

2022 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 060013

參展科別 植物學

作品名稱 探討豬籠草捕蟲籠的組織結構、發育吸收與物理結構 **Explore the Organizational Structure, Development, Absorption and Physical Structure of Pitchers of Nepenthes**

得獎獎項

就讀學校 國立潮州高級中學

指導教師 林燈烟、楊勝惠

作者姓名 蕭羽安、王心柔、廖婉汝

關鍵詞 豬籠草、無柄腺、籠蔓

作者簡介



我們是國立潮州高中三年級的學生，分別是廖婉汝(左)、蕭羽安(中)、王心柔(右)，很高興能夠擁有這次的機會參與國際科展。雖然在整個實驗過程中，我們經歷意見上的不合、協調實驗時間和工作分配以及實驗失敗的挫折等，但我們也慢慢地從中成長。在老師的帶領下，最終順利將實驗如期完成，這燃起我們對於科學實驗的熱情，並激勵著我們朝科學之路邁進。

摘要

紅瓶豬籠草的捕蟲構造是由膨大後的葉柄固定在莖上，再由葉柄下凸的維管束及扁平處的維管束內縮向前端延伸發育成籠蔓，緊接著籠蔓的前端再膨大並經由細胞凋亡特化出類圓筒型、封閉的「空心葉」，最後特化出無柄腺鑲嵌在內層細胞上負責分泌、消化、吸收。無柄腺旁的原生質絲直徑較一般植物大 5-10 倍，幫助吸收。由於籠蓋不能閉合，下雨天時籠內物質容易傾倒，豬籠草演化出「來者不拒」的捕食策略。除了紅色食用色素和無機物以外，不管是含氮物、水溶性、酯溶性小分子皆吸收，甚至連蔗糖及大分子的澱粉、蛋白質，都以耗能的胞吞作用吸收，這與捕蠅草只吸收小分子的含氮物質及酯溶性的物質不同。而懸吊捕蟲籠的籠蔓，可以比自身重 35 倍的超強支撐力，維持捕蟲籠開口向上不傾倒溢出，保持較高的自然盛載量，提升捕食競爭力。

Abstract

The insect-catching structure of *Nepenthes × ventrata* is fixed on the stem by the enlarged petiole. Then the vascular bundles of the protruding part under the petioles and the vascular bundles of the flat petioles shrink together internally and extend frontally to develop into a tendril. Immediately, the front end of the tendril enlarges and specializes into a cylindrical and closed “hollow leaf” by apoptosis. Eventually, it specializes sessile glands which inlaid in the inner cells to be responsible for secretion, digestion, and absorption. The diameter of plasmodesmata besides sessile glands is five to ten times larger than the normal one, helping it absorb. Since the lid cannot close, the fluids in the pitcher cup pour out easily on rainy days. Thus, the *Nepenthes* evolves into a predation strategy of “refusing no one.” Apart from red food coloring and inorganic matter, it absorbs everything such as nitrogen carrier, water-soluble molecule, ester-soluble small molecules, sucrose, or macromolecular starch and protein can all be absorbed by the *nepenthes* through energy-consuming endocytosis. However, this differs from the Venus flytrap, which only absorbs small molecules of nitrogenous and fat-soluble substances. Moreover, the tendril that hangs the pitcher has a supporting force that is 35 times heavier than itself that can keep the pitcher opening upward without pouring out the liquids. This maintains its high and natural carrying capacity as well as increases its competitiveness in predation.

壹、前言

一、研究動機

豬籠草是以「靜態」陷阱，讓昆蟲掉入再消化吸收，而且籠蓋又不能閉合，遇到下雨天的時候水就會溢出，籠內食物也會大量損失。這種靠運氣捕食的設計，並不是很理想。再者豬籠草的捕蟲結構，是以一根細小的籠蔓懸吊著巨大的捕蟲籠，這種特殊的力學結構，讓我們很好奇。因此；我們想要透過實驗設計，嘗試去了解，豬籠草在演化上如何去彌補「靜態」陷阱的不足，並經由結構分析，進一步解釋豬籠草如何用一根細小的籠蔓，可以撐著巨大的捕蟲籠開口維持向上，以提高捕食效率。

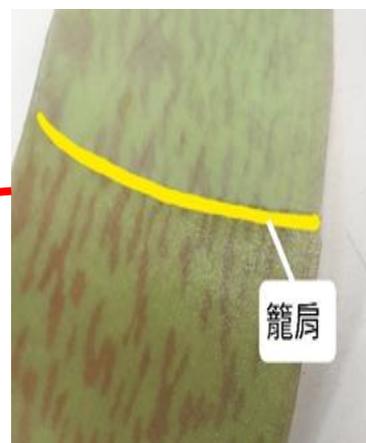
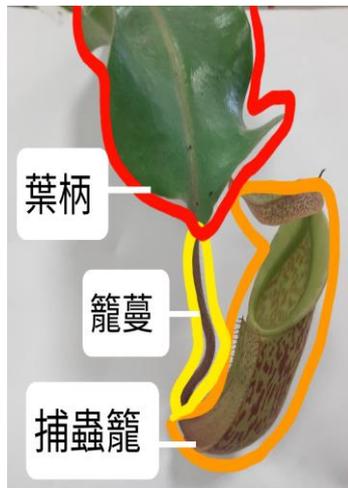
二、研究目的

- (一)觀察豬籠草的捕蟲籠構造
- (二)探討捕蟲籠的發育過程
- (三)探討捕蟲籠無柄腺的吸收與運輸路徑
- (四)探討影響捕蟲籠自然盛載量的因素

貳、研究方法或過程

一、研究設備及器材

數位複式顯微鏡	針筒	滴定管	氨水	白紙
筆記型電腦	刀片	載玻片	澱粉	蒸餾水
銀色奇異筆	手機	蓋玻片	甘油	甘胺酸
數位量角器	燒杯	蘇丹紅	石膏	葡萄糖
紅色食用色素	滴管	豬籠草	牛奶	硝酸鉀



二、研究方法與過程

(一)收集資料：

1. 豬籠草的物種分類：

界：植物界 Plantae

門：被子植物門 Magnoliophyta

綱：雙子葉植物綱 Magnoliopsida

目：石竹目 Caryophyllales

科：豬籠草科 Nepenthaceae

屬：豬籠草屬 *Nepenthes*

種：紅瓶豬籠草 *Nepenthes × ventrata*

2. 認識豬籠草：

紅瓶豬籠草（學名：*Nepenthes × ventrata*）原產於熱帶亞洲，是翼狀豬籠草（*N. alata*）和葫蘆豬籠草（*N. ventricosa*）的自然雜交種它也是組織培養最為常見的品種，屬藤本多年生雙子葉草本植物。葉片為互生呈長橢圓形，全綠。中脈延長為捲鬚，末端有籠蔓連接著一個圓柱形的捕蟲籠。瓶口邊緣厚，上有籠蓋，成熟後張開就不能再閉合。籠色以綠色為底，有褐色或紅色的斑點和條紋。雌雄異株，總狀花序。豬籠草主要靠光合作用製造食物，而昆蟲可作為氮的的輔助來源，以幫助合成蛋白質。食蟲植物約有四百多種，但捕蟲設計差異很大。像毛氈苔以分泌黏液方式，黏住昆蟲再消化吸收。捕蠅草是以「運動」的方式進行捕食再消化，而豬籠草卻是以「靜態」陷阱，讓昆蟲掉入再消化吸收，這種靠運氣捕食的設計，並不是很理想。而且豬籠草捕蟲結構的演化，從 19 世紀早期的葉柄理論（phyllodial theory）、附屬理論（appendicular theory）到 20 世紀的葉身理論（laminar theory），以及目前所謂的盾狀葉理論（modified peltation theory）更是眾說紛紜(Daniel. 1976)。因此；我們想要透過各種實驗設計，嘗試去了解，豬籠草在演化上如何去彌補「靜態」陷阱的不足，甚至經由結構分析，進一步解釋豬籠草捕蟲結構的演化。

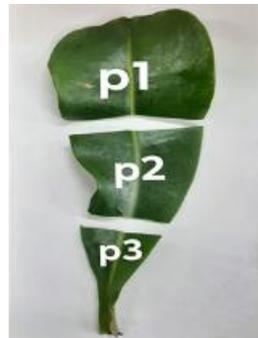
三、進行實驗

(一)觀察豬籠草的捕蟲籠的構造

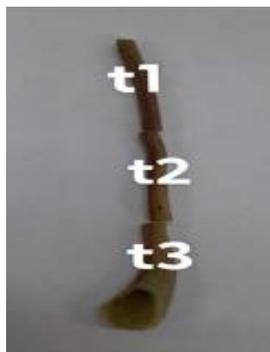
1. 將捕蟲葉區分為葉柄(petiole)、籠蔓(tendrils)及捕蟲籠(pitcher cup)三部分(圖一)，再將葉柄(petiole)分為 p1、p2、p3(圖二)，籠蔓(tendrils) 分為 t1、t2、t3(圖三)，捕蟲籠(pitcher cup)分為 c1 到 c12 各十二個區塊(圖四) 以解剖刀和鑷子各切取一層細胞之厚度，做成玻片標本置於複式顯微鏡(400X)下觀察各區塊的表皮細胞，拍照並記錄保衛細胞的單位面積的數量比。
2. 以橫切方式切取各區塊薄片，置於複式顯微鏡(100X)下觀察，拍照並記錄內部結構與維管束排列。
3. 另將籠蔓橫切薄片放入培養皿中，並以蘇丹紅染液浸泡5分鐘。再將籠蔓薄片以鑷子取出，先後以滴管吸取95%酒精及99%酒精分別沖洗一分鐘。將清洗後的籠蔓橫切片至於複式顯微鏡下觀察(400X)，拍照並紀錄籠蔓木質素的分布狀況。



圖一



圖二



圖三



圖四

(二)探討捕蟲籠的發育過程

1.實驗步驟：

- (1) 分別以橫切方式切取葉柄尖端(圖五)、初長籠蔓基部(圖六)、籠蔓尖端開始膨大處基部(圖七)、籠蔓尖端膨大後的基部(圖八)、以及將成熟捕蟲籠基部(圖九)等，發育到不同階段的薄片，置於複式顯微鏡(400×)下觀察，拍照並記錄。
- (2) 改取1個完全成熟後的捕蟲籠，分別以橫切方式切取葉柄尖端與籠蔓基部位置(圖十A)、籠蔓中段(圖十B)、籠蔓與捕蟲籠連接處(圖十C)的薄片，做成玻片標本置於複式顯微鏡(400×)下觀察，拍照並記錄，再與步驟(1)的結果進行比對。



圖五



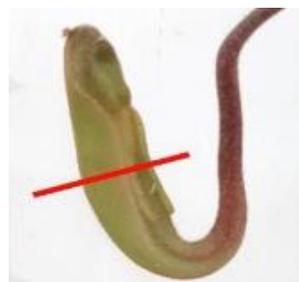
圖六



圖七



圖八



圖九



圖十 A



圖十 B



圖十 C

(三)探討捕蟲籠無柄腺的吸收與運輸路徑

1.實驗步驟：

- (1) 把捕蟲籠清洗乾淨後，將調配好的紅色食用色素 2c.c.與 13c.c.的蒸餾水(共 15c.c.)混合，置於捕蟲籠中(圖十一)24 小時，作為對照組。
- (2) 將捕蟲籠內的溶液全數倒出，再以毛筆刷洗乾淨，直到捕蟲籠的表皮無殘留溶液。
- (3) 將捕蟲籠切下並分為 1、2、3、4 各四個區塊，再把四個區塊分為上、中、下，共 12 個區塊(圖十二)，以解剖刀和鑷子各切取內層表皮細胞做成玻片標本，置於複式顯微鏡（400X）下觀察，拍照並記錄。另以橫切方式切取捕蟲籠薄片做成玻片標本，置於複式顯微鏡（400X）下觀察，拍照紀錄是否有吸收。
- (4) 另取 9 個捕蟲籠，改以 10c.c.蒸餾水與 2c.c.的紅色食用色素，再分別加入 3c.c.濃度皆為 5%.的硝酸鉀、氨水、葡萄糖、蔗糖、澱粉、甘胺酸、甘油、石膏、牛奶，重複 2-3 步驟。



圖十一



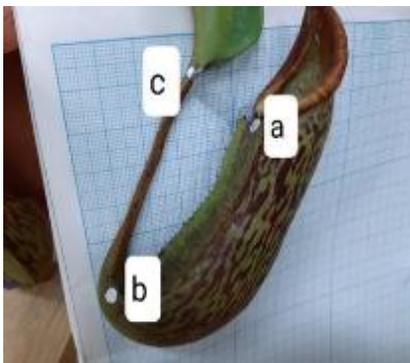
圖十二

(四)探討影響捕蟲籠自然盛載量的因素

1.實驗步驟：

- (1) 取一捕蟲籠以蒸餾水清洗乾淨並擦乾，分別在捕蟲籠的籠唇前端(a)，捕蟲籠與籠蔓交接處(b)、籠蔓基部(c)以銀色奇異筆點上做記號(圖十三)。拍照記錄並以數位量角器測量原始角度。

- (2) 用燒杯將捕蟲籠固定(圖十四)並將籠蓋掀開，將滴定管固定在試管架上放置於捕蟲籠上方，調整至適當高度。將蒸餾水緩緩滴入捕蟲籠直到水溢出，測量捕蟲籠最大容量(以最大容量代替捕蟲籠的體積)。
- (3) 改以不固定捕蟲籠的方式(圖十五)，重複步驟 1 - 2 直到捕蟲籠傾斜水自然溢出(圖十六)，拍照記錄並以數位量角器測量最大角度變化，再測量同一捕蟲籠的自然盛載量。
- (4) 分別於捕蟲籠的籠唇前端(a)，捕蟲籠與籠蔓交接處 (b)、籠蔓基部(c)以銀色奇異筆點上做記號處切下，將葉柄在電子天平上秤重並記錄(以葉柄重代替葉柄的大小)。
- (5) 將籠蔓用尼龍繩及大頭針固定上(t1)、中(t2)、下(t3)三處，再將多餘部分剪掉，量取籠蔓長度並記錄(圖十七)。
- (6) 將捕蟲籠用尼龍繩及大頭針固定在上(c1)、籠肩(c2)、下(c3)三處，將多餘部分剪掉，再從 c2 處剪下分成 c1-c2 及 c2-c3 兩段，分別量取長度並記錄捕蟲籠長度。(圖十八)。
- (7) 將籠蔓 t1、t2、t3 三處橫切(圖十九)分別做成玻片標本，置於複式顯微鏡(100X)觀察測量籠蔓直徑並記錄。
- (8) 另取 11 個捕蟲籠重複上述步驟 1-7，將所得數據以 ANOVA TABLE 檢定回歸直線的斜率，探討那些因素對捕蟲籠最大容量和自然盛載量，有線性相關。



圖十三



圖十四



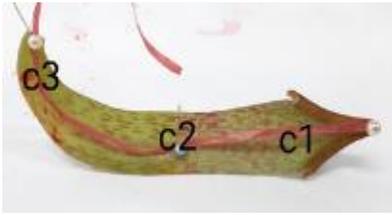
圖十五



圖十六



圖十七



圖十八



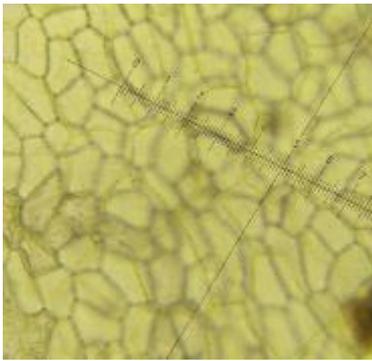
圖十九

參、研究結果及討論

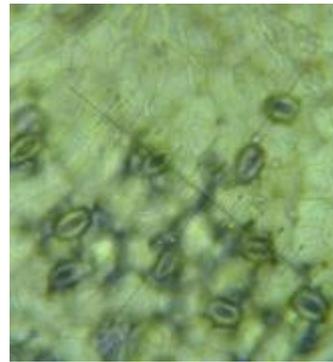
一、研究結果

(一)觀察豬籠草的捕蟲構造

1. 葉柄的上 (圖二十)下表皮細胞排列緊密，皆無葉綠體，只有下表皮有均勻分布的保衛細胞(圖二十一)。籠蔓的表皮細胞排列緊密，整圈皆有分布保衛細胞(圖二十二)，捕蟲籠內側沒有保衛細胞，但是從最底部至籠唇下的外表皮皆有保衛細胞(圖二十三)，三者保衛細胞的單位面積數量比(表一)為葉柄的下表皮>捕蟲籠外表皮>籠蔓表皮，皆有非常顯著差異， $P<0.001$ (表二)。



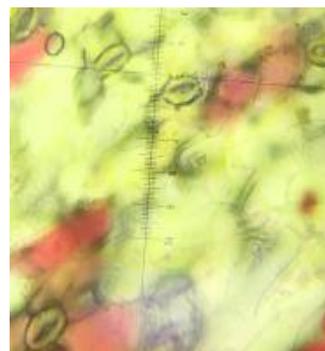
圖二十葉柄上表皮



圖二十一葉柄下表皮



圖二十二籠蔓



圖二十三捕蟲籠外表皮

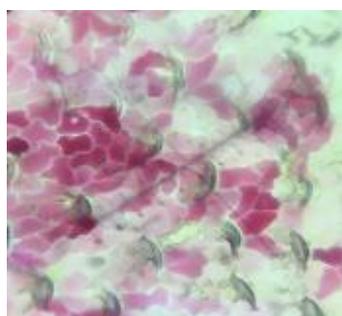
表一、三處保衛細胞平均數量

保衛細胞平均數量 編號	部位	葉柄下表皮	籠蔓	捕蟲籠
1		27.4	0.6	5
2		27.2	1	5.2
3		28	1	4.8
4		27.4	0.2	4.8
5		28.2	0.2	5.2

表二、保衛細胞數量統計 T-Test 圖表

	葉柄平均	籠蔓平均	捕蟲籠平均
葉柄平均		4.58544E-14	3.49884E-14
籠蔓平均	4.58544E-14		9.61993E-9
捕蟲籠平均	3.49884E-14	9.61993E-9	

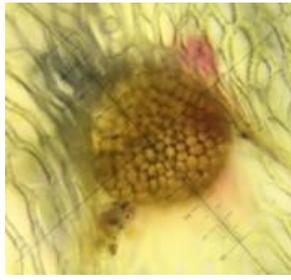
2. 捕蟲籠的內側表皮上端平滑(C1、C4、C7、C10)區，細胞排列緊密，呈不規則狀，細胞壁較薄缺無柄腺(圖二十四)。內側表皮中間區塊(C2、C5、C8、C11)(圖二十五)，細胞呈不規則狀，細胞壁漸增厚缺無柄腺。內側表皮下端粗糙區(C3、C6、C9、C12)，有無柄腺鑲嵌於內側表皮細胞上(圖二十六)，細胞壁特厚，且原生質絲直徑大(300nm~600nm，圖二十七)而明顯。



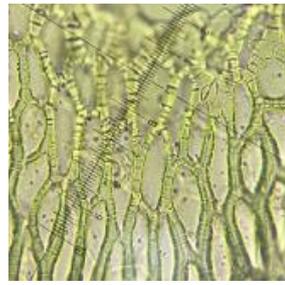
圖二十四表皮上端平滑區



圖二十五內側表皮中間區塊

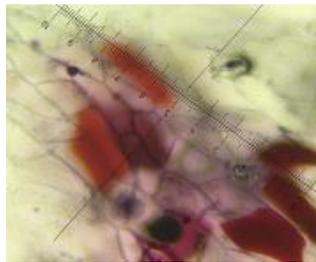


圖二十六 無柄腺

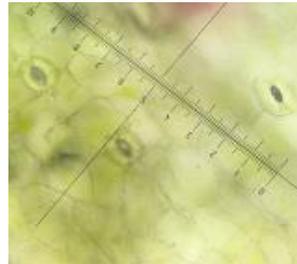


圖二十七 原生質絲

3. 籠蓋上(圖二十八)下(圖二十九)表皮皆有保衛細胞，只是下表皮分布不多。



圖二十八 籠蓋上表皮



圖二十九 籠蓋下表皮

4. 葉柄的橫切結構，可以看出類似莖的變形，由外往內分別是表皮、皮層、維管束和髓，只是表皮和皮層變成扁平狀後佔了葉柄的絕大部分，而維管束則向下突起，皮層有葉綠體分布 (圖三十)。
5. 籠蔓的橫切組織構造像莖，由外往內分別是表皮、皮層、維管束和髓(圖三十一)，但在靠近捕蟲籠底部處，維管束逐漸向外表皮分散(圖三十二)。



圖三十葉柄末端橫切



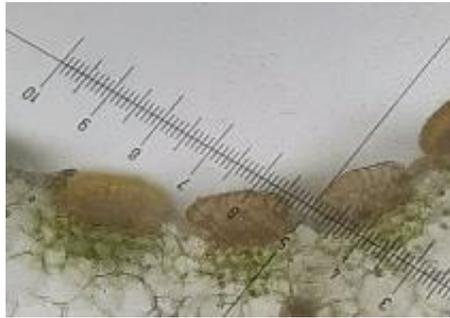
圖三十一



圖三十二

6. 捕蟲籠橫切像葉片的結構，內外表皮只之間沒有明顯的柵狀組織和海綿組織，但從籠肩到籠蓋處(除籠唇)的葉肉皆有葉綠體分布，且從最底部到籠肩處，都有立體狀的無柄腺嵌入 (圖三十三)。

7. 利用蘇丹紅染色籠蔓後橫切，發現籠蔓的維管束、皮層到表皮細胞間充滿了被染成紅色的木質素(圖三十四)。



圖三十三 無柄腺嵌入



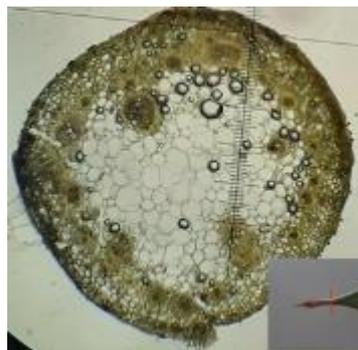
圖三十四 籠蔓木質素染色

(二)捕蟲籠發育過程

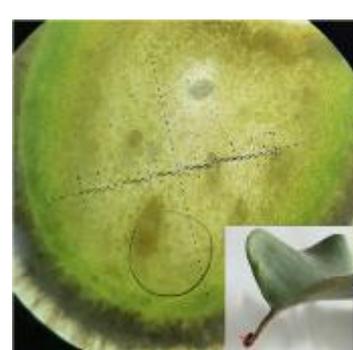
1. 從發育到不同階段橫切構造觀察，豬籠草葉柄的尖端(圖三十五)，其結構像是表皮和皮層由扁平狀逐漸內縮的莖橫切。而初形成的籠蔓橫切構造(圖三十六)，則類似環狀莖橫切。籠蔓前端初成的捕蟲籠幼芽(圖三十七)，橫切後發現皮層開始特化出含葉綠體的薄壁細胞。籠蔓尖端稍微膨大後基部的橫切觀察，我們發現髓的位置已形成初期中空(圖三十八)，且維管束漸向外分布。籠蔓尖端繼續膨大後的基部橫切，發現中空逐漸變大成封閉的容器(圖三十九)，而成熟捕蟲籠基部橫切，我們觀察到內側表皮已特化出無柄腺(圖四十)，進入末期時籠蓋漸裂開(圖四十一)。



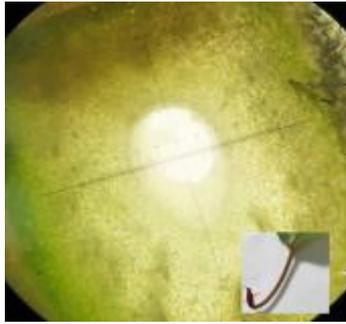
圖三十五



圖三十六



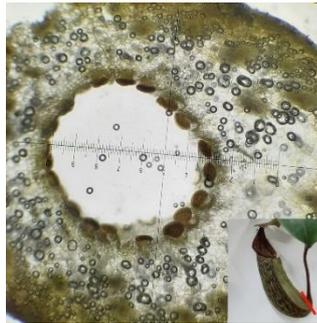
圖三十七



圖三十八



圖三十九



圖四十



圖四十一 籠蓋漸裂開

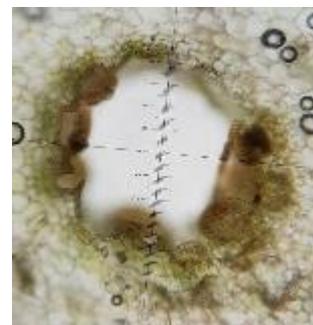
2. 從成熟捕蟲籠葉柄尖端(圖四十二)、和籠蔓基部(圖四十三)、籠蔓與捕蟲籠連接處的橫切(圖四十四)我們也觀察到相對應的構造。



圖四十二



圖四十三



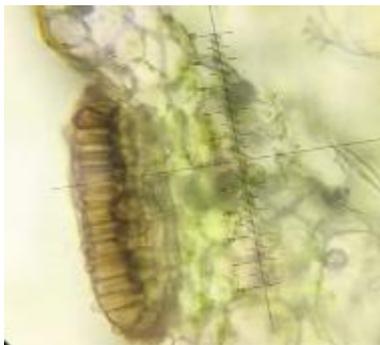
圖四十四

(三)捕蟲籠無柄腺的吸收與運輸路徑

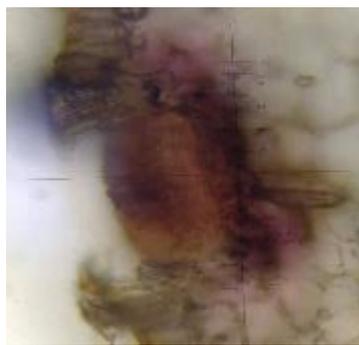
1. 由捕蟲籠的橫切，我們發現除了紅色食用色素和石膏以外，其餘含氮物硝酸鉀、氨水，水溶性小分子、葡萄糖、甘胺酸，酯溶性甘油，甚至蔗糖和大分子的澱粉、牛奶皆有被吸收(表三)，使得葉肉呈現紅色，且無柄腺上細胞內有紅色溶液殘留，證實捕蟲籠的吸收是由無柄腺進入。

表三、捕蟲籠吸收狀況

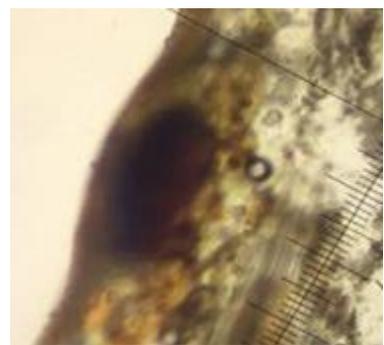
溶液名稱	紅色色素(圖四十五)	硝酸鉀(圖四十六)	氨水(圖四十七)	葡萄糖(圖四十八)	蔗糖(圖四十九)
吸收與否	X	○	○	○	○
溶液名稱	澱粉(圖五十)	甘胺酸(圖五十一)	甘油(圖五十二)	蛋白質(圖五十三)	石膏(圖五十四)
吸收與否	○	○	○	○	X



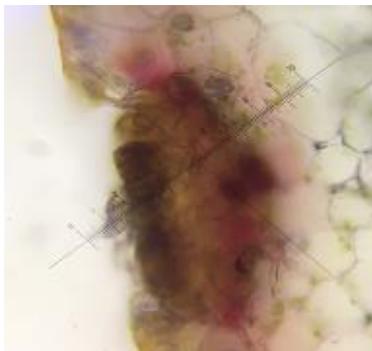
圖四十五 紅色色素



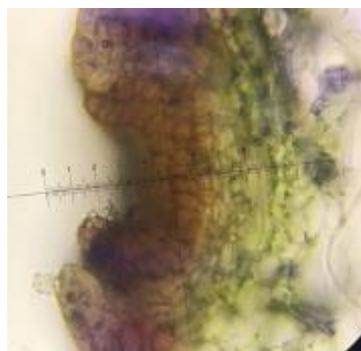
圖四十六 硝酸鉀



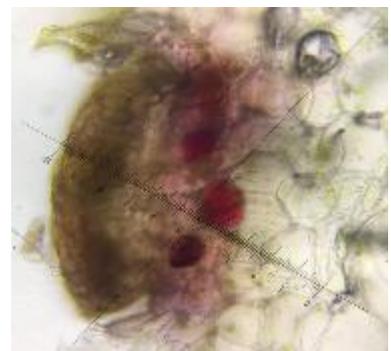
圖四十七 氨水



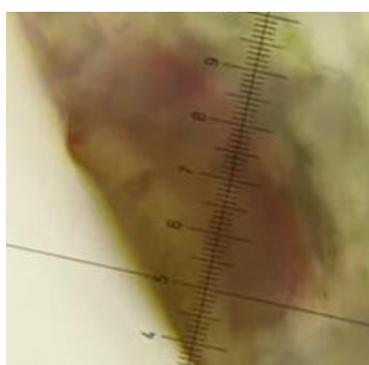
圖四十八 葡萄糖



圖四十九 蔗糖



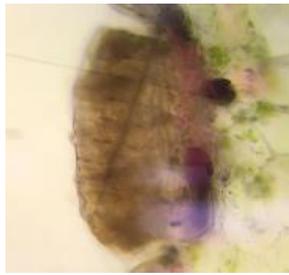
圖五十 澱粉



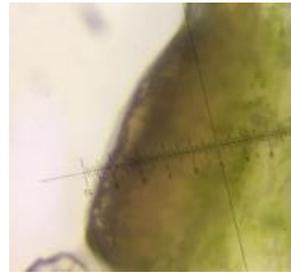
圖五十一 甘胺酸



圖五十二 甘油



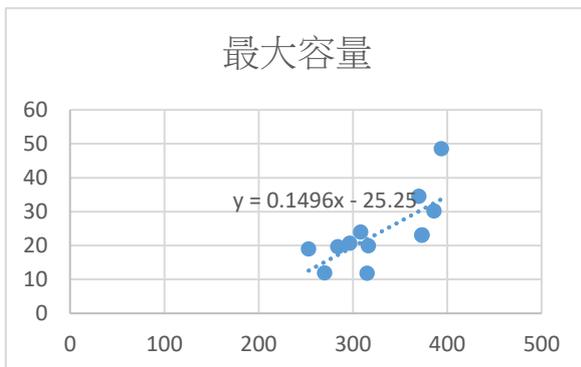
圖五十三 蛋白質



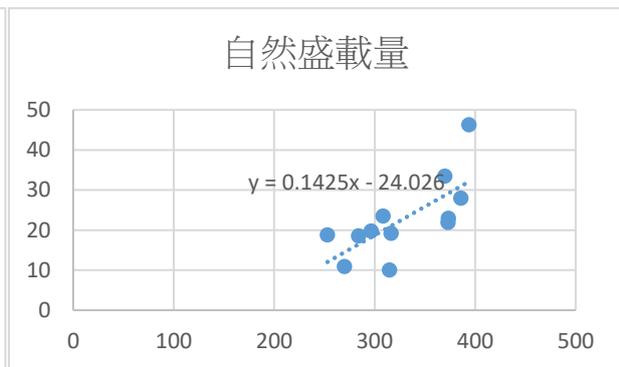
圖五十四 石膏

(四)捕蟲籠自然盛載量的影響因素

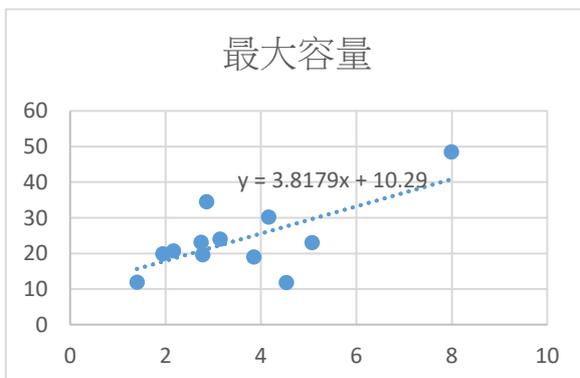
1. 我們以測量所得(表四)的原始角度、最大角度、籠蔓長、籠蔓直徑、葉柄重、和籠子平均長(X 軸)，分別對最大容量、自然盛載量(Y 軸)進行 ANOVA 檢定(附表一到八)。我們發現籠蔓直徑和最大容量(圖五十五)、自然盛載量(圖五十六)有明顯線性相關，葉柄重和最大容量(圖五十七)、自然盛載量(圖五十八)也有明顯線性相關，而原始角度、最大角度、籠蔓長和籠子平均長等與最大容量、自然盛載量則不存在線性相關。若另外以籠蔓重量與最大容量做比較(表五)，平均每克的籠蔓可盛載 35 克的捕蟲籠的重量。



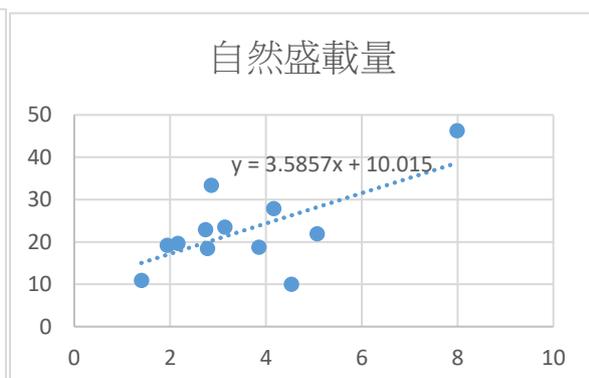
圖五十五 籠蔓直徑



圖五十六 籠蔓直徑



圖五十七 葉柄重



圖五十八 葉柄重

表四、各項測量值

編號	最大容量 (ml)	自然盛載量 (ml)	原始角度 (°)	最大角度 (°)	籠蔓長 (cm)	籠蔓直徑 (μ m)	葉柄重 (g)	籠子平均長 (cm)
A	23.1	22.9	7	16	5.8	373.33	2.74	8.6
B	19.5	19.4	34	38	6.2	316.67	1.94	8.2
C	34.5	33.4	42	44	5.7	370	2.86	5
D	11.9	10.9	29	34	6.3	270	1.4	8.2
E	20.7	19.7	28	36	6.4	296.67	2.16	8.9
F	19.6	18.5	30	35	5.9	284	2.78	8.5
G	24	23.5	31	35	6.6	308.33	3.14	10
H	19	18.8	32	37	6.6	253	3.85	4.7
I	11.8	10	22	33	7.1	315	4.53	4
J	30.2	27.9	21	29	7.7	386	4.16	5
K	48.5	46.3	23	35	8.6	394	7.99	5.6
L	23	21.9	35	42	6.6	373	5.07	4.1

表五、最大容量與籠蔓重量比值

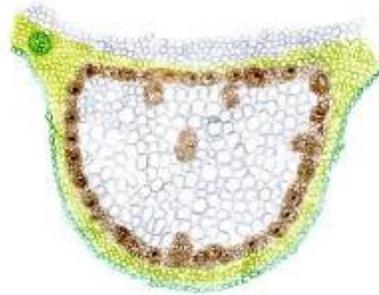
編號	A	B	C	D	E	F	G	平均
自然盛載量(ml)	22.9	19.4	10.9	19.7	18.5	23.5	19.15	19.15
籠蔓重(g)	0.60	0.74	0.42	0.51	0.55	0.53	0.56	0.55
比值	38.2	26.2	26.0	38.6	33.6	44.34	34.2	34.44

二、 討論

(一) 豬籠草膨大似葉的構造，橫切後的細胞組織排列像莖(圖五十九)，只是部分表皮、皮層細胞扁平化後形成(圖六十)，推測豬籠草膨大的構造是葉柄的變態，而每一捕蟲籠的籠蔓直徑大小與葉柄內環狀排列的維管束直徑相近，推測葉柄末端的表皮、皮層細胞內縮剩環狀維管束的大小而成籠蔓。捕蟲籠才是變形葉，有負責分泌消化液和吸收的無柄腺結構，鑲嵌在內側表皮並深入葉肉。無柄腺附近的內表皮細胞，細胞間隙和原生質絲直徑 300nm~600nm)很大，比一般植物原生質絲直徑(50nm)大 5-10 倍，推測可能和物質的吸收有關。

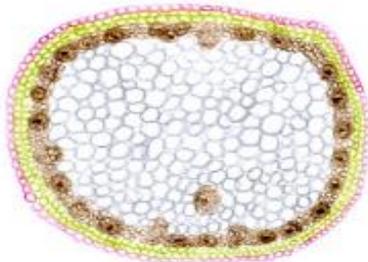


圖五十九(莖)

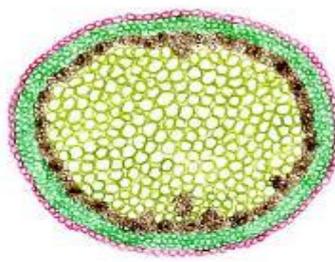


圖六十

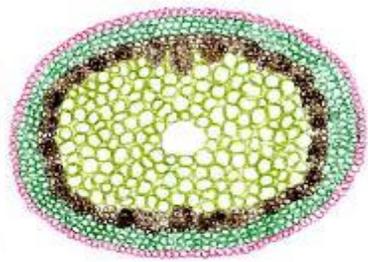
(二) 從捕蟲籠發育到不同階段橫切構造的觀察，我們推測捕蟲籠的發育，首先是由葉柄(圖六十)尖端膨大部分的表皮和皮層，先內縮後形成籠蔓(圖六十)，第二由籠蔓前端形成捕蟲籠幼芽(圖六十二)，緊接著在髓的位置啟動細胞自噬作用形成空心(圖六十三)，並逐漸發育出捕蟲籠的內層組織，最後持續發育成中空的容器(圖六十四)，並在內表皮特化出具有吸收功能的無柄腺(圖六十五)，而籠蔓的維管束則延伸成為捕蟲籠的葉脈。



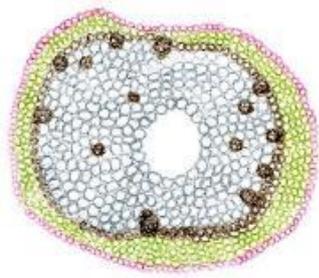
圖六十一



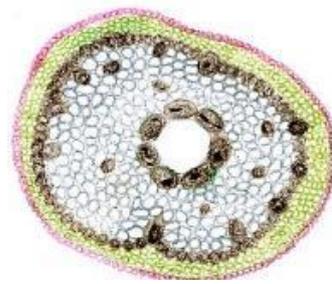
圖六十二



圖六十三

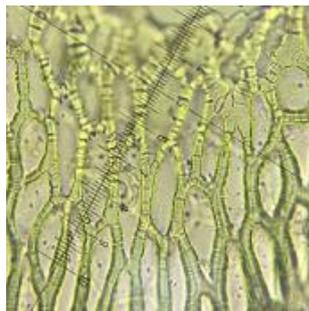


圖六十四

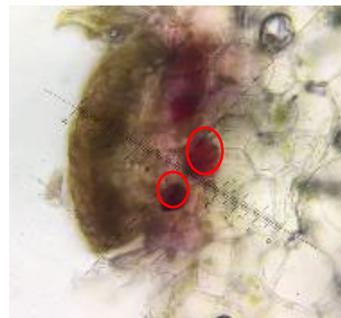


圖六十五

(三) 捕蟲植物為了補充含氮物質，在演化上各有差異，例如毛氈苔分泌黏液(Dagmar Voigt 2008)，黏住昆蟲再消化吸收。捕蠅草是以「運動」的方式進行捕食再消化吸收(劉宇晴 2019)，但吸收的都是小分子的含氮物或是酯溶性分子。水溶性小分子並不吸收，大分子(澱粉、蛋白質)更不可能吸收。但豬籠草的實驗結果卻意外發現，除了紅色食用色素及無機物以外，不管是水溶性、酯溶性小分子，連大分子(澱粉、蛋白質)都吸收，我們推測這和豬籠草下列特化有關。第一豬籠草是設置「靜態」陷阱，讓昆蟲掉入再消化吸收。第二捕蟲籠的蓋子不能閉合，動物有機會逃跑，而且捕蟲籠無法排除多餘的水，一旦下雨捕蟲籠積水就會傾斜，到手的有機物就會流失，而且酶也會被稀釋，因此捕蟲籠的內側細胞，演化出特大的細胞間隙和原生質絲(圖六十六)，連大分子的蔗糖、澱粉、蛋白質都可以胞吞進來(圖六十七)形成食泡，以增加捕食效益。



圖六十六



圖六十七 胞吞作用的食泡

(四) 捕蟲籠是由籠蔓懸吊在葉柄上(圖六十八)，就像人的手臂掛在肩膀一樣(圖六十八)。為了達到最大捕食效益，豬籠草須維持高自然盛載量。以最大容量與籠蔓重量比值來分析(表五)，換算人體的手臂(等於籠蔓)，相當於每公斤的手臂肌肉可以承擔 35 公斤的重量，根本是植物界的大力士。實驗結果發現籠蔓直徑、葉柄重量(大小)

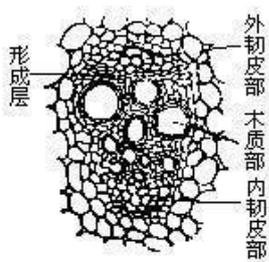
與自然盛載量呈線性相關，推測這與維管束是韌皮部圍繞著木質部的雙韌維管束結構有關(圖六十九、七十)。且近表皮處，籠蔓大量的皮層細胞特化後含有大量木質素，強化了籠蔓的支撐力和韌性，而直徑越大也表示有更高含量的木質素，更大的支撐力和自然盛載量愈高。由於籠蔓是由葉柄下凸的維管束生長發育而成，籠蔓直徑自然與葉柄大小相關，所以葉柄大小與自然盛載量也呈線性相關。



圖六十八



圖六十九



圖七十

肆、結論與應用

- 一、 豬籠草的捕蟲構造是由膨大後的葉柄固定在莖上，而葉柄下凸的維管束則向前延伸發育成籠蔓，直到捕蟲籠發育成熟。過程中籠蔓的前端再同時膨大特化，長出類圓筒型、封閉的「空心葉」，並特化出無柄腺構造鑲嵌在內層細胞上，負責分泌、消化、吸收。當捕蟲籠發育成熟時，籠蓋就會打開且不會再閉合。除了籠蔓，葉柄(為主)和捕蟲籠皆可行光合作用。
- 二、 由於豬籠草籠蓋不能閉合，考慮到昆蟲逃跑、雨水影響自然盛載量等因素，豬籠草演化出「來者不拒」的捕食策略。除了紅色食用色素和無機物以外，不管是含氮物、水溶性、酯溶性小分子皆吸收，甚至連大分子的澱粉、蔗糖、蛋白質，都以耗能的胞吞作用吸收，到手為安，提升捕食效益。
- 三、 用籠蔓懸吊在葉柄的捕蟲籠，要維持開口向上需承受極大的重力，特別是下雨天。由整個捕蟲結構來看，籠蔓的二端分別是重要的支點。籠蔓平均可承受自己 35 倍的重量，較大的葉柄會延伸發育出較粗的籠蔓直徑，並發育出較大的捕蟲籠，擁有較高的自然盛載量，提升捕食競爭力。
- 四、 豬籠草的結構整體像人體的肩膀連結著手臂，而豬籠草是由一根細長的籠蔓吊起一個上窄下寬的捕蟲籠，將這個構造運用科技研發上，製作一個穿戴式的機械手臂或者機能型的袖套，透過不同的角度及力的轉換，在運動或者手提重物時，解決壓力造成的傷害或者肌力不足的問題，得以達到保護及提升的功用。

伍、參考文獻

- 一、李庭萱(2004) 顛覆 Common Nepenthes 3 屆 旺宏成果報告書
- 二、張志鵬(2017) 細胞的飢餓遊戲。科學發展，535 期，7 / 2017
- 三、劉宇晴(2019) 王牌捕手—捕蠅草的捕蟲設計與捕食效能管控 59 屆 科展作品說明書
- 四、Daniel H. Franck(1976), The Morphological Interpretation of Epiascidiate Leaves: An Historical Perspective, Botanical Review Vol. 42, No. 3 (Jul. - Sep., 1976)
- 五、Dickison, William C.(2000) Tissue organization in stems, leaves, and roots.March 2000, Page122 – 123, from Integrative Plant Anatomy.
- 六、JinxingLin(2015).Volume 20, Issue 6, June 2015, Pages 388-397
- 七、Lodish, Harvey F(1986). Molecular cell biology chapter22 Integrating Cells into Tissues pages 998-999
- 八、T. PAGE OWENJr.(1999), Pathways for Nutrient Transport in the Pitchers of the Carnivorous Plant *Nepenthes alata*, Annals of Botany, Volume 84, Issue 4, October 1999, Pages 459 – 466
- 九、Dagmar Voigt, Stanislav Gorb(2008), Desiccation resistance of adhesive secretion in the protocarnivorous plant *Roridula gorgonias* as an adaptation to periodically dry environment

附表六最大容量 V.S 原始角度

		ANOVA					
		自由度	SS	MS	F	顯著值	
迴歸統計		迴歸	1	0.004956	0.004956	0.000046	0.994826
R 的倍數	0.002106	殘差	10	1121.096	112.1096		
R 平方	0.000004	總和	11	1121.096			
調整的 F	-0.09999						
標準誤	10.58816						
觀察值個	12						
係數	標準誤	t 統計	P-值	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
截距	23.88346	10.49456	2.275785	0.046114	0.500077	47.26676	0.500077
X 變數 1	-0.00239	0.360706	-0.00664	0.994826	-0.80609	0.801306	-0.80609

殘差輸出

觀察值	預測 Y	殘差
1	23.8666	-0.76663
2	23.8018	-4.30187
3	23.7826	10.71731
4	23.8138	-11.9138
5	23.8162	-3.11626
6	23.8114	-4.21147
7	23.8090	0.190926
8	23.8066	-4.80667
9	23.8306	-12.0306
10	23.8330	6.366943
11	23.8282	24.67174
12	23.7994	-0.79947

附表七最大容量 V.S 籠子平均長

迴歸統計		ANOVA					
		自由度	SS	MS	F	顯著值	
R 的倍數	0.213147	迴歸	1	50.93334	50.93334	0.475936	0.505961
R 平方	0.045431	殘差	10	1070.163	107.0163		
調整的 F	-0.05002	總和	11	1121.096			
標準誤	10.34486						
觀察值個	12						
係數	標準誤	t 統計	P-值	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
截距	30.47375	10.10111	3.016871	0.012964	7.967075	52.98043	7.967075
X 變數 1	-0.98867	1.433106	-0.68988	0.505961	-4.18183	2.204482	-4.18183

殘差輸出

觀察值	預測 Y	殘差
1	21.97113	1.128863
2	22.36660	-2.86660
3	25.53037	8.969626
4	22.36660	-10.4666
5	21.67453	-0.97453
6	22.07000	-2.47000
7	20.58698	3.413011
8	25.82697	-6.82697
9	26.51905	-14.7190
10	25.53037	4.669626
11	24.93716	23.56283
12	26.42018	-3.42018

【評語】 060013

1. 對燈籠草捕蟲籠的生長分化進行詳細觀測，具有新的觀察成果。
2. 以手臂結構來解釋燈籠草負重原理相當新穎。
3. 以紅墨水染色追蹤各項物質吸收能力，未能明確說明。
4. 僅為觀測性質，未有假說及驗證過程。