

「蝕」在變態-幾種常見的食蟲植物變態葉攝食機制之探討

摘要:

康軒版自然與生活科技課本第一冊第一單元「植物的身體」中有探討食蟲植物捕蟲葉變異稱為「變態葉」，這有趣資訊使我們研究這個主題。

食蟲植物吸收大部分營養物質，對動物性營養成分容易吸收，消化液偏酸性（PH5.0-5.9），若進食 PH 下降，對食物死活消化情形一致。

刺激點大小對捕蠅草沒影響，連續刺激捕蟲夾內感覺毛兩次，同一感覺毛被刺激兩次比不同感覺毛各刺激一次閉合快，兩次刺激隔 20-25 秒不反應，閉合一次 3 秒左右、可閉合 3-4 次，捕蟲夾有食物閉合後打開是 6-9 天、無食物 3-4 天。

豬籠草及瓶子草消化液會再生，捕蟲器底部比內壁生成多，捕蟲器構造損壞減低捕食效率，栽培環境差開瓶（袋）數多，捕食數多獲得營養，捕蟲器直立防止獵物逃脫，平放則降低捕蟲率。

食蟲植物引誘招致更多昆蟲環伺，所以食蟲植物驅蟲功效有待商榷。黏性強的消化液、外露的捕蟲器及在昆蟲行進路線設陷阱模式捕蟲效果較好，內藏捕蟲器及蜜糖引誘方式較差。

壹、研究動機

記得康軒版自然與生活科技課本第一冊第一單元「植物的身體」中有探討植物根、莖、葉等構造的課程，老師在講課時提到根、莖、葉構造也有不同於常態的「變態」現象，在葉子的變異稱之為「變態葉」，常見的例子有仙人掌的針刺及食蟲植物的捕蟲葉，這些會捕捉昆蟲為食的奇特植物引起同學們想要研究有關食蟲植物的興趣，同學們便請教老師有關食蟲植物的種種問題，老師覺得這個主題很值得加以研究，並且建議我們從食蟲植物的「變態葉」這個部分開始探討，因為大部分食蟲植物捕食昆蟲的作用發生在葉子上，第一次接觸到「變態葉」這一名詞的我們感到很新鮮！老師就在花市買了幾種常見的食蟲植物給我們觀察、實驗，因此我們也就展開了以「『蝕』在變態-幾種常見的食蟲植物變態葉攝食機制之探討」為題的科學研究。

貳、研究目的

- 一、豬籠草、毛氈苔、捕蠅草、捕蟲堇、瓶子草等等食蟲食物的基本資料及捕食構造的認識。
- 二、豬籠草、毛氈苔、捕蠅草、捕蟲堇、瓶子草消化作用及吸收食物的探討。
- 三、影響捕蠅草的捕蟲夾捕食運動現象的因素討論。
- 四、影響豬籠草的捕蟲袋及瓶子草的捕蟲瓶捕食運動現象之因素討論。
- 五、食蟲植物豬籠草、毛氈苔、捕蠅草、捕蟲堇、瓶子草捕食能力探究。
- 六、食蟲植物應用於日常生活的印證實驗。

參、研究器材

包含豬籠草、毛氈苔、捕蠅草、捕蟲堇、瓶子草、清水、花盆、各式透明塑膠容器、直尺、碼錶、PH 測試劑、棉花棒、各類活體及死亡昆蟲、大豆、花生、白米、豬油塊、解剖刀、牙籤、放大鏡、試管、火腿片、鑷子、剪刀、細針、數位相機、試管、手套、標籤紙、電子秤、培養皿、吸管、溫度計、濕度計、泥碳土、肥料、黏土、量角器、絲蚯蚓魚飼料、馬陸、蚯蚓、麵包蟲、寵物螞蟥、壓克力箱、紗網、布丁、小白菜葉、口袋秤等等。

肆、實驗過程與方法

- 一、豬籠草、毛氈苔、捕蠅草、捕蟲堇、瓶子草等等食蟲食物的基本資料及捕食構造的認識。
 - (一) 實驗選用對象的基本瞭解。
 - (二) 捕食構造的認識及分類。
 - (三) 其他食蟲植物的基本認識。

查詢網路、書籍或請教相關人員，以對各種食蟲植物外型、生長方式、生活環境及栽培方式等等知識有所瞭解，以便對此次科展研究有所幫助。

二、豬籠草、毛氈苔、捕蠅草、捕蟲堇、瓶子草消化作用及吸收食物的探討。

(一) 食蟲植物消化液酸鹼度 PH 值攝食變化的測試。

- 1.豬籠草、毛氈苔、捕蠅草、捕蟲堇、瓶子草各五棵加以編號 1 至 5 號。
- 2.用 PH 測試筆測試二十棵植物進食前的消化液 PH 數據並求出 PH 平均值。
- 3.將重量 2g 塊狀的絲蚯蚓魚飼料丟入各捕蟲器中經過七天。(絲蚯蚓即是紅蟲，就是搖蚊幼蟲，所以是昆蟲性的試驗食物)。
- 4.用 PH 測試筆測試二十棵植物進食後七天消化液 PH 數據並求出 PH 平均值。
- 5.加以比較進食前後 PH 值的數據並製作相關表格。

(二) 食蟲植物對於動物性蛋白質及植物性蛋白質的消化差異實驗。

- 1.豬籠草、毛氈苔、捕蠅草、捕蟲堇、瓶子草各五棵加以編號 1 至 5 號。
- 2.將重量 2g 的肥肉、蛋白、大豆及花生丟入各捕蟲器中前後總共十天。(肥肉及蛋白是動物性蛋白質實驗食物；植物性的則是大豆及花生。)
- 3.分別在第一、三、五、七及十天共五天測試消化液 PH 數據。
- 4.第十天時將剩餘未消化的食物取出秤重量。
- 5.加以比較動物性及植物性蛋白質消化液的 PH 值數據，並製作相關表格。

(三) 食蟲植物對於脂肪、澱粉及纖維素消化實驗。

- 1.豬籠草、毛氈苔、捕蠅草、捕蟲堇、瓶子草各五棵加以編號 1 至 5 號。
- 2.將重量 2g 的芹菜、牛油、白飯丟入各捕蟲器中前後總共十天。(芹菜是含纖維素實驗食物；牛油則是富含脂肪；白飯則是富含澱粉食物。)
- 3.分別在第一、三、五、七及十天共五天測試消化液 PH 數據。
- 4.第十天時將剩餘未消化的食物取出秤重量。
- 5.加以比較各種不同食物消化液的 PH 值數據，並製作相關表格。

(四) 食蟲植物對於不同種類動物(軟體、節肢、昆蟲等三種)的消化實驗。

- 1.豬籠草、毛氈苔、捕蠅草、捕蟲堇、瓶子草各五棵加以編號 1 至 5 號。
- 2.將重量 1g 的蚯蚓、馬陸、麵包蟲丟入各捕蟲器中前後總共十天。(蚯蚓是軟體動物；馬陸則是節肢動物；麵包蟲則是昆蟲。)
- 3.分別在第一、三、五、七及十天共五天測試消化液 PH 數據。
- 4.第十天時將剩餘未消化的食物取出秤重量。
- 5.比較各種不同種類動物被消化時的消化液 PH 值數據，並製作相關表格。

(五) 食蟲植物對於死餌及活餌的消化實驗。

- 1.豬籠草、毛氈苔、捕蠅草、捕蟲堇、瓶子草各五棵加以編號 1 至 5 號。
- 2.將重量 2g 的活麵包蟲及死麵包蟲各丟入各種捕蟲器中前後總共十天。
- 3.分別在第一、三、五、七及十天共五天測試消化液 PH 數據。
- 4.第十天時將剩餘未消化的食物取出秤重量。
- 5.加以比較各種不同食物消化液的 PH 值數據，並製作相關表格。

三、影響捕蠅草的捕蟲夾捕食運動現象的因素討論。

(一) 大小不同點刺激啟動捕蠅草的捕蟲夾機制討論。

- 1.利用牙籤、竹筷尖頭及棉花棒當作人爲大小不同刺激，去刺激捕蠅草編號 1 至 5 號。
- 2.計算捕蟲夾從開始被刺激活動(0 秒計)到完全閉合(結束秒計)的過程秒數。
- 3.加以比較及平均五棵捕蠅草閉合的過程秒數，並製作相關表格。

(二) 不同捕蟲夾位置被刺激而啟動捕蠅草的捕蟲夾機制討論。

- 1.利用人類小指去刺激捕蠅草編號 1 至 5 號，每棵捕蠅草皆被刺激到內壁邊緣、內壁中間、內壁葉柄連接處及夾毛內側等四處。
- 2.計算捕蟲夾從開始被刺激到出現反應活動爲止的過程秒數。
- 3.加以比較及平均五棵捕蠅草不同刺激點的過程秒數，並製作相關表格。

(三) 不同感覺毛位置被刺激而啟動捕蠅草的捕蟲夾機制討論。

- 1.利用人類小指去刺激捕蠅草編號 1 至 5 號一次，每棵捕蠅草皆被刺激到內壁感覺毛等六處各一次。(共 6 種接觸方式)
- 2.用小指去刺激捕蠅草編號 1 至 5 號共兩次，第一次先刺激到感覺毛等六處各一次，第二次分別間隔 5、10、15、20、25 秒再刺激同一感覺毛一次。(共 6 種接觸方式)
- 3.用小指去刺激捕蠅草編號 1 至 5 號共兩次，第一次刺激到感覺毛六處一次，分別間隔 5、10、15、20、25 秒之後，第二次去選擇與第一次被刺激感覺毛同側的另外兩處感覺毛擇一去刺激。(共 12 種接觸方式)
- 4.用小指去刺激捕蠅草編號 1 至 5 號共兩次，第一次刺激到感覺毛六處一次，分別間隔 5、10、15、20、25 秒之後，第二次去選擇與第一次被刺激感覺毛不同側的另外三處感覺毛擇一去刺激。(共 18 種接觸方式)
- 5.計算步驟 1-4 捕蟲夾從開始刺激(0 秒)到反應活動(結束秒計)的過程秒數。
- 6.加以比較及平均五棵捕蠅草不同處感覺毛的過程秒數，並製作相關表格。

感覺毛 示意圖	只刺激一 次感覺毛		刺激兩次感覺毛（共 36 種不同刺激方式）											
	左	右	左 1	右 1	左 1	左 2	右 1	右 2	左 1	左 2	左 3	右 1	右 2	右 3
	1	1	左 1	右 1	左 2	左 3	右 2	右 3	左 1	左 2	左 3	右 1	右 2	右 3
	2	2	左 2	右 2	左 3	左 1	右 3	右 1	左 2	左 3	右 2	右 1	左 3	左 1
	3	3	左 3	右 3	左 1	左 2	右 1	右 2	左 3	右 3	左 1	左 2	右 1	右 2

(四) 測試捕蠅草的捕蟲夾閉合秒數、打開所需天數及捕蟲夾開閉次數實驗。

- 1.分別用小指刺激（無食物組）及鑷子夾重量 1g 的塊狀紅蟲魚飼料（有食物組）刺激捕蟲夾 1-5 號。
- 2.計算捕蟲夾從開始刺激活動(0 秒)到完全閉合(結束秒計)過程秒數。
- 3.等夾子打開，計算捕蟲夾自行打開的天數。

4.完成步驟 1-3 算是捕蟲夾開閉一次，重複步驟 1-3 直到捕蟲夾不能開閉為止，累積完成步驟 1-3 次數，計算出捕蟲夾開閉總次數。

5.比較及平均五棵捕蠅草捕蟲夾閉合秒數、打開天數及捕蟲夾開閉次數。

四、影響豬籠草的捕蟲袋及瓶子草的捕蟲瓶捕食運動現象之因素討論。

（一）豬籠草的捕蟲袋及瓶子草的捕蟲瓶消化液回復狀態的研究。

1.將豬籠草及瓶子草編 1 到 5 號，並將豬籠草及瓶子草內的消化液倒掉。

2.分別將豬籠草及瓶子草作保鮮膜封口、底部塗上樹脂、保鮮膜封口及底部塗上樹脂及對照組（不做任何人工的處理）等四組的處理。

3.將四組靜置一個月後，量出豬籠草及瓶子草重新分泌的消化液容量。

4.比較及平均五棵豬籠草及瓶子草回復消化液容量，並製作表格。

（二）影響豬籠草的捕蟲袋及瓶子草的捕蟲瓶開袋蓋及瓶蓋的因素。

1.將豬籠草及瓶子草編 1 到 5 號，分別將豬籠草及瓶子草培養方式分為正常施肥並澆水、只澆水不施肥及都不澆水及施肥等三組。

2.將三組靜置二十天後，數出豬籠草及瓶子草完成打開袋蓋及瓶蓋的數目。

3.比較並平均豬籠草及瓶子草因栽種方式造成打開袋蓋及瓶蓋數目差異。

（三）探討豬籠草的捕蟲袋及瓶子草的捕蟲瓶位置因直立、平擺及斜放對於捕食能力的影響。

1.將豬籠草及瓶子草編 1 到 5 號，將豬籠草及瓶子草捕蟲器擺放方式分為正常直立（角度 90 度）、傾斜（角度 45 度）及平躺（角度 0 度）等三組，並量出不同角度時捕蟲器內的消化液高度。

2.將植物及 60 隻寵物螞蟻一起放入透明的壓克力箱中，箱子上方放置紗網罩住以防螞蟻逃脫，也讓植物可以受光正常生長。

3.將三組放置三十天後，打開箱子計算還活著的寵物螞蟻數量。

4.比較並平均因豬籠草及瓶子草捕蟲器不同擺放方式造成食蟲數據的差異，還可討論消化液高度與食蟲數據的關連性。

（四）探討豬籠草捕蟲袋及瓶子草捕蟲瓶構造完整與否是否影響到捕食能力。

1.將豬籠草及瓶子草編 1 到 5 號，將豬籠草及瓶子草分為剪掉瓶蓋（袋蓋）、剪掉瓶蓋及瓶身 1/2 部位（袋蓋及袋身 1/2 部位）及保持完整捕蟲器等三組。

2.將植物及 60 隻寵物螞蟻一起放入透明的壓克力箱中，箱子上方放置紗網罩住以防螞蟻逃脫，也讓植物可以受光正常生長。

3.將三組放置 30 天後，打開箱子計算還活著的寵物螞蟻數量。

4.比較並平均因豬籠草及瓶子草捕蟲器不同結構造成食蟲數據的差異。

五、食蟲植物豬籠草、毛氈苔、捕蠅草、捕蟲堇、瓶子草捕食能力探究。

1.把豬籠草、毛氈苔、捕蠅草、捕蟲堇、瓶子草編 1 到 5 號，量出豬籠草、毛氈苔、捕蠅草、捕蟲堇、瓶子草植株的長度、寬度及高度，把長度乘以寬度乘以高度即是「立方體單位值」，此「立方體單位值」也就是該植株所能影響的範圍（捕食昆蟲的最大區域）。

2.將植物及 60 隻寵物螞蟻一起放入透明的壓克力箱中，箱子上方放置紗網

罩住以防螞蟻逃脫，也讓植物可以受光正常生長。

3.放置五組 30 天後，打開箱子計算還活著的寵物螞蟻數量。

4.比較並平均豬籠草、毛氈苔、捕蠅草、捕蟲堇、瓶子草所能觸及的捕蟲區域大小及捕食數目，藉此推論何者食蟲植物是較有效率的捕食能力。

六、食蟲植物應用於日常生活的印證實驗。

1.把毛氈苔、捕蟲堇、瓶子草編 1 到 5 號，把毛氈苔、捕蟲堇、瓶子草各擺放四盆在東、南、西、北等四個方位，第一實驗在四盆正中央放置一葉表面積約 10 平方公分的小白菜，第二次實驗在四盆正中央放置重約 10g 的的布丁塊，兩次實驗均有對照組（不放置食蟲植物在小白菜及布丁四週）。

2.將食蟲植物、布丁塊及小白菜葉及 25 隻寵物螞蟻一起放入透明的壓克力箱中，箱子上方放置紗網罩住以防螞蟻逃脫，也讓植物可以受光正常生長。

3.放置 6 天後，算出蔬菜葉殘餘面積及布丁塊殘餘重量，對照組也一併計算。

4.藉由蔬菜葉殘餘面積及布丁塊殘餘重量，作為食蟲植物在日常生活的應用印證參考。

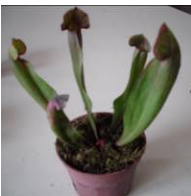
伍、研究結果

一、豬籠草、毛氈苔、捕蠅草、捕蟲堇、瓶子草等等食蟲食物的基本資料及捕食構造的認識。

（一）實驗選用對象的基本瞭解。

在花市買了幾種常見又容易栽培的食蟲植物來作為科展的研究對象，並參考書籍、搜尋網路去找相關資料，以便對於我們要研究的對象有基本的認識，其結果如下：

	翼狀豬籠草（ <i>Nepenthes alata</i> ）：是菲律賓特有的熱帶食蟲植物，在園藝上是最容易栽培且栽培得最廣泛的物種之一，在台灣曾廣泛栽培，翼狀豬籠草的變種極多，目前發現確認至少有四個變種。原生地在主要島嶼中海拔 800 米至 2400 米的苔蘚森林裏，但低海拔的地區亦有分佈。
	小毛氈苔（ <i>Drosera spatulata</i> ）：是台灣產食蟲植物最常見的種類，葉緣及葉面均密生腺毛，上半部尤多，分泌黏液捕捉小昆蟲，小毛氈苔分佈於台灣北部及東北部山區（內湖、觀音山、七星山等地），喜歡潮濕的山壁，常與苔蘚類混生。小毛氈苔別名"錦地羅"、"石牡丹"、"落地金錢"等，全株均可入藥，具輕熱及解毒之效。

	櫻葉捕蟲堇 (<i>Pinguicula primuliflora</i>): 原產於美國東南部沿海平原，密西西比州及和佛羅里達一帶，葉子為明亮的鮮綠色，葉面上佈滿的葉腺會分泌黏液用以黏著昆蟲捕食，在原產地冬季植株縮小以渡過休眠期，在高雄一年四季植株型態都一樣，冬季不會休眠，只是會生長略為遲緩。
	紫瓶子草 (<i>Sarracenia purpurea</i>): 是各種瓶子草中最矮小的品種，生長範圍幾乎遍佈美國東海岸、大湖區和加拿大東南部，成為最常見且廣泛分布的瓶子草，並從瓶子上方入口處延伸出一個蓋子，蓋子及瓶口周圍通常會分泌蜜糖和氣味，藉此吸引昆蟲，在原產地寒冷的冬天不會休眠，因此在較溫暖的台灣四季皆能生長。
	捕蠅草 (<i>Dionaea muscipula</i>): 捕蠅草原產於 <u>北美洲</u> 東岸一帶，生長環境特性喜好於潮濕地帶，目前 <u>美國</u> 對於其原生地都指定為保護地區，在瀕臨絕種野生動植物國際貿易公約中有明訂捕蠅草全面禁止輸出外銷，不過公約訂立之前就有許多植株流出到外國，經各地業者積極栽培下，目前一般都已經很容易在市面上買到捕蠅草。

(二) 捕食構造的認識及分類。

我們進一步去了解對於科展所選用的食蟲植物捕食方式，將結果整理如下:

變態葉_ 葉面容器型	翼狀豬籠草 (<i>Nepenthes alata</i>): 以捕蟲袋攝食，捕蟲袋呈圓筒形，下半部寬大，袋蓋可防雨水進入袋中，袋蓋下方具有蜜腺，以引誘昆蟲滑落袋中，捕蟲袋捕獲獵物後，袋蓋不會閉合，袋中有消化液消化昆蟲等小動物來獲取營養。
	紫瓶子草 (<i>Sarracenia purpurea</i>): 瓶蓋及瓶口周圍通常分泌氣味濃烈的蜜糖，藉此吸引昆蟲覓食，瓶子內壁具有倒鉤狀纖毛，使昆蟲易進入瓶中但不易逃出瓶外，瓶蓋不會閉合，瓶中有消化液能分解吸收昆蟲等小動物來獲取營養。
變態葉_ 葉面黏液型	櫻葉捕蟲堇 (<i>Pinguicula primuliflora</i>): 葉面的一部分腺毛(有柄線毛)原本就佈滿黏液，當昆蟲被黏液黏住後，葉面另一部分腺毛(無柄線毛)才開始分泌消化液吸收昆蟲的養分，此時葉面好像被噴過水一般佈滿消化液及黏液。
	小毛氈苔 (<i>Drosera spatulata</i>): 葉面腺毛分布黏液沾黏誤觸的昆蟲，當昆蟲不斷掙扎時只會藉由觸動讓附近的腺毛感受到獵物所在處的訊息，附近的腺毛會朝向獵物的所在地進行趨向作用，腺毛包裹獵物以增加消化吸收的效率。
變態葉_ 葉面活動閉 合型	捕蠅草 (<i>Dionaea muscipula</i>): 葉緣含有蜜腺，分泌出蜜汁來引誘昆蟲，當昆蟲進入兩葉中間部份時，兩瓣葉子迅速的合閉，刺毛緊緊相扣防止昆蟲脫逃，昆蟲掙扎時葉片會越來越緊，同時兩片葉瓣內側密集的内腺體會分泌出消化液分解蟲體、吸收養分。

翼狀豬籠草 (*Nepenthes alata*) 及紫瓶子草 (*Sarracenia purpurea*) 都有直立並且有深度的容器構造 (豬籠草的袋狀物及瓶子草的瓶狀物)，容器內有消化液吸收養分，因此我們將翼狀豬籠草 (*Nepenthes alata*) 及紫瓶子草 (*Sarracenia purpurea*) 歸為一類，稱之為「變態葉_葉面容器型」。

櫻葉捕蟲堇 (*Pinguicula primuliflora*) 及小毛氈苔 (*Drosera spatulata*) 都靠著葉面分泌黏液捕捉誤觸葉面的小動物，因此我們將櫻葉捕蟲堇 (*Pinguicula primuliflora*) 及小毛氈苔 (*Drosera spatulata*) 歸為一類，稱之為「變態葉_葉面黏液型」。

最後，捕蠅草 (*Dionaea muscipula*) 的特色是會像含羞草一樣明顯地「動」(閉合) 葉子去捕食獵物，使獵物動彈不得，是其他四種植物所沒有的能力，雖然小毛氈苔 (*Drosera spatulata*) 也會使葉子彎曲一側去捕食食物，但動作過程很久，不易明顯的被人類視覺一目瞭然地觀察到，而且小毛氈苔 (*Drosera spatulata*) 此時是在「吸收營養」，而捕蠅草 (*Dionaea muscipula*) 的「動作」則是強調「捕捉獵物」，而非純粹的「吸收營養」，所以這兩者還是有些許的不同，對於捕蠅草我們稱之為「變態葉_葉面活動閉合型」。

(三) 其他食蟲植物的基本認識。

除了上述的五種食蟲植物外，其他種類的食蟲植物幾乎很少在市面出現，因此我們也去找了相關資料，有部分的食蟲植物不易成為園藝的商品，我們把原因歸納成三大因素，一為「生長環境因素」，另一為「外觀因素」，最後是「生長環境及外觀因素」，其結果如下：

生長環境因素	土瓶草 (<i>Cephalotus</i>) 太陽瓶子草 (<i>Heliamphora</i>)	原因:需要冷涼環境，在台灣夏天不易種植，往往植株在夏日不耐高溫而衰弱死亡，要種活需溫控。
	南非捕蟲樹 (<i>Roridula</i>) 眼鏡蛇瓶子草 (<i>Darlingtonia</i>)	原因:喜歡冷涼環境，不需溫控偶有種植成功例子，但單價較高，而死亡率不低，所以不太常見市面販售。
外觀因素	食蟲鳳梨 (<i>Brocchinia : Catopsis</i>)	原因:鳳梨科植物很多都有觀賞價值，食蟲鳳梨雖然好種但外型平凡，所以其他同科植物代替食蟲鳳梨販售。
	狸藻(<i>Utricularia</i>) 螺旋狸藻 (<i>Genlisea</i>) 貉藻 (<i>Aldrovanda</i>)	原因:容易種植，但外型好像雜草，且部分需沼澤泥地土質或完全沈水種植，因外型粗獷野性及需求環境特殊，所以少人種植，市面幾乎很少見到。
生長環境及外觀因素	露松 (<i>Drosophyllum</i>) 彩虹草(<i>Byblis</i>)	原因:外型似雜草不討好，同時需溫控才容易種活，就算種活也只能活一年多(一年生)，故乏人問津的食蟲植物。

二、豬籠草、毛氈苔、捕蠅草、捕蟲堇、瓶子草消化作用及吸收食物的探討。

(一) 食蟲植物消化液酸鹼度 PH 值攝食變化的測試。

1.實驗結果：

植株編號 植物名稱		1 號 PH 值	2 號 PH 值	3 號 PH 值	4 號 PH 值	5 號 PH 值	平均 PH 值
毛氈苔	進食前	5.8	6.0	6.2	6.1	5.7	5.96
	進食後	3.7	4.0	3.5	3.3	3.1	3.52
豬籠草	進食前	5.7	5.4	5.4	5.6	6.0	5.62
	進食後	4.3	4.3	4.8	3.9	4.4	4.34
捕蟲堇	進食前	5.5	6.0	6.1	5.7	5.7	5.8
	進食後	3.2	3.2	3.5	2.9	2.9	3.14
瓶子草	進食前	5.6	5.4	5.8	5.9	6.0	5.74
	進食後	4.3	5.1	4.4	4.5	4.5	4.56
捕蠅草	進食前	5.5	5.6	5.3	5.9	5.9	5.64
	進食後	4.4	4.4	4.6	4.7	4.2	4.46

2.實驗結果分析:

(1)進食前所有食蟲植物 PH 值介於 5.0-5.9 之間，都是偏酸性，平均值以捕蠅草消化液最酸，以毛氈苔最不酸，其中意外發先瓶子草消化液的份量很少，單一葉子裡消化液並不能將食物完全淹沒，所以蒐集四片葉子裡的消化液集中倒入同一容器內份量才足夠能實驗。

(2)所有食蟲植物進食後 PH 值均下降數據 1.0 左右，而捕蟲堇及毛氈苔下降值更多，皆達到數據 2.0 以下，所以表示當進食時消化液增加以加強消化作用，此時液體量增多分泌食物產生酸性物質，而使得 PH 值下降、植物溶液更酸。

(3)捕蟲堇及毛氈苔下降值到數據 2.0 以下，比豬籠草、瓶子草及捕蠅草更酸，推想捕蟲堇及毛氈苔的消化液是外露的，易受外界影響而導致消化液快速散失，像易於日曬蒸發或被強風吹乾等狀況發生，所以當進食時會大量增生消化液攝食，加速消化作用，以減低外界影響於最低，因消化液增多也加速消化作用，自然 PH 值大降，但豬籠草、瓶子草及捕蠅草消化液作用因植物構造關係，所以密閉進行的，比捕蟲堇及毛氈苔較不受外界影響，所以三者 PH 值下降值較低，結論是捕蟲堇及毛氈苔因植物結構造成消化速度及效能比豬籠草、瓶子草及捕蠅草更快、更高，並明顯反映在 PH 值下降的數字上。

(二) 食蟲植物對於動物性蛋白質及植物性蛋白質的消化差異實驗。

1.實驗結果：(表列於下頁開頭)

2.實驗結果分析：

(1) 從 PH 數據來看，肥肉與蛋白的酸度大於大豆與花生，可見得消化液對於動物性蛋白質比植物性蛋白質較「樂於」吸收，所以分泌更多消化液作用，

因此造成肥肉與蛋白 PH 值低於大豆與花生的 PH 值。

捕蟲堇	第一天 PH 值	第三天 PH 值	第五天 PH 值	第七天 PH 值	第十天 PH 值	第十天食物剩餘重量
肥肉	5.4	5.0	4.4	3.5	3.3	0.4g
蛋白	5.3	4.8	4.1	3.1	2.9	0.3g
大豆	5.0	4.8	4.8	4.7	4.5	1.2g
花生	5.5	5.3	4.5	4.2	4.1	1.3g
捕蠅草	第一天 PH 值	第三天 PH 值	第五天 PH 值	第七天 PH 值	第十天 PH 值	第十天食物剩餘重量
肥肉	5.7	5.3	4.9	4.6	4.3	0.6g
蛋白	5.5	5.2	4.7	4.1	4.0	0.7g
大豆	5.5	5.4	5.2	4.9	4.9	1.5g
花生	5.5	5.4	5.3	5.3	5.1	1.6g
瓶子草	第一天 PH 值	第三天 PH 值	第五天 PH 值	第七天 PH 值	第十天 PH 值	第十天食物剩餘重量
肥肉	5.5	5.0	4.7	4.5	4.3	0.6g
蛋白	5.9	4.9	4.5	4.1	4.0	0.9g
大豆	5.6	5.5	5.3	5.0	4.9	1.7g
花生	5.4	5.3	5.3	5.2	5.1	1.6g
豬籠草	第一天 PH 值	第三天 PH 值	第五天 PH 值	第七天 PH 值	第十天 PH 值	第十天食物剩餘重量
肥肉	5.3	5.0	4.8	4.4	4.3	0.8g
蛋白	5.1	4.9	4.4	4.1	3.9	0.7g
大豆	5.5	5.4	5.3	5.1	5.0	1.5g
花生	5.6	5.5	5.3	5.2	5.1	1.5g
毛氈苔	第一天 PH 值	第三天 PH 值	第五天 PH 值	第七天 PH 值	第十天 PH 值	第十天食物剩餘重量
肥肉	5.3	5.1	4.5	3.7	3.5	0.6g
蛋白	5.2	4.8	4.1	3.3	3.0	0.2g
大豆	5.9	5.4	4.7	4.4	4.2	1.1g
花生	5.6	5.3	4.6	4.4	4.0	1.2g

(2)從第一天到第十天 PH 值不管動物性或植物性蛋白質皆不斷下降，可見消化作用持續不停。

(3)第十天殘餘物秤重時，除蛋白原本就是流質外，其餘三者皆是固態物質，但取出後雖還是固態，但結構以非常鬆軟，用力一掐則軟垮掉，因此得知消化液已作用到物體內層了。

(三)食蟲植物對於脂肪、澱粉及纖維素消化實驗。

1.實驗結果：(表列於下頁開頭)

2.實驗結果分析：

(1)從 PH 數據來看，牛油＜白飯＜芹菜，可見得消化液吸收狀態是：牛油＞白飯＞芹菜，推論出消化液對於脂肪最為接受。

捕蟲堇	第一天 PH 值	第三天 PH 值	第五天 PH 值	第七天 PH 值	第十天 PH 值	第十天食物剩餘重量
芹菜	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	2.0g
牛油	5.5	4.6	4.1	4.0	3.7	0.4g
白飯	5.6	5.2	5.0	4.7	4.2	0.8g
捕蠅草	第一天 PH 值	第三天 PH 值	第五天 PH 值	第七天 PH 值	第十天 PH 值	第十天食物剩餘重量
芹菜	5.4	5.6	5.4	5.5	5.6	1.9g
牛油	5.3	4.9	4.7	4.5	4.2	0.7g
白飯	5.8	5.7	5.5	5.4	5.3	1.2g
瓶子草	第一天 PH 值	第三天 PH 值	第五天 PH 值	第七天 PH 值	第十天 PH 值	第十天食物剩餘重量
芹菜	5.5	5.4	5.5	5.5	5.5	2.0g
牛油	5.8	5.5	5.1	4.7	4.5	1.2g
白飯	5.5	5.5	5.3	5.2	4.9	1.5g
豬籠草	第一天 PH 值	第三天 PH 值	第五天 PH 值	第七天 PH 值	第十天 PH 值	第十天食物剩餘重量
芹菜	5.4	5.4	5.5	5.5	5.3	1.9g
牛油	5.8	5.5	5.1	4.7	4.5	1.0g
白飯	5.5	5.5	5.3	5.2	4.9	1.4g
毛氈苔	第一天 PH 值	第三天 PH 值	第五天 PH 值	第七天 PH 值	第十天 PH 值	第十天食物剩餘重量
芹菜	5.6	5.6	5.6	5.6	5.7	1.9g
牛油	5.8	4.9	4.5	4.2	3.8	0.6g
白飯	5.6	5.5	5.4	5.2	4.3	1.0g

- (2) 而從 PH 數據從第一天到第十天持續下降（代表纖維質的芹菜除外）表示消化作用持續進行，消化液容易吸收脂肪也反映在殘餘重量上，牛油殘餘量都在 1g 左右為最少，而芹菜幾乎重量沒有減少（維持在 2.0g 左右）。
- (3) 芹菜在五種食蟲植物中，在第一天到第十天的 PH 值沒有一些變動，殘餘食物重量與原先放入食物重量都在 2.0g 左右，顯示消化液幾乎不會吸收纖維素，雖然代表澱粉食物的白飯吸收量沒比代表脂肪食物的牛油多，但或多或少也有吸收一些，但對於芹菜的纖維質卻一點也無法吸收。
- (4) 牛油是動物性的食物，白飯及芹菜是植物性的食物，實驗證明消化液比起白飯或芹菜，較容易吸收牛油，這與上一個實驗（證明消化液易吸收動物性蛋白質優於植物性蛋白質）不謀而合。

(四) 食蟲植物對於不同種類動物(軟體、節肢、昆蟲等三種)的消化實驗。

1.實驗結果：(表列於下頁開頭)

2.實驗結果分析：

- (1) 從 PH 值及食物殘餘數量可知消化液對於蚯蚓最適合吸收，而麵包蟲則是最不適合吸收，而對蚯蚓的 PH 值從第一天到第十天持續下降表示持續吸收，麵包蟲及馬陸在第五至十天呈停滯狀態。

捕蟲堇	第一天 PH 值	第三天 PH 值	第五天 PH 值	第七天 PH 值	第十天 PH 值	第十天食物剩餘重量
蚯蚓	5.6	5.0	4.5	4.0	3.6	0.2g
馬陸	5.5	5.1	5.0	5.0	4.7	0.6g
麵包蟲	5.5	5.1	5.0	4.9	4.7	0.7g
捕蠅草	第一天 PH 值	第三天 PH 值	第五天 PH 值	第七天 PH 值	第十天 PH 值	第十天食物剩餘重量
蚯蚓	5.5	5.3	5.0	4.8	4.5	0.3g
馬陸	5.6	5.5	5.3	5.2	5.0	0.7g
麵包蟲	5.3	5.3	5.2	5.0	5.0	0.7g
瓶子草	第一天 PH 值	第三天 PH 值	第五天 PH 值	第七天 PH 值	第十天 PH 值	第十天食物剩餘重量
蚯蚓	5.7	5.2	5.1	4.7	4.4	0.4g
馬陸	5.6	5.3	5.3	5.2	5.1	0.8g
麵包蟲	5.4	5.3	5.3	5.0	5.0	0.7g
豬籠草	第一天 PH 值	第三天 PH 值	第五天 PH 值	第七天 PH 值	第十天 PH 值	第十天食物剩餘重量
蚯蚓	5.5	5.3	5.1	4.9	4.5	0.5g
馬陸	5.3	5.3	5.2	5.1	5.0	0.8g
麵包蟲	5.4	5.2	5.2	5.2	5.1	0.8g
毛氈苔	第一天 PH 值	第三天 PH 值	第五天 PH 值	第七天 PH 值	第十天 PH 值	第十天食物剩餘重量
蚯蚓	5.7	5.1	4.6	4.1	3.8	0.2g
馬陸	5.7	5.3	5.0	5.0	4.7	0.6g
麵包蟲	5.4	5.1	5.0	4.9	4.8	0.6g

(2) 從參考資料顯示消化液對於幾丁質不容易消化吸收，而馬陸（節肢動物）及麵包蟲（昆蟲幼蟲）身體構造大都由幾丁質構成，所以造成消化數據不如蚯蚓那麼多的原因。

(3) 我們討論如果從這實驗結果證明食蟲植物偏好捕食軟體動物（蚯蚓），而比較不喜歡捕食昆蟲（麵包蟲）及節肢動物（馬陸），這樣的推論太過武斷，但我們查了需多資料顯示許多軟體動物身體構造是由蛋白質所組成，剛好符合食蟲植物的食性，而昆蟲與節肢動物確有不少的確由幾丁質所構成，所以對食蟲植物而言不易吸收養分。（如：鞘翅目的昆蟲）

(4) 我們討論這實驗的題目原是：「食蟲植物對於不同種類動物(軟體、節肢、昆蟲等三種)的消化實驗。」還不如更改成「食蟲植物對於幾丁質吸收能力的探討」才更為貼切。

(五) 食蟲植物對於死餌及活餌的消化實驗。

1.實驗結果：(表列於下頁開頭)

2.實驗結果分析：

(1)實驗結果顯示食蟲植物對於死餌及活餌的營養吸收並沒有顯著差異，表示只要有食物觸發了捕食器的感應構造（如：捕蠅草的感覺毛）即可進行消化作用，

捕蠅草	第一天 PH 值	第三天 PH 值	第五天 PH 值	第七天 PH 值	第十天 PH 值	第十天食物剩餘重量
死餌	5.8	5.1	4.7	4.5	4.4	1.1
活餌	5.8	5.2	5.0	4.8	4.6	1.1
瓶子草	第一天 PH 值	第三天 PH 值	第五天 PH 值	第七天 PH 值	第十天 PH 值	第十天食物剩餘重量
死餌	5.7	5.1	4.7	4.5	4.2	0.9
活餌	5.8	5.3	4.5	4.6	4.1	0.8
豬籠草	第一天 PH 值	第三天 PH 值	第五天 PH 值	第七天 PH 值	第十天 PH 值	第十天食物剩餘重量
死餌	5.8	5.2	4.9	4.5	4.4	1.1
活餌	5.5	5.3	4.8	4.2	4.3	1.0
毛氈苔	第一天 PH 值	第三天 PH 值	第五天 PH 值	第七天 PH 值	第十天 PH 值	第十天食物剩餘重量
死餌	5.5	4.7	4.1	3.6	3.0	0.4
活餌	5.8	4.8	4.1	3.5	3.2	0.5
捕蟲堇	第一天 PH 值	第三天 PH 值	第五天 PH 值	第七天 PH 值	第十天 PH 值	第十天食物剩餘重量
死餌	5.5	4.4	3.5	3.1	2.8	0.3
活餌	5.5	4.8	3.9	3.4	2.9	0.4

獵物垂死前的奮力掙扎並不會特別啟動或刺激捕食器的構造進而加速消化作用。

- (2) 參考資料顯示：園藝店會把顆粒狀的肥料（不會動，狀似死餌）放入豬籠草的捕蟲袋中，讓捕蟲袋吸收養分，以保持袋子的賣相在最佳狀態長久以便售出，或許這商業上的小技巧可以映證這個的實驗結果。

三、影響捕蠅草的捕蟲夾捕食運動現象的因素討論。

(一) 大小不同點刺激啟動捕蠅草的捕蟲夾機制討論。

1. 實驗結果：

植株編號 不同 刺激物	1 號捕 蠅草閉 合時間	2 號捕 蠅草閉 合時間	3 號捕 蠅草閉 合時間	4 號捕 蠅草閉 合時間	5 號捕 蠅草閉 合時間	平均閉 合所需 時間
牙籤(1mm 以下)	3.1sec	3.2sec	2.9 sec	2.7 sec	3.1 sec	3.0sec
竹筷尖頭(4mm)	2.8sec	2.9sec	2.9 sec	3.0 sec	3.1 sec	2.94 sec
粗棉花棒(13mm)	3.0sec	3.0sec	2.9 sec	2.7 sec	2.9 sec	2.9 sec

2. 實驗結果分析：

- (1) 不管刺激點大小皆對捕蠅草閉合的時間沒有影響，閉合的全程時間都在 3 秒鐘左右，或許我們可以推論在正常情形下，捕蠅草閉合全程時間是 3 秒左右。
- (2) 同時不管刺激點大小，造成捕蠅草開始閉合的第一反應時間也都在 1 秒左右，綜合上述兩點，捕蠅草只要有刺激點就好了，即刻可以反應並閉合，刺激點的大小與否並不是非常重要。

(二) 不同捕蟲夾位置被刺激而啟動捕蠅草捕蟲夾機制討論。

1. 實驗結果：

植株編號 不同 刺激位置	1 號捕蠅草 受刺激後開 始時間	2 號捕蠅草 受刺激後開 始時間	3 號捕蠅草受 刺激後開始時 間	4 號捕蠅草受 刺激後開始時 間	5 號捕蠅草受 刺激後開始時 間	捕蠅草受刺 激後平均開 始時間
內壁邊緣	0.9 sec	1.1 sec	1.2 sec	1.0 sec	0.9 sec	1.02 sec
內壁中間	0.6 sec	0.5 sec	0.7 sec	0.4 sec	0.5 sec	0.54 sec
內壁葉柄連接處	1.5 sec	1.5 sec	1.6 sec	1.8 sec	1.4 sec	1.56 sec
夾毛內側	X	X	X	X	X	X

2.實驗結果分析：

- (1) 碰觸夾毛內側並不能啟動捕蟲夾活動機制，其他三處夾內的位置都可以啟動捕蟲夾活動的機制，可見啟動機制的感應構造在捕蟲夾的內壁。
 - (2) 其中以「內壁中間」一處最為快速，而「內壁葉柄連接處」反應最慢。
 - (3) 後來從參考資料得知：捕蟲夾內壁中間有一構造稱之「感覺毛」，左、右邊捕蟲葉子各有三處「感覺毛」(一組捕蟲夾則共有 6 點)，「感覺毛」是敏感的訊息接受器官，當我們刺激「內壁中間」處讓捕蠅草反應時，實則是刺激「內壁中間的感覺毛」所造成的，因此我們想更深地去研究感覺毛，造成下一個實驗：「不同感覺毛位置被刺激而啟動捕蠅草的捕蟲夾機制討論」。
- (三) 不同感覺毛位置被刺激而啟動捕蠅草的捕蟲夾機制討論。

1.實驗結果：

- (1) 刺激捕蠅草內壁感覺毛等六處各一次(共 6 種接觸方式)，結果夾子依舊打開未閉合，顯示只刺激一次感覺毛並不能有啟動捕蟲夾機制。
- (2) 第一次刺激感覺毛等六處各一次，第二次分別間隔 5、10、15、20、25 秒再刺激同一感覺毛一次(共 6 種接觸方式)，其結果如下：

右邊相同感覺毛 二次重複觸碰之 間隔秒數	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	25 秒
捕蟲夾閉合反應 情形	1 秒內開始 反應	1 秒內開始 反應	1.1 秒開始 反應	1.4 秒開始 反應	無反應
左邊相同感覺毛 二次重複觸碰之 間隔秒數	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	25 秒
捕蟲夾閉合反應 情形	1 秒內開始 反應	1 秒內開始 反應	1.2 秒開始 反應	1.4 秒開始 反應	無反應

- (3) 刺激感覺毛六處一次，分別間隔 5、10、15、20、25 秒之後，第二次去選擇與第一次被刺激感覺毛同側的另外兩處感覺毛擇一去刺激。(共 12 種接觸方式)；刺激感覺毛六處一次，分別間隔 5、10、15、20、25 秒之後，第二次去選擇與第一次被刺激感覺毛不同側的另外三處感覺毛擇一去刺激。(共 18 種接觸方式)，其結果如下：

右邊不同感覺毛二次不重複觸碰之間隔秒數	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	25 秒
捕蟲夾閉合反應情形	1 秒內開始反應	1 秒內開始反應	1.7 秒開始反應	2.1 秒開始反應	無反應
左邊不同感覺毛二次不重複觸碰之間隔秒數	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	25 秒
捕蟲夾閉合反應情形	1 秒內開始反應	1 秒內開始反應	1.5 秒開始反應	2.0 秒開始反應	無反應
先右葉後左葉不同感覺毛二次不重複觸碰之間隔秒數	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	25 秒
捕蟲夾閉合反應情形	1 秒內開始反應	1 秒內開始反應	1.6 秒開始反應	2.2 秒開始反應	無反應
先左葉後右葉不同感覺毛二次不重複觸碰之間隔秒數	5 秒	10 秒	15 秒	20 秒	25 秒
捕蟲夾閉合反應情形	1 秒內開始反應	1 秒內開始反應	1.6 秒開始反應	1.9 秒開始反應	無反應

2.實驗結果分析：

- (1)只刺激一次感覺毛，並不能有效啟動捕蟲夾閉合機制。
 - (2)如果前後間隔 25 秒才第二次刺激感覺毛，刺激感覺毛並不能有啟動捕蟲夾機制，所以 25 秒之內感覺毛的知覺還可以延續，超過即失去作用。
 - (3)從「兩次刺激同側不同感覺毛」與「兩次刺激不同側不同感覺毛」的實驗結果來看，兩組反應時間差不多，可見得左右邊的感覺毛反應效能一致，左右均衡，沒有「左撇子」或「慣用手」的情形發生。
 - (4)「兩次皆刺激同一點感覺毛」比「兩次刺激同側不同感覺毛」與「兩次刺激不同側不同感覺毛」反應略快，尤其兩次刺激間隔時間愈久就愈明顯（15 秒之後開始明顯），「兩次皆刺激同一點感覺毛」比其他兩組快的原因？推想對感覺毛而言刺激感是可以短時間之內累積的，所以造成較快啟動捕蟲夾的機制。
 - (5)「兩次皆刺激同一點感覺毛」、「兩次刺激同側不同感覺毛」與「兩次刺激不同側不同感覺毛」以上三組在間隔 10 秒刺激時都是 1 秒內開始反應，在大自然中要間隔 10 秒以上再去刺激第二次感覺毛的機會微乎其微，那是在人為的控制環境中才有間隔 10 秒以上的情況發生，所以對生長在大自然環境之下的食蟲植物而言「間隔 10 秒刺激時結果都是 1 秒內夾子開始反應」這樣的機制已經很夠用了，所以「兩次皆刺激同一點感覺毛」、「兩次刺激同側不同感覺毛」與「兩次刺激不同側不同感覺毛」以上三組在大自然的效能是一致的，只是在人為設計的實驗情境才會有所差異性。
- (四) 測試捕蠅草的捕蟲夾閉合秒數、打開所需天數及捕蟲夾開閉次數實驗。

1.實驗結果：

植株編號 不同 餵食狀態	1 號捕蠅草閉合 所需時間	2 號捕蠅草閉合 所需時間	3 號捕蠅草閉合 所需時間	4 號捕蠅草閉合 所需時間	5 號捕蠅草閉 合所需時間	平均閉合 所需時間
有食物進入夾內	3.1 sec	3.1 sec	2.9 sec	2.9 sec	3.0 sec	3sec
無食物進入夾內	3.0 sec	3.1 sec	2.8 sec	2.8 sec	2.9 sec	2.9sec

植株編號 不同 餵食狀態	1 號捕蠅草進食 完打開夾子所需 天數	2 號捕蠅草進食 完打開夾子所需 天數	3 號捕蠅草進 食完打開夾子 所需天數	4 號捕蠅草進食 完打開夾子所需 天數	5 號捕蠅草進食 完打開夾子所需 天數	平均打開 夾子所需 天數
有食物進入夾內	11 天	11 天	9 天	10 天	11 天	10.4 天
無食物進入夾內	3 天	3 天	3 天	3 天	3 天	3 天

植株編號 不同 餵食狀態	1 號捕蠅草總開 閉次數	2 號捕蠅草總開 閉次數	3 號捕蠅草總 開閉次數	4 號捕蠅草總開 閉次數	5 號捕蠅草總開 閉次數	平均捕蠅 草打開夾 子所需總 次數
有食物進入夾內	3	2	3	4	4	3.2
無食物進入夾內	2	3	3	3	4	3

2.實驗結果分析：

- (1) 綜合上述，可以推測捕蠅草的生理情況：一組捕蟲夾可以反覆開閉三次左右，到了三次開閉之後，捕蟲夾呈現老態並逐漸枯萎腐化，並再也不能打開夾子了。捕蟲夾從打開夾子受刺激而活動反應至關閉的過程約歷時 3 秒左右，一次夾子閉合進行消化作用約十天左右，十天之後消化作用完成，夾子自動打開，準備下一次爲了消化作用的引誘捕蟲工作。
- (2) 相對於夾子閉合進行消化作用約十天左右，作用完畢夾子自動打開；若只刺激捕蟲夾合上，卻故意不放入食物供消化，夾子內無食物可消化時，捕蠅草自己會產生自覺，約莫三天左右自行打開無食物可消化的空夾子。

四、影響豬籠草的捕蟲袋及瓶子草的捕蟲瓶捕食運動現象之因素討論。

(一) 豬籠草的捕蟲袋及瓶子草的捕蟲瓶消化液回復狀態的研究。

1.實驗結果：(表列於下頁開頭)

2.實驗結果分析：

- (1) 由兩組中的 D 組（對照組）可以得知：豬籠草的消化液原本就比瓶子草多。
- (2) 從研究結果顯示：豬籠草及瓶子草的消化液都可以再生。
- (3) 豬籠草及瓶子草的 D 組（對照組）消化液數量皆比 A、B、C 三組多，可見得消化液還是要在最自然的狀態之下才生成的多，任何人爲的改變皆不利

於消化液的生成。原本以為實驗結果 A 組數量會多於 D 組，因為 A 組是封閉的環境，水氣容易集中捕蟲器內，D 組則是自然空氣流通，所以消化液可能自然而然蒸散在大氣中，結果與預期相違背，同時也說明了人為因素無益於消化液生成，一切還是「天然 A 尚好」。

豬籠草	植株編號	一號三十天的消化液數量(ml)	二號三十天的消化液數量(ml)	三號三十天的消化液數量(ml)	四號三十天的消化液數量(ml)	五號三十天的消化液數量(ml)	平均消化液數量(ml)
	研究組別						
	A 組保鮮膜封袋口	3.2	3.2	3.3	2.9	3.3	3.18
	B 組袋底塗上樹脂	1.7	2.1	2.2	1.9	2.0	1.98
	C 組保鮮膜封袋口 袋底塗上樹脂	2.2	2.3	2.4	2.0	2.3	2.24
瓶子草	D 組自然對照組	4.2	4.1	4.0	4.0	3.9	4.04
	植株編號	一號三十天的消化液數量(ml)	二號三十天的消化液數量(ml)	三號三十天的消化液數量(ml)	四號三十天的消化液數量(ml)	五號三十天的消化液數量(ml)	平均消化液數量(ml)
	研究組別						
	A 組保鮮膜封瓶口	1.8	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5
	B 組瓶底注入樹脂	0.7	0.7	0.5	0.5	0.9	0.66
	C 組保鮮膜封瓶口 瓶底注入樹脂	1.0	1.1	1.3	1.3	1.4	1.22
	D 組自然對照組	2.5	2.7	2.9	3.0	2.9	2.8

(4) A、C 兩組因保鮮膜封瓶口及袋口，可能在捕蟲器內匯聚一些水氣，因此推測實際上消化液的容量可能更少，實驗結果的容量是消化液及水氣總和數。

(5) C 組及 B 組都是在捕蟲器底部注入樹脂實驗，而最後 C 組的容量較大，推測保鮮膜封住捕蟲器，而在內部匯聚一些水氣所致，C 組比 B 組多出來的容量應該大多是水氣匯聚而成。

(6) D 組大於 B 組，可見得底部受樹脂影響而減少生成消化液；A 組是捕蟲器口部受干擾，B 組是捕蟲器底部受干擾，但 A 組大於 B 組，可見得底部干擾比起口部干擾更強烈，會減少消化液生成，因此底部重要性大於口部；再加上 B 及 C 兩組接因捕蟲器底部干擾成為最少容量的兩組。綜合上述消化液主要應由捕蟲器底部生成，並不是捕蟲器內壁生成而聚集於底部的。

(二) 影響豬籠草的捕蟲袋及瓶子草的捕蟲瓶開袋蓋及瓶蓋的因素。

1. 實驗結果：

豬籠草	植株編號	一號二十天	二號二十天	三號二十天	四號二十天	五號二十天	平均二十天
	研究組別	開蓋數量	開蓋數量	開蓋數量	開蓋數量	開蓋數量	開蓋數量
	A 組正常施肥澆水	2 個	3 個	2 個	1 個	3 個	2.2 個
	B 組只澆水	3 個	4 個	4 個	5 個	5 個	4.2 個
瓶子草	C 組不澆水、施肥	7 個	6 個	9 個	8 個	7 個	7.4 個
	植株編號	一號二十天	二號二十天	三號二十天	四號二十天	五號二十天	平均二十天
	研究組別						

子 草	研究組別	開瓶數量	開瓶數量	開瓶數量	開瓶數量	開瓶數量	開瓶數量
	A 組正常施肥澆水	1 個	1 個	2 個	1 個	2 個	1.4 個
	B 組只澆水	4 個	3 個	4 個	3 個	4 個	3.6 個
	C 組不澆水、施肥	6 個	5 個	7 個	6 個	5 個	5.8 個

2.實驗結果分析：

- (1) 瓶子草的 A、B、C 三組的開瓶數據皆小於豬籠草的 A、B、C 三組的開蓋數據，因此推論在相同的栽培環境之下，豬籠草比起瓶子草有著較好的捕蟲器打開的天性，豬籠草的捕蟲袋比起瓶子草的捕蟲瓶成長更快速、更容易成熟。
 - (2) 從豬籠草及瓶子草的數據都可以看出培養環境優渥（水分及肥料充分供應）開蓋數及開瓶數就愈少；培養環境惡劣（水分及肥料不供應）開蓋數及開瓶數就愈多。推測當植株獲得營養愈多，捕蟲器的形成較慢、較少，因為植株不必靠著捕蟲器掠食即可獲得足夠養分；當植株獲得營養愈少，捕蟲器的形成較快、較多，因為植株必須靠著捕蟲器掠食輔助獲得足夠養分。
 - (3) 當植株獲得營養愈多，捕蟲器形成較慢、較少，植株不必靠著捕食昆蟲獲得養分，推論食蟲植物不一定要捕食動物為生，如果植株可以從他處獲取養分就毋須以食蟲為生，再者以食蟲為生而獲取營養應只是輔助養分，而不是主要營養的來源。
- (三) 探討豬籠草的捕蟲袋及瓶子草的捕蟲瓶位置因直立、平擺及斜放對於捕食能力的影響。

1.實驗結果：

豬 籠 草	植株編號	一號			二號			三號			四號			五號			平均數值		
	植株狀態(擺放角度)	90	45	0	90	45	0	90	45	0	90	45	0	90	45	0	90	45	0
	消化液高度 (mm)	42	10	1	45	13	1	45	14	1	41	11	1	39	7	1	42.4	11	1
	捕蟲數目(隻)	51	14	5	46	17	6	42	20	6	45	13	3	44	18	4	45.6	16.4	4.8
瓶 子 草	植株編號	一號			二號			三號			四號			五號			平均數值		
	植株狀態(擺放角度)	90	45	0	90	45	0	90	45	0	90	45	0	90	45	0	90	45	0
	消化液高度 (mm)	21	6	1	20	5	0.9	18	4	0.6	17	3	0.4	21	7	1.3	19.4	5	0.84
	捕蟲數目(隻)	22	7	2	20	5	1	18	6	1	15	5	2	21	7	2	19.2	6	1.6

2.實驗結果分析：

- (1) 不管擺放角度是多少度（0-90 度），豬籠草都比瓶子草有著更多的消化液容量及更高的消化液液面高度，而捕蟲數目方面豬籠草也較瓶子草多，所以我們推論捕蟲器內的消化液容量多、液面高，應該可以捕得較多的食物。
- (2) 不管豬籠草或瓶子草直立（90 度）的狀態（消化液液面高度最高）可以捕食最多的寵物螞蟻，斜放（45 度）的狀態居次，而平躺（0 度）的狀態（消化液液面高度最低）捕食最少，造成這樣的結果可能與昆蟲的逃脫能力有關。直立（90 度）的捕蟲器讓昆蟲受地心引力影響不易爬出，而直立的狀態有著最深的消化液足以讓昆蟲淹死在消化液中；相反地平躺（0 度）的

捕蟲器讓昆蟲不受地心引力影響容易爬出，而平躺的狀態有著最淺的消化液（高度在一公分以下）很難讓昆蟲淹死在消化液中。

（四）探討豬籠草捕蟲袋及瓶子草捕蟲瓶構造完整與否是否影響到捕食能力。

1.實驗結果：

豬籠草	植株編號	一號捕蟲	二號捕蟲	三號捕蟲	四號捕蟲	五號捕蟲	平均捕蟲數量
	研究組別	數量	數量	數量	數量	數量	
草	A 組剪掉袋蓋	30 隻	24 隻	21 隻	28 隻	22 隻	25 隻
	B 組剪掉袋蓋及袋子 1/2 部位	6 隻	6 隻	7 隻	4 隻	7 隻	6 隻
	C 組對照組保持完整	45 隻	46 隻	42 隻	40 隻	44 隻	43.4 隻
瓶子草	植株編號	一號捕蟲	二號捕蟲	三號捕蟲	四號捕蟲	五號捕蟲	平均捕蟲數量
	研究組別	數量	數量	數量	數量	數量	
草	A 組剪掉瓶蓋	6 隻	8 隻	8 隻	5 隻	4 隻	6.2 隻
	B 組剪掉瓶蓋及瓶身 1/2 部位	2 隻	2 隻	3 隻	1 隻	2 隻	2 隻
	C 組對照組保持完整	19 隻	20 隻	21 隻	17 隻	16 隻	18.6 隻

2.實驗結果分析：

- （1）不管是豬籠草或是瓶子草都要在捕蟲器完整時才能發揮最大的捕蟲功用，所以對照組的捕蟲隻數遠高於其他兩組的實驗組。
- （2）實驗 A 組因瓶蓋或袋蓋結構喪失，所以導致捕蟲功能減少而造成捕蟲數目較少。查詢相關資料得知：豬籠草的袋蓋或是瓶子草的瓶蓋上長有蜜腺分泌蜜糖或蜜汁，藉此引誘昆蟲吸食，並使昆蟲不慎失足落入捕蟲器的消化液中。或許是因為瓶蓋或袋蓋結構被人為去除，喪失了引誘昆蟲的誘因才使得捕食昆蟲數目低於對照組，可見瓶蓋或袋蓋確實會影響捕蟲功能。
- （3）實驗 B 組是剪掉瓶蓋及瓶身 1/2 部位去實驗，而得到最少的捕蟲數目，會造成如此的實驗結果是因為捕蟲器身長太短，昆蟲就算跌入消化液中，受地心引力影響很少，可以輕鬆爬出捕蟲器外逃脫；捕蟲器身長太短也讓消化液深度變淺，也使昆蟲不易溺斃。

五、食蟲植物豬籠草、毛氈苔、捕蠅草、捕蟲堇、瓶子草捕食能力探究。

（一）食蟲植物植株影響範圍與捕食能力之相關研究。

1.實驗結果：(表列於下頁開頭)

2.實驗結果分析：

- （1）實驗結果：以捕蟲率為準，可知捕蟲堇為最多，毛氈苔居次，再來是捕蠅草，最後分別為豬籠草及瓶子草。可見得豬籠草及瓶子草高大的植株並沒有較佳的攝食能力，反而低矮的捕蟲堇、毛氈苔、捕蠅草比較會捕蟲。
- （2）由這樣的結果推論捕蟲器外露（捕蟲堇、毛氈苔葉子腺體外露展開分泌黏液）的捕食數目會較多、效果較好；而利用蜜腺體分泌蜜汁及蜜糖的植物效果（豬籠草及瓶子草由袋蓋或瓶蓋分泌糖份、捕蠅草則是捕蟲夾內側邊

緣腺體分泌蜜汁)較不彰，這與我們原先設想利用引誘捕食策略的植物會捕食較多的猜測相反。

豬籠草	植株編號	一號	二號	三號	四號	五號	各項平均數值
	植株影響範圍 捕蟲數目	2054.2cm ³ 43 隻	1916.1 cm ³ 40 隻	1985.1cm ³ 41 隻	1827.3 cm ³ 40 隻	1891.5 cm ³ 38 隻	1934.8 cm ³ 40.4 隻
瓶子草	植株編號	一號	二號	三號	四號	五號	各項平均數值
	植株影響範圍 捕蟲數目	2538.5cm ³ 14 隻	2407.1cm ³ 17 隻	2443.1cm ³ 17 隻	2446.9cm ³ 18 隻	2339.3cm ³ 15 隻	2434.9cm ³ 16.2 隻
捕蠅草	植株編號	一號	二號	三號	四號	五號	各項平均數值
	植株影響範圍 捕蟲數目	65.3cm ³ 14 隻	57.8cm ³ 14 隻	66.3cm ³ 19 隻	64.7cm ³ 20 隻	57.1cm ³ 19 隻	62.2cm ³ 17.2 隻
毛氈苔	植株編號	一號	二號	三號	四號	五號	各項平均數值
	植株影響範圍 捕蟲數目	45.8cm ³ 10 隻	43.6cm ³ 14 隻	44.0cm ³ 15 隻	44.1cm ³ 13 隻	45.4cm ³ 18 隻	44.6cm ³ 14 隻
捕蟲堇	植株編號	一號	二號	三號	四號	五號	各項平均數值
	植株影響範圍 捕蟲數目	58.2cm ³ 17 隻	52.2cm ³ 23 隻	56.4cm ³ 24 隻	60.0cm ³ 20 隻	61.6cm ³ 18 隻	57.7cm ³ 20.4 隻

植株名稱	豬籠草	捕蠅草	瓶子草	毛氈苔	捕蟲堇
捕蟲率=(捕蟲數目/植株影響範圍) X 100%	2.08%	27.65%	0.66%	31.4%	35.4%
能力排比	4	3	5	2	1

- (3) 綜合上述(1)及(2)點，引誘捕食的植物(豬籠草、捕蠅草、瓶子草)不如在昆蟲行徑路線上設計陷阱的植物(毛氈苔、捕蟲堇)效果好，可見誘捕方式太費工又不符合經濟效率，反而在昆蟲日常行進的必經路徑上設計路障(黏液)而捕食比較容易成功，畢竟引誘方式通常會設定特定的象去吸引，不如在路上鋪路障的植物沒有預定對象，所以豬籠草、捕蠅草、瓶子草的「願者上鉤」策略不如毛氈苔、捕蟲堇的「囫圇吞棗」策略。
- (4) 毛氈苔及捕蟲堇的生長勢是「橫向」的生長，低矮的葉片是昆蟲日常行進的必經通過之處，所以因勢利導發展成含有黏液的捕蟲器陷阱，不必主動引誘，只需守株待兔即可。相對於毛氈苔及捕蟲堇，豬籠草、瓶子草植株較高大，豬籠草、瓶子草的生長勢是「直向」的生長，所以豬籠草、瓶子草不像毛氈苔及捕蟲堇有著低矮的「黏液捕蟲器」，而愈生愈高的捕蟲變態葉也因高度太高而非昆蟲日常行進的必經之地，所以只好發展成以引誘為策略的捕蟲方式，對豬籠草、瓶子草而言雖然引誘方式效率較低，但為了

因應豬籠草、瓶子草的生長型態（直向發展），這也是情非得已的策略。

（二）食蟲植物的黏液延展性與捕食能力之相關研究。

1.實驗構想：

捕蟲能力最好的前三名依序分爲是捕蟲堇、毛氈苔及捕蠅草，這三種植物消化液（黏液）都是呈現外露的狀態，其中捕蟲堇、毛氈苔黏液全佈滿在葉子上，算是最直接的外露黏液；而捕蠅草的黏液分佈在捕蟲夾內側，捕蟲夾打開的狀態有時開縫很小，但往往當植株狀況（生長勢）很強時，捕蟲夾打開狀態開縫就很大，此時也可以算是黏液的外露狀態；而豬籠草及瓶子草的消化液比較不黏稠，而且都裝在捕蟲袋中或捕蟲瓶中內部深處，除非將消化液倒出，否則是不容易直接碰觸到該液體的。我們設想捕蟲堇、毛氈苔及捕蠅草優異的捕蟲能力或許跟黏液有關，所以才額外增加設計一個探討黏液延展性與捕食能力是否有相關的研究實驗。

2 實驗步驟：

- （1）將棉花棒（棉花頭粗 2mm）抵住在捕蟲堇、毛氈苔及捕蠅草葉子上，然後順時鐘輕輕地轉五圈，接著輕輕將棉花棒慢慢的抽起遠離葉面，此時葉面上的黏液會沾黏在棉花棒上成爲細絲狀而漸漸拉長。
- （2）同時需把握時間，在細絲狀黏液被抽長時，在旁附上直尺量細絲狀黏液的長度，漸漸不斷把棉花棒遠離葉面，棉花棒距離葉面長度越長，絲狀黏液就會延伸更長，直到絲狀黏液不斷延長至斷掉，而此時在旁直尺所量得的長度數值就是黏液延展性的實驗數據。
- （3）重複施測同種五棵植株，記錄數據以求取平均值，製作相關表格登記數據。

3 實驗結果：

捕蟲堇						
植株編號	1	2	3	4	5	平均長度
黏液最長長度（cm）	14.4	10.9	11.5	12.3	11.8	12.18
毛氈苔						
植株編號	1	2	3	4	5	平均長度
黏液最長長度（cm）	8.9	7.4	6.4	8.3	6.7	7.54
捕蠅草						
植株編號	1	2	3	4	5	平均長度
黏液最長長度（cm）	X	X	X	X	X	X

4.實驗結果分析：

- （1）捕蠅草在實驗時，葉子會在被棉花棒碰觸不久之後自動閉合，造成實驗操作上的困難，也增加實驗失誤的機會，此外捕蠅草的黏液似乎沒有延展性，或者更正確的說法是延展性在 0.3cm 以下，還不到目測基本明顯數值 0.5cm 以上，應此在表格中記錄爲「x」，黏液幾乎毫無延展性而言。
- （2）捕蟲堇的黏液延展性是 12.18cm，毛氈苔的黏液延展性是 7.54cm，捕蠅草的黏液延展性是 0cm，從以上數據可以得知：黏液延展性越強，則捕食能力就越強。

(3) 黏液延展性的功能在於捕食獵物後，阻斷獵物有二次脫逃的機會發生。所以我們推論在大自然的環境之下，本實驗的對象（捕蟲堇、毛氈苔及捕蠅草）能捕食到的昆蟲小動物數目其實差不多，或許捕蠅草的數目略遜，捕蟲堇、毛氈苔則略多，但因黏液延展性功能強弱造成被捕獵物是否逃脫成功才是影響最後捕食數目的主因，像捕蠅草毫無黏液延展性功能，只有單純靠捕蠅夾的夾力箝制獵物，若能發展強而有力的黏液作用，或許捕蠅草就是功能性最強大、效率最高的植物掠食者。

六、食蟲植物應用於日常生活的印證實驗。

(一) 食蟲植物（毛氈苔、捕蟲堇、瓶子草）防蟲能力測試。

1.實驗結果：

毛氈苔	植株編號	一號	二號	三號	四號	五號	殘餘量 平均值
	蔬菜葉殘餘面積(平方公分)	8.1	7.9	8.2	8.0	7.7	7.98
	布丁塊殘餘重量(g)	6.7	6.8	6.5	6.6	6.4	6.6
捕蟲堇	植株編號	一號	二號	三號	四號	五號	殘餘量 平均值
	蔬菜葉殘餘面積(平方公分)	8.7	9.1	8.4	8.5	8.1	8.56
	布丁塊殘餘重量(g)	7.8.	7.5	7.1	6.9	6.76	7.065
瓶子草	植株編號	一號	二號	三號	四號	五號	殘餘量 平均值
	蔬菜葉殘餘面積(平方公分)	1.5	1.9	2.0	1.7	1.8	1.78
	布丁塊殘餘重量(g)	0.9	1.0	1.4	1.3	1.1	1.14
不放置食蟲植物	植株編號	一號	二號	三號	四號	五號	殘餘量 平均值
	蔬菜葉殘餘面積(平方公分)	1.6	2.1	1.4	1.3	1.0	1.48
	布丁塊殘餘重量(g)	1.2	0.9	1.1	0.8	0.9	0.98

2.實驗結果分析：

本實驗選擇捕食能力較佳的毛氈苔及捕蟲堇以及較差的瓶子草，並設計一組對照組實驗。三組食蟲植物實驗的殘餘數據（葉面面積及布丁重量）都比對照組多，所以可以得知實驗結果不論是捕食能力較佳的毛氈苔及捕蟲堇，抑或是較差的瓶子草，對於昆蟲都有著一定的「嚇阻」作用，但是這般的「嚇阻」能力是否

值得人類去利用其效能以得到利益，還是有待商榷。

陸、討論

- 一、食蟲植物與一般植物的不同點在於兩點：一是捕蟲器的演變構造；二是消化液的演化功能。絕大部分食蟲植物捕蟲器大都藉由葉子的變態而演化，少部分藉由根部來捕食獵物，至於莖部及花朵等構造進行捕食活動的則沒有。
- 二、所有食蟲植物消化液 PH 值都偏酸性，可見得酸性物質易於分解物質，鹼性物質比起酸性物質則無法有如此效果。
- 三、當食蟲植物消化食物時，要先分泌更多的酸液去分解食物，此時進食 PH 值會比不進食時的 PH 值低，因為增加酸液使 PH 值更低，代表消化液更酸。而消化液外露的食蟲植物（毛氈苔及捕蟲堇）因攝食時變數多，如：颶大風吹乾消化液或突然降大雨嚴重稀釋消化液濃度等等狀況發生，所以在有限的時間裡更加分泌更多及更濃的酸液進行作用，所以 PH 值降得最多；而消化液內藏的食蟲植物（捕蠅草、豬籠草及瓶子草）因攝食時變數較少，所以可以慢慢地消化獵物，不用在短時間內快速分泌酸液，自然 PH 值降得較少。
- 四、除了上述第三點說明何以進食時毛氈苔及捕蟲堇 PH 值降的比捕蠅草、豬籠草及瓶子草多外，從捕食能力的實驗也可以看出來毛氈苔及捕蟲堇捕食的螞蟻數高於捕蠅草、豬籠草及瓶子草，而毛氈苔及捕蟲堇捕食較多食物，自然而然需要更多酸液消化，而 PH 值自會降低許多，捕蠅草、豬籠草及瓶子草捕食的昆蟲不多，自然而然不需要更多酸液消化，而 PH 值自會降低較少，綜合第三、四點可以說明食蟲植物進食時 PH 下降值多寡的背後因素。
- 五、食蟲植物對於動物性及植物性蛋白質都會吸收，但仍偏好吸收動物性蛋白質。從澱粉、脂質及纖維素的實驗結果歸納若營養素是偏重動物成分組成較高的物質，食蟲植物較易攝取，如：脂質、蛋白質等；若是偏重植物成分組成較高的物質，食蟲植物較不易或不會攝取，如：澱粉、纖維素、醣類等。
- 六、常被食蟲植物捕食的小動物以陸生的軟體動物、節肢動物及昆蟲居多，但節肢動物及昆蟲身體構造中許多是幾丁質不利於消化，軟體動物身體構造中許多是蛋白質，剛好第五點提到食蟲植物偏好吸收動物性蛋白質，所以軟體動物應是食蟲植物最「嗜口的佳餚」。
- 七、食蟲植物對於死餌及活餌反應皆一致，並沒有為了活餌而有什麼特別的反應機制，所以只要是餌食都加以消化，但因為對於活餌無特別防逃動作，所以常常有中大型昆蟲被捕食後再逃脫的情形發生，尤其以捕蟲器外露的植物居多（如：毛氈苔及捕蟲堇），捕蟲器內藏的植物較少（如：豬籠草及瓶子草）。
- 八、對於捕蠅草而言刺激點大小不是很重要，重要的是是否刺激到對的位置—感覺毛，因為感覺毛位於捕蟲夾子的葉面內側，所以常會造成蟲子進入葉子中央被捕食的狀態，夾子內側真的是昆蟲接觸機會最多的部位，所以感覺毛生長到內側中央是正確的，而內側靠近葉柄處及尖端處是昆蟲確實較少接觸到的部分，至於夾毛的內外側昆蟲接觸到的機會也不比內側中央少，但夾毛結

構纖細無力，就算被觸動捕蟲機制也無力壓制昆蟲，會使昆蟲輕易逃離，而內側中央構造厚實有力，被觸動捕蟲機制則昆蟲不會輕易逃離成功。

- 九、捕蠅草的感覺毛至少碰觸兩次才有閉合機制，原因是避免不必要的「精力浪費」，從實驗中得知一個捕蟲夾通常最多可以開合反覆三次，所以每一次的開合動作都是珍貴的、不能輕易浪費的！若只需觸碰感覺毛一次就發生閉合動作，那麼雨滴、風吹、飛塵等因素都會引發閉合機制，但卻沒有食物被捕食，那不是白白浪費一次機會，所以捕蠅草才發展出短時間之內至少碰觸兩次才有閉合的機制，以免掠食的機會被雨滴、飛塵等因素而誤用浪費。
- 十、碰觸捕蠅草的感覺毛引發閉合機制是有限度的，一個捕蟲夾可以運作三次左右，大自然中類似的現象還有含羞草的例子，含羞草被觸碰葉子也會閉合，但若夾中食物無法順利消化，則會迅速加快捕蟲夾的腐敗老化，一個捕蟲夾則可能運作三次以下。
- 十一、實驗中捕蠅草的捕蟲夾若有食物則需經過 6-10 天左右，夾子才會從閉合到打開，消化作用告一段落。若無食物則需經過 2-4 天左右，夾子才會從閉合到打開，毫無消化作用進行。捕蟲夾會閉合，起因是感覺毛短時間之內至少碰觸兩次所致，但似乎捕蟲夾有一機制能判斷夾內有無食物可供消化，可消化及無法消化的捕蟲夾閉合打開的天數都不相同，推論應該是以是否持續供應消化液為判讀依據，若能持續供應消化液，表示消化作用持續進行，則捕蟲夾在 6-10 天後打開，若無持續供應消化液，表示消化作用沒在進行，則捕蟲夾在 2-4 天後打開。
- 十二、實驗前我們認為豬籠草及瓶子草中的消化液會再生，這構想經由實驗證明是正確的，而且由捕蟲器的底部生出，但後來查詢資料發現這個結果「部分正確」，消化液大多由捕蟲器的底部生出是沒錯，但還是有一些消化液由捕蟲器前、中段內壁生出，再匯聚集中在捕蟲器底部，讓我們誤以為消化液全由底部生出，其實前、中段內壁也會分泌一些消化液。
- 十三、而在自然環境中，捕蟲器內的消化液往往摻有雨水、動物體液等等，絕非純正的消化液物質，我們在培養豬籠草及瓶子草也有同感，常常會把灌溉用水不小心澆入捕蟲器內，使消化液成分不再純正。
- 十四、實驗中顯示給豬籠草及瓶子草充足的養分，植株的開袋（瓶）數反而變少，若限制供給少量或極少的養分，植株的開袋（瓶）數反而增多，原因是栽培環境越是優渥，就越不需要捕蟲器生成去捕食食物，靠人為供給水分、肥料即可獲得營養；栽培環境越是貧瘠，就越需要捕蟲器生成去捕食食物，靠植株自身獲得營養（捕蟲機制）。以上與我們通常認知的園藝常識及習慣有很大不同，以養蘭花為例，栽培環境越是優渥越是會開出好花供人欣賞，養果樹也是如此，栽培環境越是優渥越是會結出碩果供人採擷，偏偏只有食蟲植物的豬籠草及瓶子草相反，栽培環境越是優渥越不會結出捕蟲袋（瓶）供人欣賞，反而要加以「虐待苦毒」一番才結出捕蟲袋（瓶）供人欣賞。
- 十五、豬籠草及瓶子草直立、斜放或是平擺是會影響捕蟲數的多寡，捕蟲能力除

了植株本身條件因素之外，由這實驗可得知外在環境的地心引力也有輔助的效果，因此捕蟲要成功、輕鬆、有效率，植物構造需配合大自然的地心引力去生成，這樣才會「事半功倍」，而非「事倍功半」。

十六、豬籠草及瓶子草若損失袋蓋或是瓶蓋，則失去吸引獵物誘因（因袋蓋及瓶蓋會分泌吸引動物的物質），引誘策略失效自然小動物被捕捉的機會大減。再者，豬籠草及瓶子草的袋身及瓶身若損壞變短，雖有地心引力加持，但「請君入甕」的結構變短，所以小動物被捕捉的機會大減，因此「天然 A 尚好」啦！還是要保持捕蟲器的完整以獲取最大的捕蟲效果。

十七、從食蟲植物的捕食能力比較實驗得知以下結果：1.有黏液的植物捕食能力優於有蜜汁的植物。2.捕蟲器外露的植物捕食能力優於捕蟲器內藏的植物。3.利用動物行進路線上設計路障陷阱的植物捕食能力優於利用蜜汁引誘誘餌陷阱的植物。其中以捕蟲堇能力最佳，而瓶子草能力最差，從相關資料得知瓶子草往往還在消化動物屍體時，瓶身就已經腐壞傾倒在地面上，而腐敗的瓶身和未完全消化的小動物屍體不久滲入泥土裡變成瓶子草植株的養分去由根部吸收，這與大部分的食蟲植物吸收營養的方式略有不同，或許可以說明瓶子草不強的捕蟲能力，葉子只著重捕蟲並不在意消化能力，重點則是放在根部吸收因腐敗倒塌的葉子枯葉及吸收小動物屍體殘骸，還有一些植物也有相同的特性，如：惡魔之爪(*Ibicella lutea*)等類型的植物，所以有人將瓶子草或惡魔之爪稱之為「捕蟲植物」或「半食蟲植物」。

十八、實驗中在食蟲植物的包圍下，無論是葉菜類的葉表面積（平方公分）或布丁食品的重量（公克）都顯現出食蟲植物具有「防蟲」的功能。但此「防蟲」功能不是一般觀念上將蚊蟲驅趕而遠之目標物，不像樟腦丸或蚊香的作用，而食蟲植物以自身吸引昆蟲踏入陷阱，食蟲植物有點像似目標物的「替身」，替目標物當「替身」接受昆蟲等小動物的侵擾，而這「侵擾」卻也是動物們踏上死亡的陷阱，這「侵擾」不會令食蟲植物感到不舒服，反而多多益善。所以傳統上的防蟲功能是「鞭數十，驅之別院」的驅離措施，而利用食蟲植物的「防蟲」功能雖能降低目標物被小動物侵害的機會，但卻因為食蟲植物的生理特性，反而招致更多昆蟲進入目標物的四周場域中。

柒、結論與建議

一、食蟲植物多利用葉子的變態去形成捕蟲器，捕蟲器即是植物的「變態葉」，少部份利用根部捕食昆蟲，我們把常見的食蟲植物依據其捕食方式及植株構造分為三類：第一類、葉面容器型（土瓶草、太陽瓶子草、眼鏡蛇瓶子草、豬籠草及瓶子草等等）；第二類、葉面黏液型（毛氈苔、捕蟲堇、露松、彩虹草）；第三類、葉面活動閉合型（捕蠅草）。其中以第三類、葉面活動閉合型---捕蠅草最為特殊，因為捕食時有明顯的捕食動作（捕蟲夾在三秒左右迅速閉合），這是其他食蟲植物所沒有的特色，雖然毛氈苔也有葉面趨近獵物、包裹食物吸收養分的動作發生，但速度緩慢不明顯（動作產生至完成需數小

時，甚至於數日)，所以毛氈苔不與捕蠅草歸類於同一葉面活動閉合型。許多食蟲植物因外型不討喜，或者壽命短暫，再加上種植環境特殊、苛刻，同時價格上偏中高價，所以利用在園藝或商業的價值不多，能做為園藝品種去栽培的有限。

- 二、食蟲植物在進食時會分泌消化液，因消化液 PH 值普遍介於 5.0-5.9 之間，是為酸性液體，所以進食時增多消化液，也就是增多酸液，自然進食時比未進食時 PH 值更低，代表消化液更酸，尤其在需要快速消化的品種上更為明顯。食蟲植物對於大部分的營養成分都能吸收（蛋白質、澱粉、油脂），但還是有些營養成分無法吸收（幾丁質及纖維素），但相較於植物性的營養成分（植物性蛋白質、澱粉、醣類等等），食蟲植物還是對於動物性的營養成分（動物性蛋白質、脂肪等等）較嗜口。食蟲植物常捕食的小動物以昆蟲、節肢動物及軟體動物居多，其中軟體動物身體結構多由動物性蛋白質組成，所以較為嗜口好消化，但事實上軟體動物對於一般食蟲植物而言，大多體積龐大或體長過長（蝸牛、蛞蝓及蚯蚓），所以很少有機會捕食成功，而實際上食蟲植物常捕食的小動物，如：昆蟲、節肢動物，卻因為身體結構有幾丁質不能吸收（如：甲蟲、馬陸、蜈蚣），很難面面俱到。
- 三、對於捕蠅草而言，不管刺激點大小或是死餌、活餌，只需刺激到捕蟲夾葉子內側的感覺毛兩次以上，就能啟動捕蟲夾閉合的機制，一般而言感覺毛通常有 3-5 對，也就是說一個捕蟲夾有 6-10 支感覺毛供感應作用，刺激到感覺毛兩次以上的方法有三種，其中以「同一感覺毛被刺激兩次」反應最快，都在 1.5 秒內會反應，而「同側但不同一根感覺毛各刺激一次」及「在不同側一根感覺毛各刺激一次」反應速度差不多，都在 2.0 秒左右會反應，兩次刺激若間隔 25 秒左右，捕蟲夾就不能感應，無法閉合。經由實驗證明一般捕蠅草的捕蟲夾閉合需 3 秒左右的時間，一個捕蟲夾可以執行閉合打開的動作總共 3-4 次，超過 3-4 次，葉子不再動作，且慢慢老化枯去，一個捕蟲夾需要 6-9 天左右去完成一個消化過程，消化完畢葉子自動打開，以等待下一個獵物上門，若在十天以上無法將食物消化完畢（如：食物體積過大或大雨沖刷消化液提高 PH 值等等狀況發生），葉子會發生老化枯死狀態。若僅刺激捕蟲夾感覺毛使其閉合，但不供給食物，捕蟲夾不需要 6-9 天左右完成消化動作，只需 3-4 天因無食物吸收而自動打開捕蟲夾，造成捕蟲夾能感應有無食物吸收，而決定打開夾子天數的主要原因應是消化液是否有持續供應，有持續供應則需 6-9 天左右打開夾子，無持續供應則需 3-4 天左右打開夾子。
- 四、豬籠草與瓶子草的消化液皆會再生，捕蟲器底部生成的消化液最多；捕蟲器內壁生成的消化液較少，但往往內壁生成的消化液匯聚流到底部，與底部生成的消化液合併一起，而在大自然環境之下，豬籠草與瓶子草的捕蟲器內消化液往往摻有雨水等額外物質，相同地在人為栽培環境之下，豬籠草與瓶子草的捕蟲器內消化液往往摻有液肥、灌溉水等額外物質，要找到百分之百的消化液不容易，因消化液摻有雨水、動物體液、肥料、灌溉用水等額外物質，

導致消化液 PH 值產生浮動，故你所測出 PH 值可能比真正純正消化液 PH 值過酸或過鹼，因為雨水、動物體液、肥料、灌溉用水等物質已混合消化液造成 PH 的不穩定及錯誤值，建議在捕蟲瓶或捕蟲袋尚未打開時取出消化液測試 PH 值才最正確，因為此時消化液還沒摻有任何其他物質。若栽培豬籠草與瓶子草的環境很理想，植株不需食蟲，就有充分養分吸收，自然而然捕蟲瓶或捕蟲袋因沒有生存急迫性打開的數量減少，若栽培豬籠草與瓶子草的環境很不理想，植株需要食蟲，才有充分養分吸收，自然而然捕蟲瓶或捕蟲袋因有生存急迫性打開的數量增多。捕蟲瓶或捕蟲袋的直立、橫倒、斜放確實會影響捕蟲績效，直立的捕蟲器會使地心引力的作用大大加乘，斜放的捕蟲器會使地心引力的作用有限，橫倒的捕蟲器會使地心引力的作用毫無挹注，所以在野外的溼地裡，瓶子草捕蟲瓶垂直地面直聳而往上生成，在野外的密林裡，豬籠草捕蟲袋垂直地面搖晃而下懸掛。因捕蟲器蓋子的蜜腺會分泌物質引誘動物入甕，捕蟲器蓋子被去除不利於捕捉攝食，而捕蟲器去除一半長度，剩下的短短一截會使得地心作用打對折，增加已被捕捉昆蟲的脫逃機會，所以捕蟲器去除一半長度也不利於捕捉攝食，保持完整的捕蟲器蓋子負責引誘昆蟲，則是第一道捕食關口，再來有深度的捕蟲器讓地心作用輔助加成，讓跌入直立陷阱內的獵物想逃卻逃不掉，這是第二道捕食關口，最後由底部的消化液負責吸取營養，是第三道的捕食關口，所以說要保持捕蟲器的完整性以求取最大的捕食效應。

- 五、以單一植株來說(不包含由母頭衍生的小側芽)，實驗對象的植株影響範圍以瓶子草及豬籠草最為廣大，但捕蟲能力反而較弱，植株影響範圍小的低矮植物的毛氈苔、捕蟲堇及捕蠅草捕蟲能力反而較強，從實驗中歸納出捕蟲能力強的幾個共同點：1.植株低矮，捕蟲器需鋪設在小動物易到的生活範圍中，毛氈苔、捕蟲堇的捕蟲變態葉幾乎貼平地面掠食，捕蠅草略高一點，而瓶子草及豬籠草的捕蟲器則隨著植株生長勢越來越「高高在上」，自然大減捕食機會，並因植株構造強迫自己衍生出蜜糖引誘策略，但還是不如低矮的毛氈苔等黏液陷阱策略，從參考資料得知豬籠草有些品種生有「下位瓶」，而越長越高的則是「下位瓶」，下位瓶就貼近地面捕食，方法有點類似毛氈苔、捕蟲堇，如：蘋果豬籠草（*Nepenthes ampullaria*），不過這類會長下位瓶的豬籠草占豬籠草家族極少數，因此不再加以贅述。2.黏液延展性越強捕食能力也越強，黏液延展性可把獵物緊緊黏在捕蟲器中，延展性越強黏力愈大，使獵物掙扎拉扯以破壞黏液逃脫的機會大減，其中以捕蟲堇黏液延展性最強，故捕蟲率也最高，而捕蠅草雖有黏液，但該黏液延展性幾乎沒有，所以捕蟲率低於毛氈苔、捕蟲堇，但總比靠蜜腺引誘的豬籠草及瓶子草高出許多，可見黏液是比蜜糖在捕食技巧上更有攻擊性、效率性。總所上述，植株影響範圍越大越有利於捕蟲，不過植株影響範圍主要囊括在小動物常在活動的生活場域才行，此外蜜糖引誘不是非常必要的，但絕佳的黏液捕食能力卻不可缺少！試想當植株影響範圍大且在動物的日常生活場域作用，光靠黏液就可以

把行進的小動物捉住，何需蜜汁慢慢引誘一、兩隻昆蟲上門，所以毛氈苔、捕蟲堇的捕食對象總是一群一群「自投羅網」；豬籠草及瓶子草的捕食對象則是一隻一隻的「願者上鉤」，以上敘述說明了劃分捕蟲能力高低的理由。

六、從實驗中得知食蟲植物是可以「防蟲」的，但它們的防蟲方式不是像除蟲菊、防蚊草將蟲驅趕，反而招致更多昆蟲讓它們捕食，爲了驅蟲反而導致更多昆蟲出現，一般人或家庭是不會使用食蟲植物「防蟲」，以免「越防越多」，雖然食蟲植物很盡本分「防蟲」，但隨著昆蟲小動物數量越來越多，難保不會有幾隻昆蟲突破「食蟲植物防護網」以「達陣成功」，但從參考資料得知真的利用食蟲植物防蟲的例子，例如在東南亞一些生產高經濟園藝作物的農場，像繁殖蟻巢玉（*Hydnophytum*）、蟻蕨（*Lecanopteris*）及蘭花（香蕉蘭屬 *Schomburgkia*）的苗圃皆在場子四周附帶種植、繁殖食蟲植物，一來食蟲植物可以增加銷售多樣化以獲得更多經濟利益，再者食蟲植物可以幫忙驅蟲，但若有突破「食蟲植物防護網」以「達陣成功」的少數昆蟲也不會對於蟻巢玉（*Hydnophytum*）、蟻蕨（*Lecanopteris*）及蘭花（香蕉蘭屬 *Schomburgkia*）造成蟲害，因爲蟻巢玉、蟻蕨、香蕉蘭等植物都是善於與昆蟲共生的「蟻植物」（*myrmecophytic or ant plant*），所以少量的昆蟲「入侵」共生，不但不會破壞植物販賣的商業品相，反而有助於提升蟻巢玉、蟻蕨、香蕉蘭等等這類蟻植物的植物活力及植株存活率。

七、在培養食蟲植物時覺得瓶子草最好種，下雨時淋雨、全日照日曬、頂樓風沙吹襲都沒有關係，不用避雨遮陽。再來好種植的是豬籠草與捕蠅草，半日照需遮陽避免曬傷，其他狀況如下雨雨淋及大風吹拂也不妨礙生長。最難種植的就是毛氈苔及捕蟲堇，難題在於捕蟲變態葉上的消化液，因消化液外露直接日曬會乾涸，黏液外露會遭雨水稀釋於流失殆盡，太強的風也吹乾消化液，若風中帶有大量泥沙灰塵則沾黏污損捕蟲變態葉面，使其無法作用。就算植株受傷生病，體積較大的瓶子草及豬籠草也容易醫治而救回復原，體積小的毛氈苔及捕蟲堇一發不可收拾，往往無法救回，而毛氈苔及捕蟲堇常常群生，但若其中一株生病，通常傳染力很快，連帶同盆其他群生植株也遭殃。若有心想種植食蟲植物建議可以從瓶子草著手，再來是豬籠草，第三是捕蠅草，最難的是毛氈苔及捕蟲堇。從栽培經驗與實驗探討中得知或許植物栽培難易度與捕蟲能力高低有所關連，如瓶子草體質強健，毋須太多的額外養分供其維護生長，所以捕蟲能力低也無妨，而相對於消化液外露的毛氈苔及捕蟲堇而言，真是「成也消化液，敗也消化液」，消化液外露是其捕蟲的利器，但消化液外露容易遭外界各種因素破壞捕蟲器，所以消化液外露是最大優點，也是最大缺點！而毛氈苔及捕蟲堇因消化液外露導致捕蟲器容易損壞老化，所以它們更需要多餘的額外養分「進補」自己，消化液外露同時使捕蟲能力大增以填補因捕蟲器損壞而喪失的養分，因此在栽培時覺得毛氈苔及捕蟲堇捕蟲葉子的新陳代謝非常快速，相較之下毋須藉由捕蟲快速供給自身養分的豬籠草及瓶子草葉子的新陳代謝就很慢。昆蟲等小動物對於毛氈苔及捕

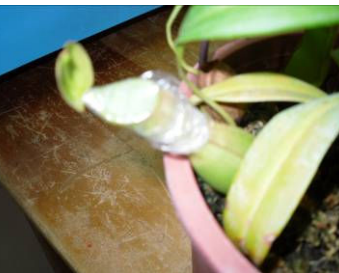
蟲莖應是「重要主食」之一，而昆蟲等小動物對於瓶子草或豬籠草則是聊勝於無的「零嘴」或「開胃菜」。

- 八、在栽培的過程中，無意中發現當食蟲植物捕食到過大的獵物時，因獵物體積過大導致消化不良，而出現捕蟲器加速老化腐敗的現象，尤其以毛氈苔及捕蟲莖反應最為顯著，以最快的速度導致變態葉的衰敗，而瓶子草及豬籠草則腐化速度較慢，猜測原因可能是毛氈苔及捕蟲莖屬於高效率捕食並快速消化營養的食蟲植物，反之瓶子草及豬籠草則屬於低效率捕食及緩慢消化營養的植物，但較快速的攝食機制遇到消化作業執行困難時，會更快速地爆發問題窘境（捕蟲器腐敗現象），反而較緩慢的攝食機制遇到消化作業執行困難時，也以緩慢漸進的方式凸顯問題所在（捕蟲器腐敗現象）。此外有時捕蟲器提早快速腐敗現象並不全是因為消化困難，有時因小動物死命掙扎也會破損捕蟲器的表面造成傷害，使捕蟲器因傷口感染而發生腐敗現象，這對毛氈苔及捕蟲莖一樣不利，因為這兩種的植物葉子厚度很薄（葉面上一直沾有黏液，使葉子有趨於薄軟的液化感覺），很容易破皮而感染壞死，而瓶子草及豬籠草則葉子厚度較厚，比較不會破損衰敗。綜合以上所述，不管是消化不良因素或是動物死命掙扎因素，因毛氈苔及捕蟲莖特有的消化模式及稍薄的葉面結構，會讓毛氈苔及捕蟲莖的葉子較快腐敗死亡，而瓶子草及豬籠草的相同反應則比較和緩進行。
- 九、之前對於瓶子草及豬籠草的消化模式認知是利用蓋上的蜜腺分泌蜜糖，以吸引小動物取用蜜糖，而導致昆蟲、小動物自己不小心失足跌入捕蟲器中的消化液，讓獵物在消化液中溺斃以獲取養分。但後來從相關資料顯示蜜糖中含有麻痺動物的成分，所以動物跌入消化液中其原因應不該是自身不小心失足，而是受到麻痺物質影響，讓獵物神智不清、精神渙散而跌入陷阱中的。以上兩種說法，一是強調獵物自身的大意，另一則是強調麻痺獵物的機制，至於孰是孰非，目前尚無定論，關於食蟲植物這是一個非常值得研究的主題。
- 十、此次科展主題屬於廣泛研究，針對常見的五種食蟲植物去瞭解探討，以後可以針對單一品種深入研究，例如：豬籠草的消化液成分分析、捕蠅草捕蟲夾閉合的機制探討、狸藻根部捕食特性探究等等主題，以增加研究的深度。
- 十一、一些不常見但好種的食蟲植物也可以日後加以研究，如：狸藻、食蟲鳳梨等等，或許有意想不到的發現！也可以將研究內容與常見食蟲植物研究結果互相做比較，以增加研究的廣度。
- 十二、食蟲植物常常與其他植物共生，這些植物可視為食蟲植物的「伴生植物」，例如：瓶子草在原生地常常與活水苔倆相為鄰，食蟲植物與其伴生植物的相關研究也是未來可以投入的課題。
- 十三、台灣有許多在地的食蟲植物，如：長葉毛膏菜（*Drosera indica*）、寬葉毛氈苔（*D. burmanii*）、黃花狸藻（*Utricularia aurea*）及本次實驗用的小毛氈苔（*Drosera spatulata*）等等，都是食蟲植物在地研究的好對象，也是鄉土教材的最好主題。

捌、參考資料

- 1.食蟲植物觀賞與栽培圖鑑（夏洛特）。2007。商周出版社。
- 2.甜蜜陷阱 Sweet Trap（新竹縣政府）。2008。行政院農業委員會林務局。
- 3.完全元氣花草遊戲-My Garden.第 22 期（夏洛特、王正毅）。2005。城邦出版社。
- 4.食蟲植物記。取自：<http://www.cp-essay.com/index.htm>
- 5.塔內植物園食蟲植物版精華文章。取自：
<http://www.tbq.org.tw/tbgweb/cgi-bin/jinghua.cgi?action=list&forum=19>
- 6.台灣蝕・論。取自：<http://www.taiwan-cp.com/phpbb/index.php>

附錄：相關研究照片

		
狸藻：外貌平凡不吸引人，缺乏商業價值，所以很少出現在市面販售。	小瓶子草（ <i>H. minor</i> ）：屬於太陽瓶子草屬，在台灣因夏季高熱而衰弱，不易栽種。	人造塑膠蟻巢：飼養作為餌料的寵物螞蟻的繁殖處，還可觀察螞蟻生活情形。
		
兩種餌料：圖左為馬陸，捕捉自腐質土盆栽，右圖為麵包蟲，購自甲蟲店。	測試 PH 值：利用 PH 筆貼近濕黏的捕蟲莖葉面，測量捕食後的 PH 值變化。	消化液實驗：豬籠草袋內液體倒出，封上保鮮膜，阻隔空氣讓消化液再生。
		
捕蟲器結構實驗：左為去除袋蓋，中為去除 1/2 袋身，右為對照組，加以測試因結構不同所造成的捕食情形差異。	算出瓶子草影響範圍：用直尺量出植株的長度、寬度及高度，並將數據互相乘出（單位：立方公分），最後數據即為植株影響範圍。	殘餘食物秤重：將食蟲植物所「保護」的布丁塊秤重，若重量越多，則表示該種食蟲植物「驅趕」昆蟲的能力越強。