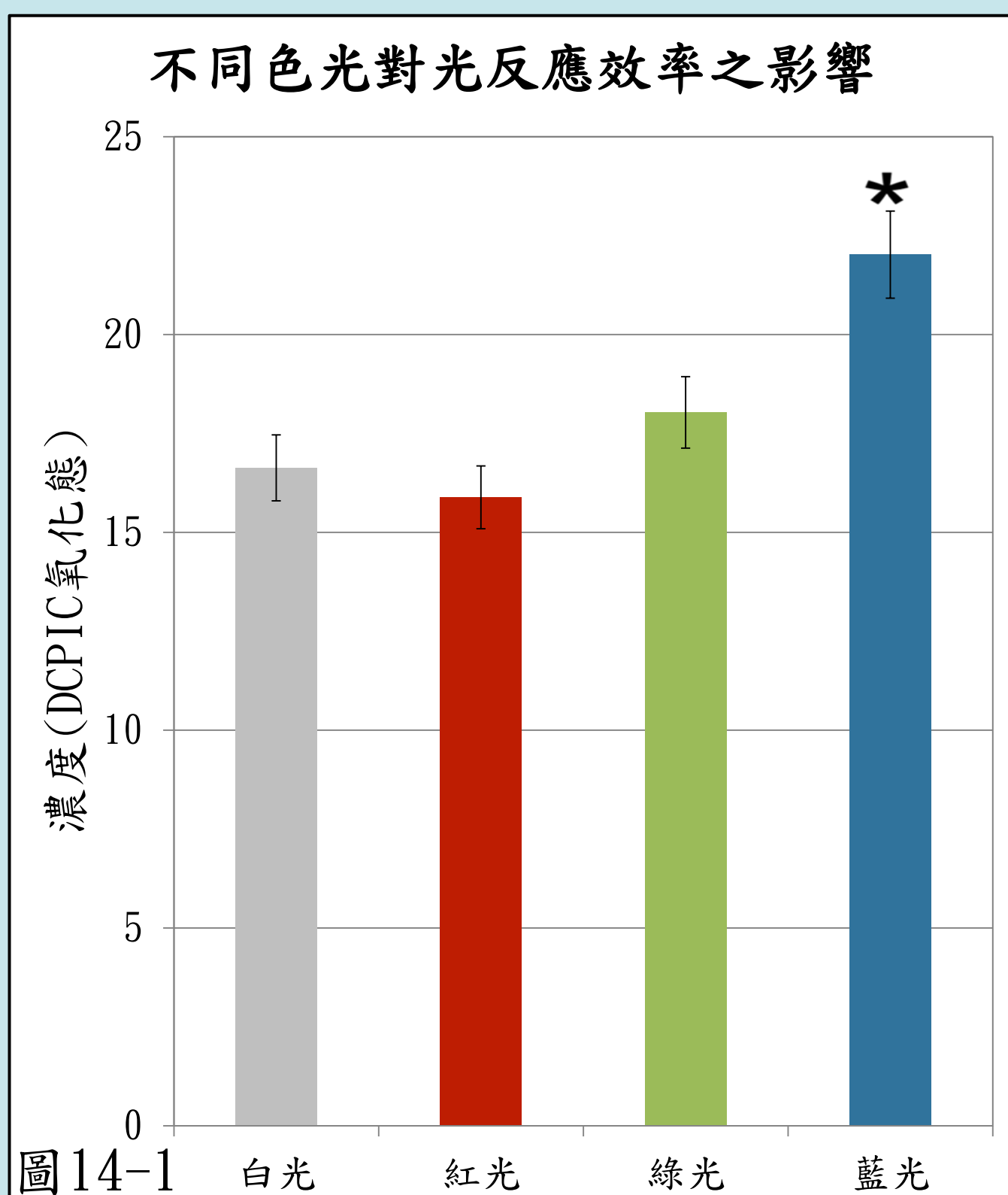


圖14-1

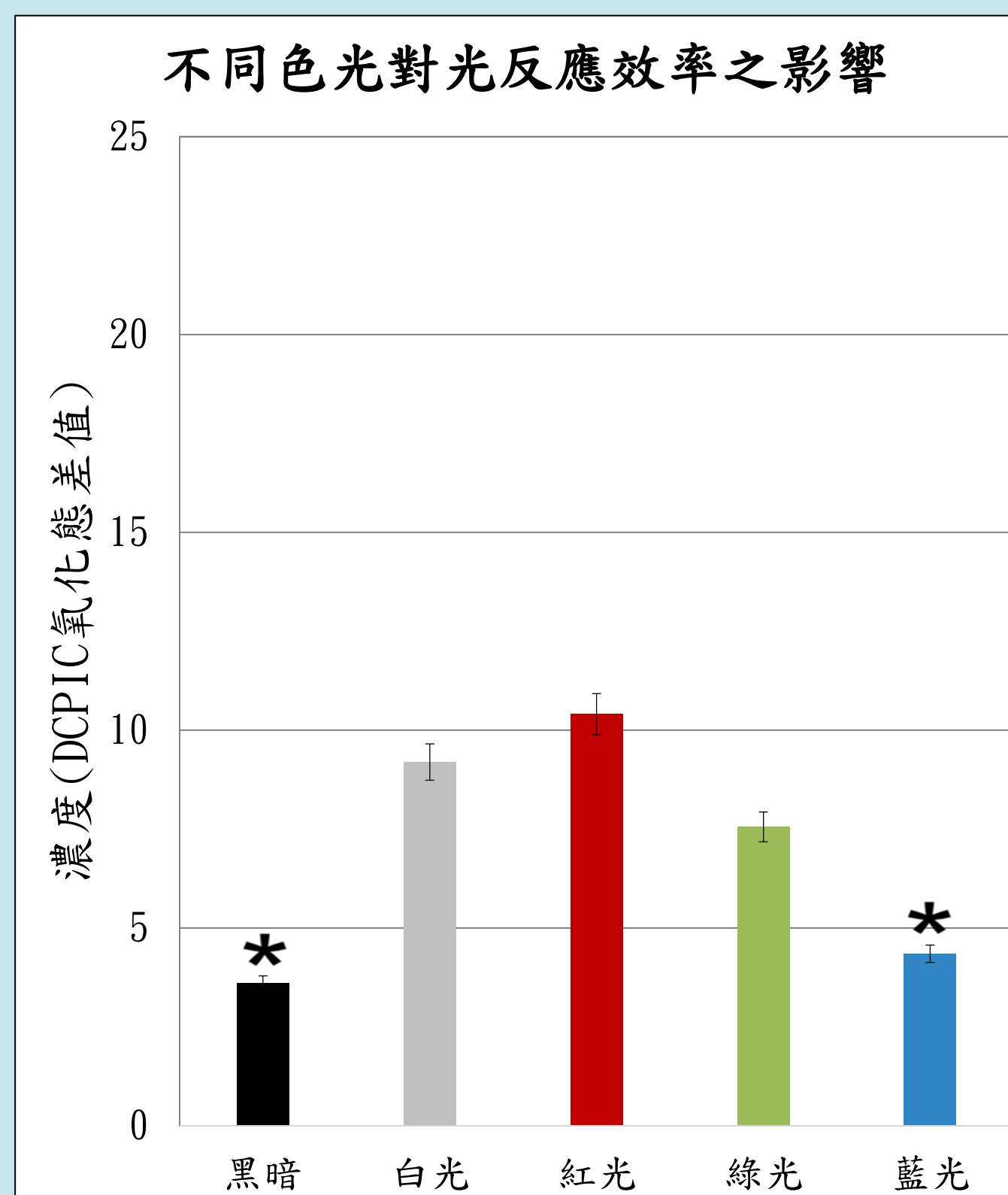


圖14-2

## 陸、研究討論

### 一、絲葉狸藻捕蟲囊外部型態

1. 在開口瓣膜附近的卡樺是主要的觸發機關，類似鼠籠的觸碰點，但是是位於閘門的外側而非內側，為機械性的觸發，遇酸鹼、溫度冷熱變化也不會被觸發吸入紅色色素。

2. 綜合半球型腺毛可能功能：配合四爪腺毛的吸收功能，排除多餘水分、廢物等物質，於四爪腺毛基部連接處觀察到的圓形葉綠體，也可能提供消耗能量的主動運輸，以協助水分排出，進而有助於囊內負壓的產生。

## 二、絲葉狸藻捕蟲囊對水份及無機鹽、有機物的吸收路徑

1. 在吸收方面，我們發現含氮物質，如**甘胺酸及硝酸根吸收速率較其他溶液快**，因此可以看出狸藻最需要的養分應是含氮養分優先。其餘養分如水、葡萄糖、丙三醇等吸收較慢，可能非狸藻的需求養分。
2. 葡萄糖雖然是最快進入四爪腺毛，但到24個小時後仍未從四爪腺毛中消失(圖7)，應是因照光時狸藻持續進行光合作用生產葡萄糖，故不需要再透過捕蟲囊吸收，可能為其吸收較慢的主要原因。
3. 除了水以外，其餘**養分在四爪腺毛中皆有出現特殊路徑**，其中又以硝酸鉀出現的頻率及數量最多(圖9)，可能是因為養分無法進入四爪腺毛內液胞，故色素在液胞周圍堆積成一圈。此結果與之前的研究報告，為四爪腺毛呈現四圓點而後消失有所差異(莊與莊，2006)。

## 三、絲葉狸藻捕蟲囊觸發運動的變化影響

1. 我們使用不同色光的LED燈泡照射狸藻，與先前實驗的結果略有差異(圖12)，推測與LED燈單一的波長，以及顯著差異的照度有關。因此照射藍、紅光的捕蟲囊觸發後面積無明顯變化，可能是照度相對於綠光與白光較低的緣故。另外，兩天持續照光後，各色光面積變化率皆不明顯，推測是連續的LED燈光照對捕蟲囊刺激太強，甚至造成光傷害而減弱其反應的變化。
2. 觸發後吸入紅色色素溶液，原本預期體積會變大，但從側面測得的面積大多是不變或縮小主要是觀察角度的原因，在觸發運動的瞬間，若從**正上方的角度來看是鼓脹狀態而造成側面觀測的面積變小**(圖15)，側面觀測的面積變大的原因則可能是囊壁失去負壓的彈性。
3. 狸藻是浮水性無根植物，一般較長光波對水的介質穿透性較佳，因此**紅光行光合作用效率較高**，但促使捕蟲囊排水產生負壓的卻是藍光以及有藍光的LED白光，能提升其捕蟲效率。水蚤是狸藻捕蟲囊中常見的食物，其對紅光的趨性較藍光強(洪等，2008)，若能先以藍光使捕蟲囊產生負壓，再同時照紅光吸引水蚤活動，應該可使捕蟲囊快速捕捉到其食物。

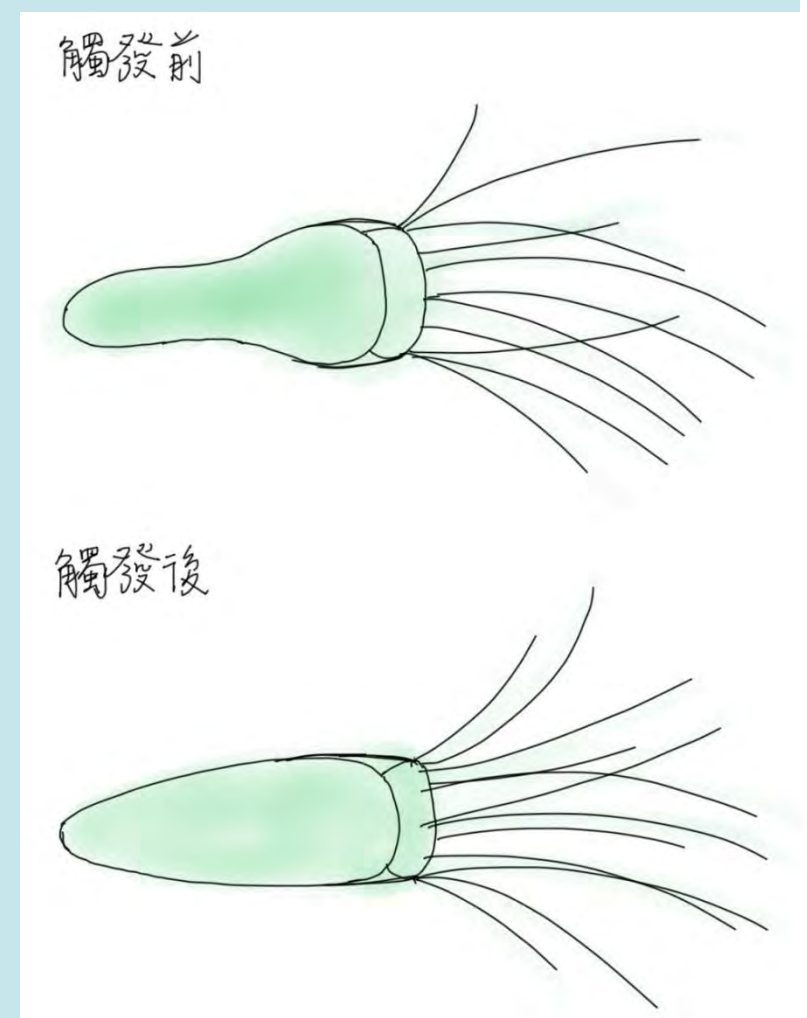


圖15

## 四、不同溫度對捕蟲囊面積變化率的影響

1. 45~50°C以上的高溫，可能會造成捕蟲囊的水通道、離子通道蛋白失去作用或是酶的活性停止，造成觸發後的面積變化率顯著上升，甚至狸藻的死亡(圖13)。
2. 5~12°C的低溫觸發後面積略偏正值，影響不如高溫明顯。由此可發現捕蟲囊的機械性構造對低溫有較高的耐受性。

## 柒、結論

一、捕蟲囊的特殊構造類似小型捕鼠器，其利用負壓捕蟲及排水的機制是所有捕蟲植物中最快速。我們發現捕蟲囊口的重要觸發機關及囊袋上的特殊構造，而**半球型腺毛應與捕蟲囊的排水功能及負壓產生有關**(圖16)。

二、無根的絲葉狸藻能利用葉子特化的構造—捕蟲囊，來協助含氮養份的收集與輸送。捕蟲囊的消化與吸收目前已有初步的對其內部消化酶與食用色素的吸收進行研究，本報告進一步確認**營養物質的吸收過程及證實不同的特殊路徑**，期待未來對捕蟲囊中獵物消化與吸收的過程能有更深的了解。

三、雖然狸藻光反應的效率在藍光照射下效率較低，捕蟲運動卻會受到環境中不同光照來源及光線頻率影響，發現使用**日光燈管罩藍色玻璃紙，或是使用具有藍光的高照度白光LED燈最有助於負壓的產生**(圖17)。另外，捕蟲運動在不同溫度的影響，則是常溫(28°C)為最佳，低溫下的耐受度又較高溫為佳。

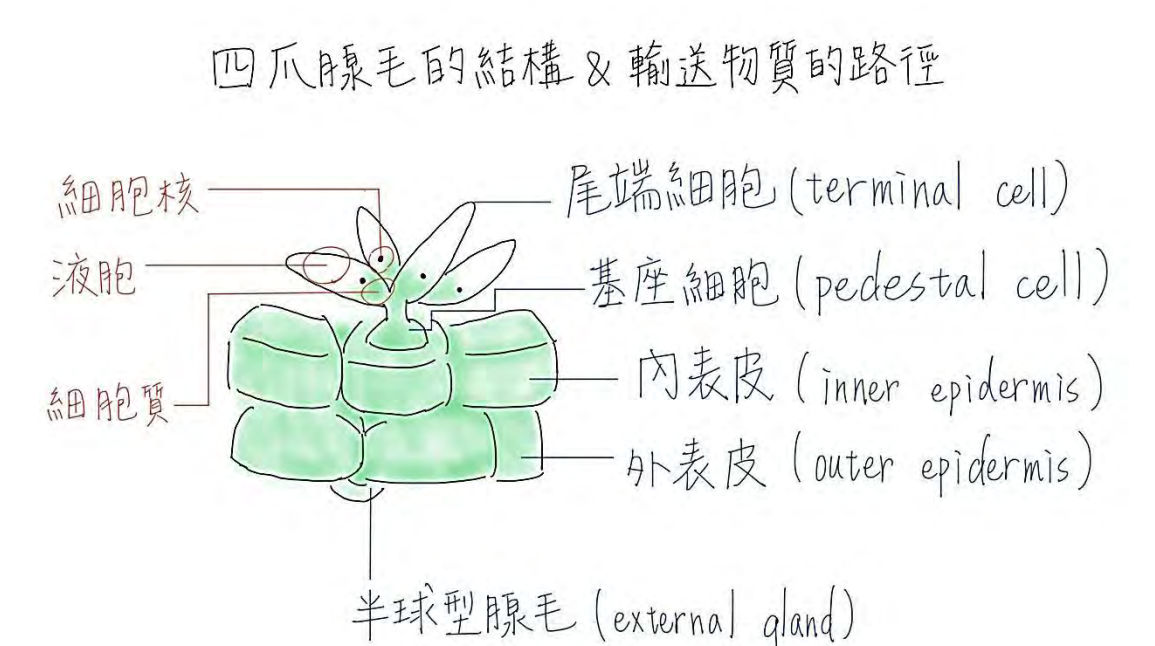


圖16

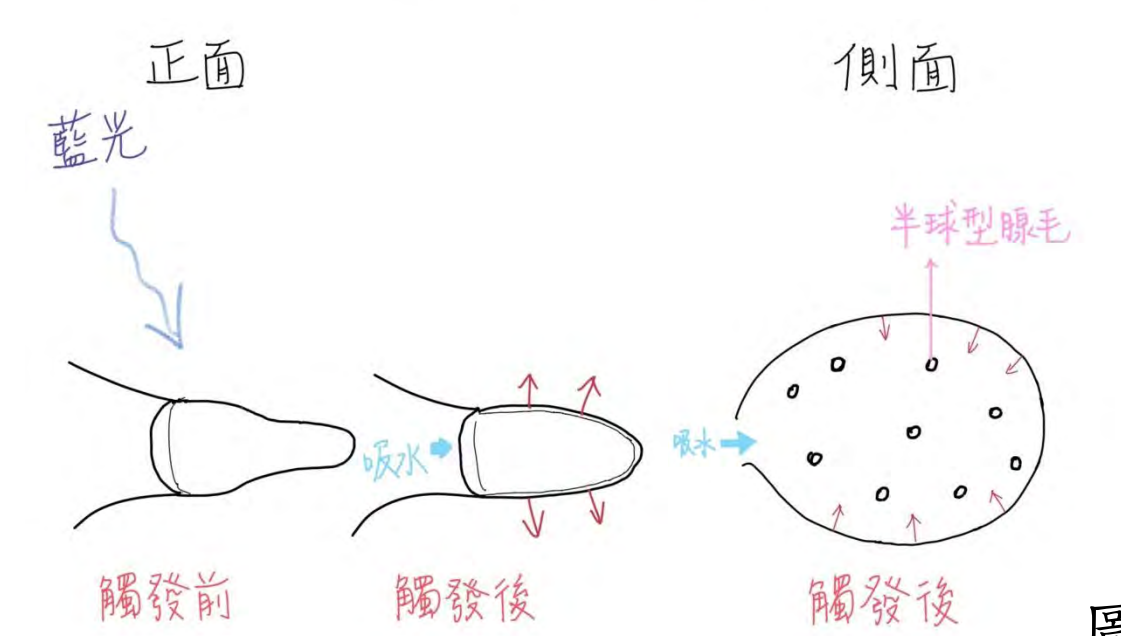


圖17

## 捌、未來展望

1. 絲葉狸藻捕蟲囊與大量眼蟲的相互關係，是寄生、競爭、片利還是互利的角色，尚待進一步的釐清。

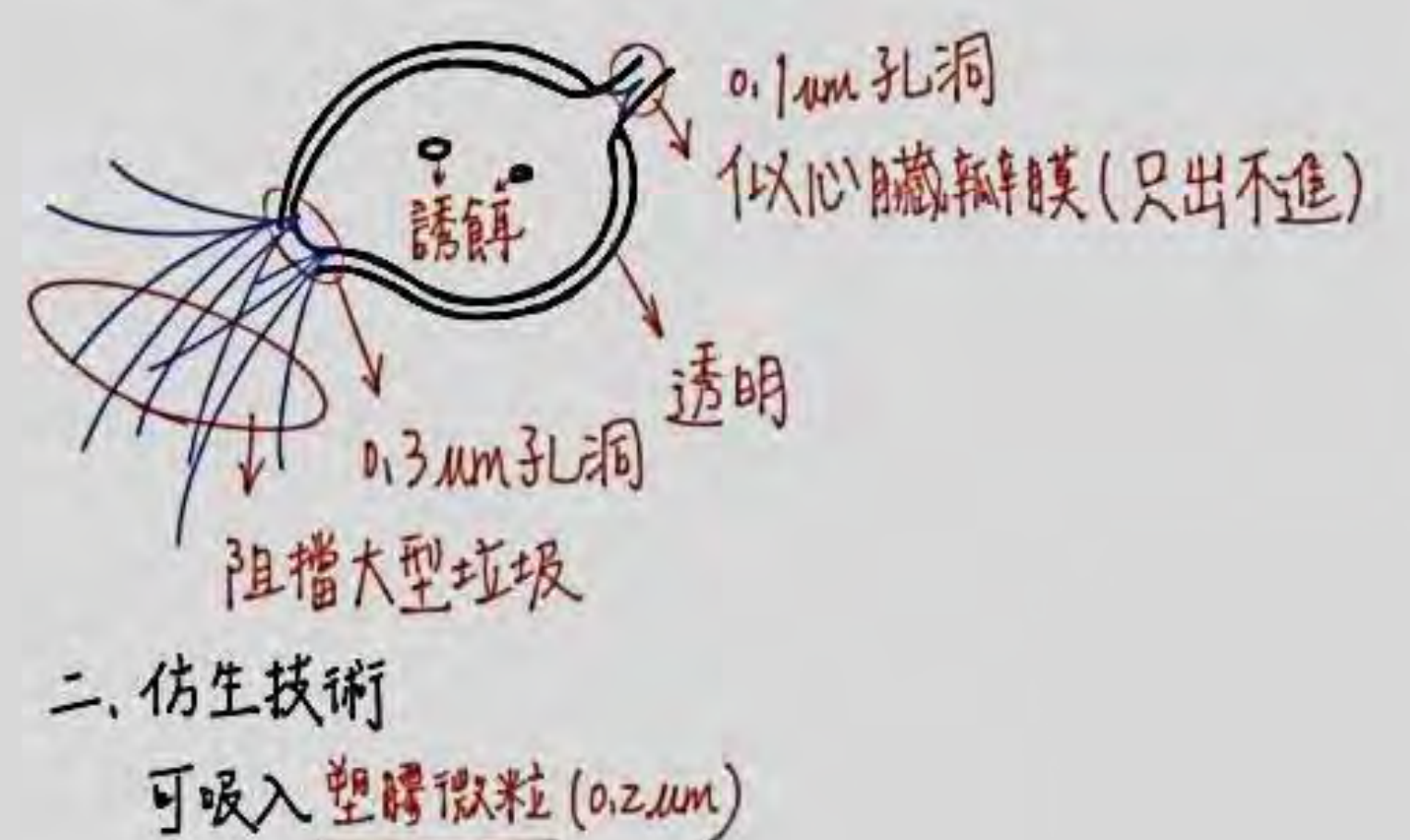
2. 捕蟲囊透過負壓快速吸入囊口生物，再經由半球形腺毛排出水分的機制，可透過仿生技術將其以不同材料製成一機械囊袋。在漁業應用上，可替代需要誘餌的傳統捕蝦籠或漁網，以快速吸入的功能捕捉獵物，再用囊袋上的孔洞排出不必要的水或水生藻類；永續方面，水中塑膠微粒是難以過濾分解，且對水中生物會造成極大危害的污染源，因此可在上述囊袋內加裝孔洞小於0.2微米(塑膠微粒大小)的過濾網，將微粒留在袋內，再以孔洞排出不小心吸入的藻類、水中生物、及水，希望能對海水污染做出貢獻(圖18)。

3. 利用仿生技術，將此原理運用在布料製作上，設計照光後產生形變以達到保暖的效果。

4. 運用光觸媒的原理，使其照光時體積變化，產生負壓吸收懸浮微粒以達到空氣清淨的作用。

5. 應用在太陽能電板的網狀設計模式以提升產電效率。

### 一、構造圖



### 三、步驟

(1) 在船上充滿空氣後



(2) 放長線到深海中，空氣排出形成負壓。



(3) 魚撞到囊口後，引發機制吸入塑膠微粒



(4) 上下移動，經過一段時間囊袋中剩下塑膠微粒、誘餌、水

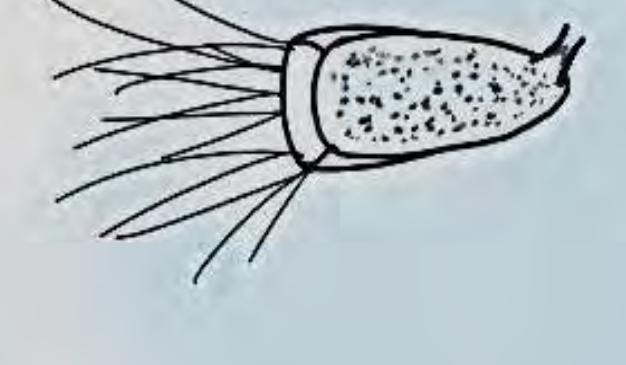


圖18

## 玖、參考文獻

- 1、洪偉軒、蔡欣樺、陳慧洵、王思楨(2009)水中的吸塵器-黃花狸藻生活史觀察以及捕蟲行為與消化功能研究。第50屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 2、莊迪喬(2004)。台灣本土水生食蟲植物—絲葉狸藻的囊裡乾坤。第四十四屆中小學科學展覽會作品說明書
- 3、莊迪喬、莊淳喬(2006)。水生開花食蟲植物絲葉狸藻捕蟲囊構造及共質體輸送。台灣2006國際科學展覽會。
- 4、謝雅斤、徐亞寧、方奕傑(2011)。水生食蟲植物小祕密—絲葉狸藻。生物類小論文作品。
- 5、蘇襄(2013)。會開花的捕手—黃花狸藻。生物類小論文作品。
- 6、Koller-Peroutka M, Lendl T, Watzka M and Adlassnig W. (2015) Capture of algae promotes growth and propagation in aquatic *Utricularia*. *Annals of Botany* 115: 227–236.
- 7、Sirová D, Adamecand L, Vrba J. (2003) Enzymatic activities in traps of four aquatic species of the carnivorous genus *Utricularia*. *New Phytologist* 159: 669–675.
- 8、Vincent O, Weisskopf C, Poppinga S, Masselter T, Speck T, Joyeux M, Quilliet C, Marmottant P. (2011) Ultra-fast underwater suction traps. *Proceedings of the royal society B: Biological Sciences* 278, 2909-2914.
- 9、豬籠草、毛氈苔及捕蠅草之資料參考維基百科<https://zh.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:%E9%A6%96%E9%A1%B5>