

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 生物科

080317

老謀深算—捕蠅草捕食機制電位差之研究

學校名稱：彰化縣彰化市平和國民小學

作者： 小六 陳柏溢 小六 梁又升 小六 張佑丞 小六 蕭瑞玟	指導老師： 葉連源 陳建佑
---	-----------------------------

關鍵詞：捕蠅草、電位差

摘要

本研究想知道捕蠅草的捕食動作是如何產生。以 B52 捕蠅草為例，以迴紋針輕觸捕蠅草內感覺毛連續兩次，使捕食器閉合。當刺激感覺毛時，會產生一個電位差；第二次刺激，會再造成電位改變。實驗發現碰觸間隔 40 秒後閉合機率為 0%；進一步實驗得知捕食器大小與電位差無絕對關係。十個不同捕食器第一次與第二次碰觸電位差均落在 | 84 | mv 到 | 142 | mv 之間，而前述實驗中第一次碰觸捕食器的最小電位差為 | 60 | mv 左右，故另行設計實驗，藉由電刺激器輸入 60mv 電刺激，捕食器閉合機率為 0%；僅一次輸入 140mv 電刺激，捕食器閉合機率為 100%，證實只要刺激的電壓夠大（相當於兩次碰觸的電位差總和），即造成捕食器的閉合。當捕食器離開母株超過 28 分鐘後閉合現象便消失。

壹、研究動機

假日一到，最開心的是拿著電玩搖桿進入超級瑪莉歐的世界。有玩過瑪莉歐的都知道，遊戲裡有令人聞風喪膽的食人花；現實世界裡真的有嗎？康軒自然五上第二單元「植物世界面面觀」，發現長得像食人花且如昆蟲殺手的捕蠅草，令人匪夷所思的捕蟲方式，讓我們對於捕蠅草的捕食「機智」，產生濃厚的興趣，於是我們決定深入研究植物界的昆蟲獵人--「捕蠅草」。

貳、研究目的

本實驗想要探討捕蠅草的捕食機制和電位差的關聯，如下：

- 一、多少時間內連續碰觸可使捕食器閉合？
- 二、捕食器大小與電位差是否有關？
- 三、不同植株碰觸時的電位差比較？
- 四、不同捕食器的閉合情形與電刺激的關係？
- 五、活體生物進入捕食器電位差情形？
- 六、捕食器離開原株後多少時間內碰觸的閉合情形？

參、研究設備及器材

一、研究材料及設備：

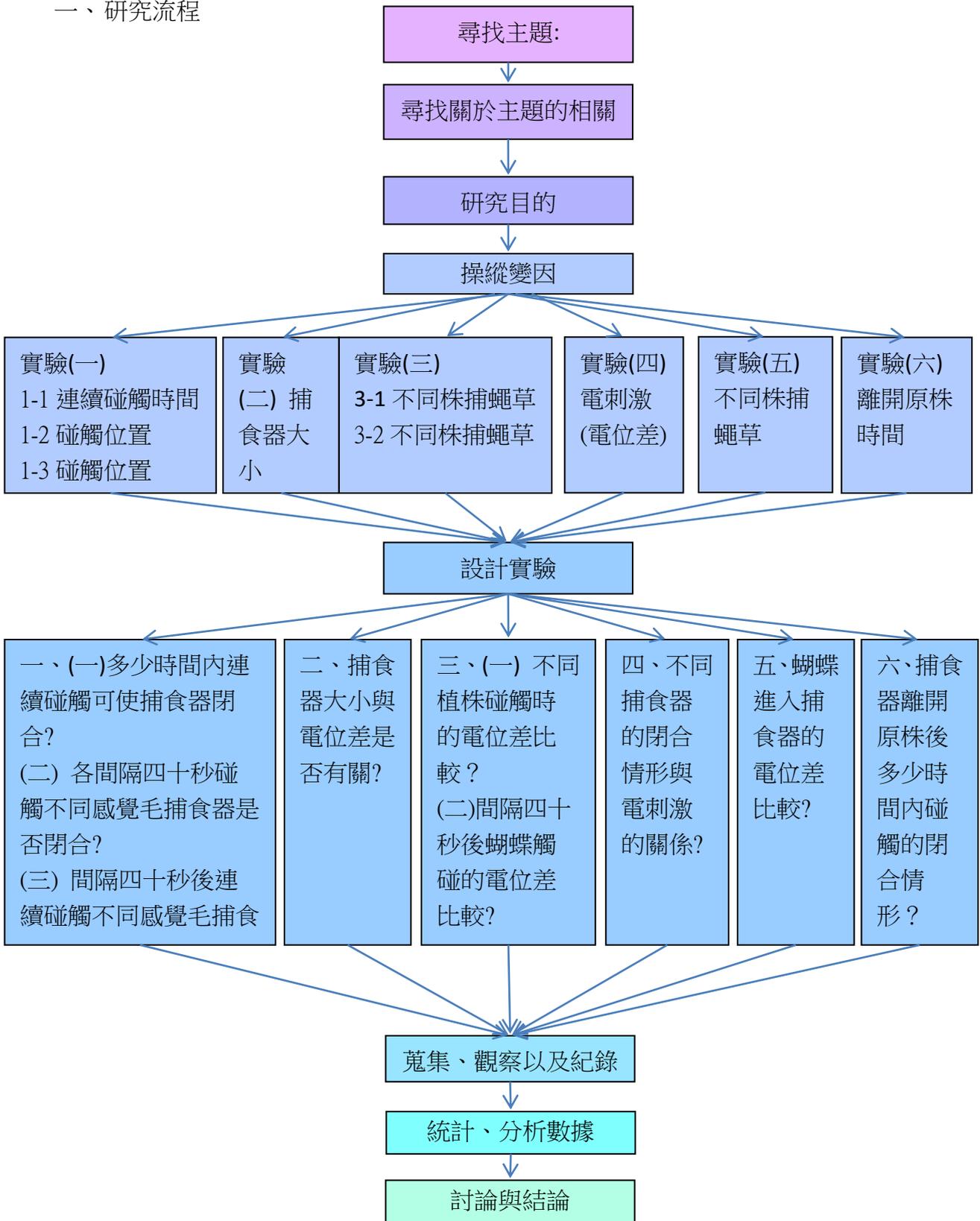
PC Based USB 示波器、迴紋針、相機、捕蠅草、電腦顯示螢幕、電刺激器、示波器

表 3-1：研究設備照片數量說明表

材料、器材	照片	數量	材料、器材	照片	數量
捕蠅草		24 盆	電刺激器		一台
PC Based USB 示波器		一台	示波器		一台
迴紋針		兩支	相機		一台
電腦顯示螢幕		一台	絕緣夾子		一支

肆、研究過程或方法

一、研究流程



▲圖 4-1 研究流程圖

二、文獻探討

(一) 捕蠅草介紹

捕蠅草是原產於北美洲的食蟲植物，葉子頂端長有一個類似「貝殼」的捕食器，且能分泌蜜汁，當有小蟲闖入時，能以極快的速度將其夾住，這時兩片葉瓣內側密集的内腺體會分泌出消化液進行吸收，這些消化液中含有的蛋白酶，將昆蟲的蛋白質分解成以氮、氧、碳、氫為主，還可能包括其他元素構成的胺基酸。

(二) B52 捕蠅草

本實驗選擇 B52 直立大型捕蠅草進行觀察，理論上 B52 的捕食器能長到 5.7cm 以上，但因種植環境的不同，能長到 4cm 已經算是很稀有了。B52 非常依賴陽光，光照不足的話，可能會使捕食器生長緩慢、夾子變小、原本紅色的葉子會變成綠色，可是也不能因光照不足而一次照太強烈的陽光。B52 適合的生長條件：溫度是 20~30 度，濕度是 50%，土壤則是珍珠土、水苔、沙、無肥泥炭土等。

(三) 分佈地區

捕蠅草僅存於美國的南卡羅萊納州東南方的海岸平原及北卡羅萊納州的東北角。在原產地卡羅萊納州，捕蠅草生長在潮濕的砂質或泥碳的濕地或沼澤地，這些地區通常呈現草原的形態，只有零星的松樹分佈著，因此很開闊，能接受到大量的日照。這裡的氣候溫暖而潮濕，在夏季，白天炎熱，晚上也還能保持溫暖，冬季則很冷，但並不至於冷到經常降雪。

(四) 種植條件

種植捕蠅草首要條件必須保有充足的水分。也因為捕蠅草由根部呼吸，所以栽植的土壤可以與沙一起混用，讓其排水狀況良好，容易接觸新鮮空氣，最好同時以半日照的環境種植。因為原產地土壤貧瘠，在土壤的選擇上，過多養分的土壤會造成捕蠅草死亡，最好選擇無肥的泥炭土。

(五) 捕蠅草捕食機制

根據文獻中研究，捕蠅草會藉由捕食器感覺毛的觸動，進行閉合的動作捕捉食物。而這個動作是藉由捕食器內部激發一個動作電位，當昆蟲快速引出兩個動作電位，也就是快速觸動碰觸感覺毛兩次時，陷阱便會閉合。當捕蠅草的捕食器裡有昆

蟲來訪時，昆蟲通常會觸動到捕食器的內壁，獵物會一直掙扎導致捕食器變的更緊直至獵物不再掙扎，或陷阱完全密合，密合後的捕食器會慢慢將食物消化掉，變成養份吸收，理論上數天後吸收完成即會再度打開，並留下無法吸收的骨骼等部份。

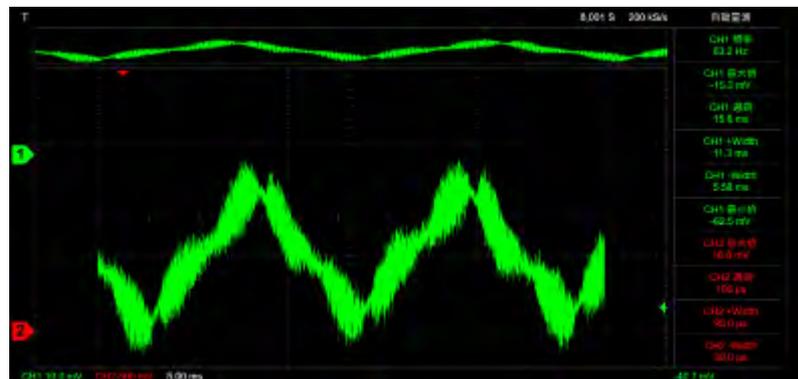
(六) 量測實驗原理

本次實驗使用了一種測量儀器，是 PC Based USB 示波器；根據文獻，得知捕蠅草在觸發捕食器時，會產生一個細微的生物電電位差。電位差就是電壓，所以我們透過量測電壓值的 PC Based USB 示波器來觀察、測量電壓，用來證明明確在碰觸捕食器的感覺毛時，捕蠅草內部會產生一個電位差。而 PC Based USB 示波器可以連接到電腦，將很細微的電壓/時間(千分之一伏特 mv /百萬分之一秒 μs)變化透過電腦顯示並計錄下來。

(七) 電位能與電位差

在電位能中，電位(電的位置)越高、電量越大的物體電位能越大。電量是指帶電的多寡，單位是庫侖。

電位是以正電來定義的。如果有一個正電在電場中落下，那麼正電就是往「低電位」的方向加速移動；反方向就是所謂的「高電位」的方向。一個自由正電在電場中，會向左方加速，代表左方是低電位，右方是高電位。造成電位高低的原因是因為正負電荷。在正電荷附近是高電位；遠離正電荷則是低電位，負電荷附近則是低電位；遠離負電荷則是高電位。負電荷則是從低電位往高電位移動。如圖 4-2 所示最大電位差為 $-15.3mv$ ，最小電位差為 $-62.5mv$ 。負號代表電子帶負電，所以取最小值 $-62.5mv$ ，為實驗的比較數據。



▲圖 4-2 精密電表顯示之電位差數值圖

(八) 電刺激器

輸出電刺激是連接電極的部分，一般可分為定電流或定電壓的輸出放大電路，或是兼具兩者的特殊電路。也就是輸出電流或電壓的值是固定不變的，大小不會隨著欲刺激組的阻抗而改變，像是電極、皮膚或其他部分的身體組織。

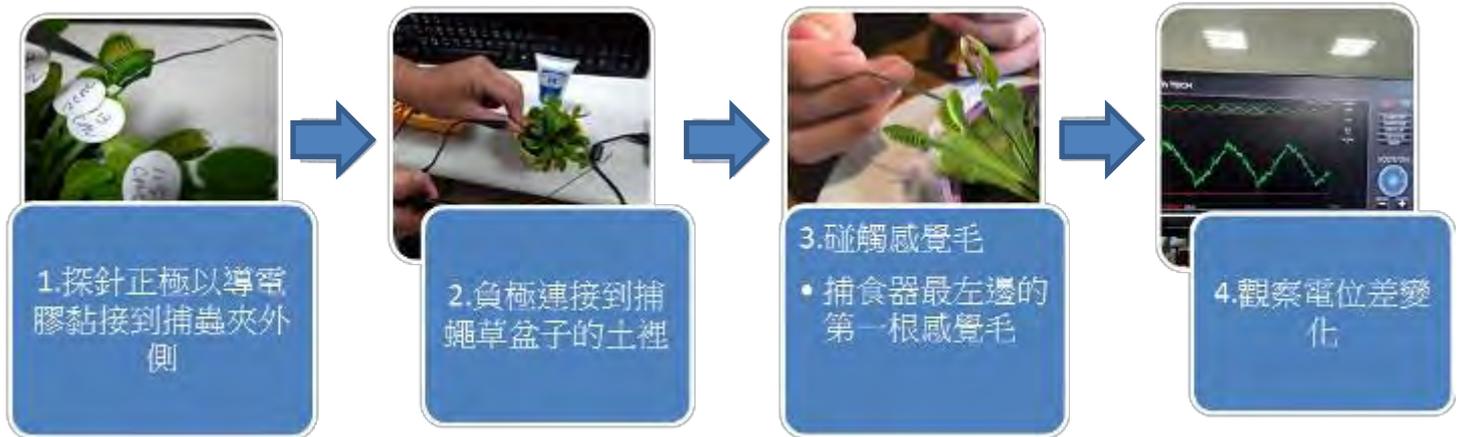
三、實驗變因

表 4-1：六項九個實驗主題之變因分析表

實驗主題	控制變因	操縱變因	應變變因
一、(一)多少時間內連續碰觸可使捕食器閉合？	碰觸材質、碰觸位置	連續碰觸時間	閉合時間的改變
(二)各間隔四十秒碰觸不同感覺毛捕食器是否閉合？	碰觸材質、連續碰觸時間	碰觸位置	閉合情形
(三)間隔四十秒後連續碰觸不同感覺毛捕食器是否閉合？	碰觸材質、連續碰觸時間	碰觸位置	閉合情形
二、捕食器大小與電位差是否有關？	碰觸材質、碰觸位置	捕食器大小	電位差的改變
三、(一)不同植株碰觸時的電位差比較？	碰觸材質、碰觸位置	不同株捕蠅草	電位差的改變
(二)間隔四十秒蝴蝶碰觸的電位差比較？	碰觸材質(蝴蝶)、間隔時間	不同株捕蠅草	電位差的改變
四、不同捕食器的閉合情形與電刺激的關係？	間隔時間	電刺激(電位差)	閉合情形
五、蝴蝶進入捕食器的電位差比較？	碰觸材質(蝴蝶)	不同株捕蠅草	閉合情形
六、捕食器離開原株後多少時間內碰觸的閉合情形？	碰觸材質、碰觸位置	離開原株時間	閉合情形

四、PC Based USB 示波器操作方法介紹

將 PC Based USB 示波器探針正極(紅)以導電膠粘接到捕食器外側，並將負極(黑)連接到捕蠅草盆子的土裡，這樣就會形成一個迴路，再利用迴紋針碰觸捕食器左側第一根感覺毛，當捕蠅草內部產生了電位差，就可以由電腦顯示螢幕觀察到電位差變化，如圖 4-3。



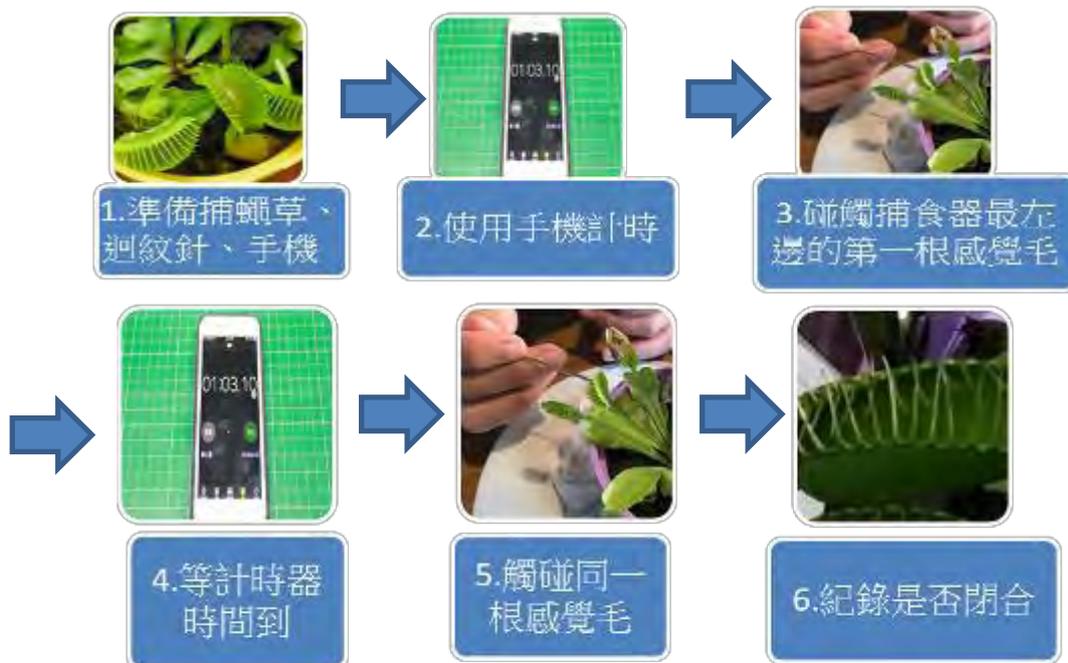
▲圖 4-3 PC Based USB 示波器實驗流程圖

伍、研究結果

一、多少時間內連續碰觸可使捕食器閉合

實驗 1-1：間隔多少時間連續碰觸可使捕食器閉合？

我們選擇 10 個捕食器進行兩次碰觸時間的間隔差異，探討捕食器的閉合情形，如圖 5-1。



▲圖 5-1 間隔多少時間連續碰觸可使捕食器閉合實驗流程圖

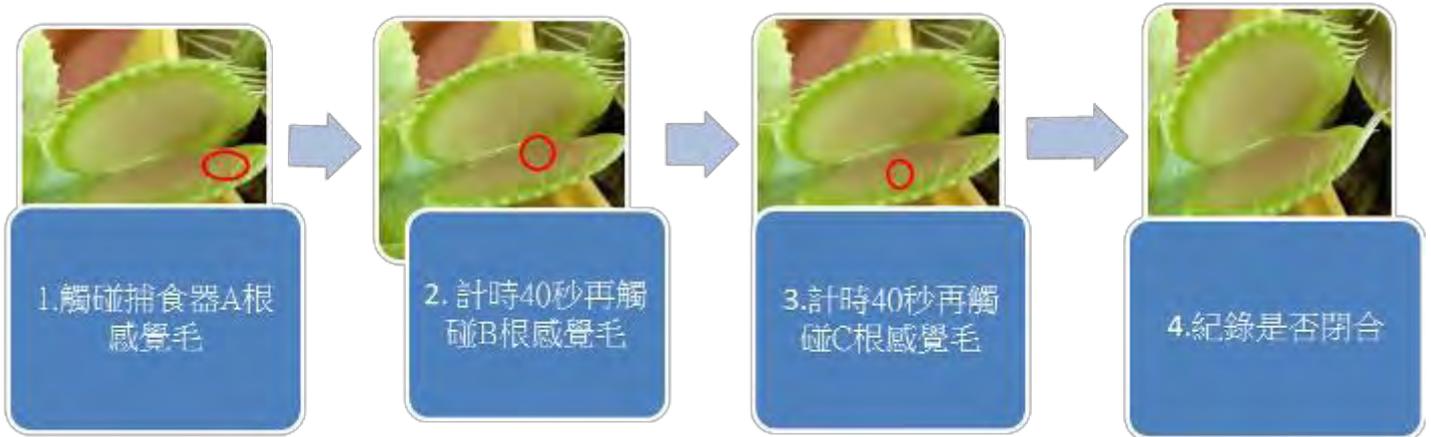
表 5-1 間隔多少時間連續碰觸可使捕食器閉合情形統計表

捕食器 編號 時間	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	1-10
25 秒	合	合	合	合	合	合	合	合	合	合
30 秒	合	合	合	合	合	合	合	合	合	合
35 秒	合	合	無	無	合	合	無	合	合	合
36 秒	合	合	無	無	無	無	無	合	無	合
37 秒	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
38 秒	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
39 秒	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
40 秒	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
捕食器 編號 時間	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8	2-9	2-10
25 秒	合	合	合	合	合	合	合	合	合	合
30 秒	合	合	合	合	合	合	合	合	合	合
35 秒	合	合	無	合	合	合	合	合	合	合
36 秒	合	合	無	無	合	無	無	無	合	合
37 秒	無	無	無	無	合	無	無	無	無	合
38 秒	無	無	無	無	合	無	無	無	無	合
39 秒	無	無	無	無	合	無	無	無	無	合
40 秒	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

由表 5-1 我們可以知道碰觸間隔時間為 30 秒時，所有捕食器都可以閉合，但隨著時間的增加，到 40 秒時所有捕食器皆無法閉合。

實驗 1-2：捕食器間隔 40 秒碰觸 A、B、C 三根感覺毛，是否可以閉合？

經由實驗 1-1 發現碰觸同一根感覺毛間隔 40 秒後不會產生閉合，所以我們設計了實驗 1-2 由同株五個捕食器進行 40 秒依序碰觸 A、B、C 三根不同感覺毛的閉合實驗。如圖 5-2



▲圖 5-2 捕食器間隔 40 秒碰觸 A、B、C 三根感覺毛是否可以閉合實驗流程圖

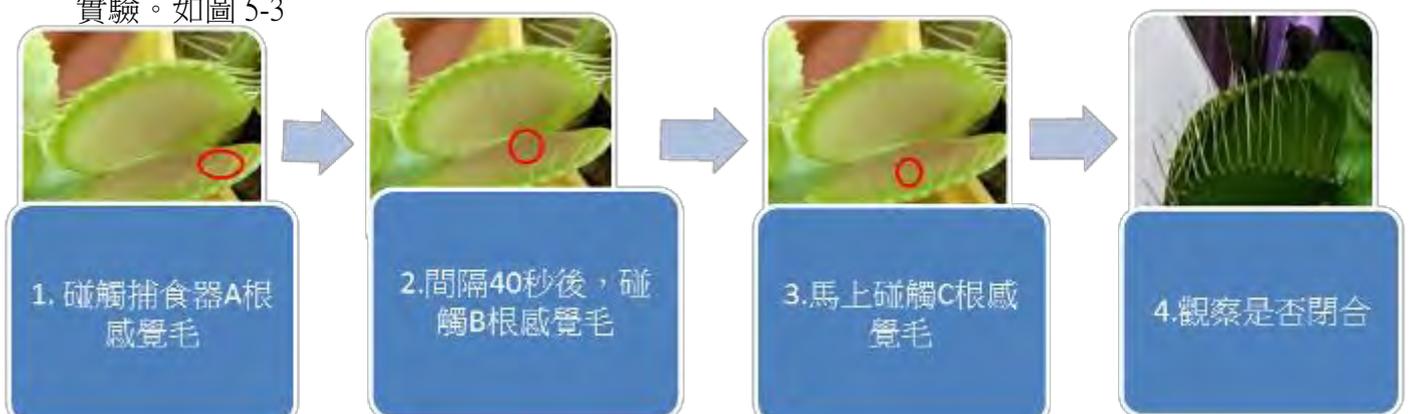
表 5-2 捕食器間隔 40 秒碰觸 A、B、C 三根感覺毛是否可以閉合統計表

捕食器編號	1	2	3	4	5	閉合機率
是否閉合	無	無	無	無	無	0%

由實驗 1-2 更可確認捕食器的計算回合最大極限為 40 秒，每 40 秒為一回合，過了 40 秒捕食器就會重新計算。

實驗 1-3：間隔 40 秒後連續碰觸不同感覺毛捕食器是否閉合？

經由實驗 1-2 發現依序碰觸三根感覺毛間隔 40 秒後不會產生閉合，所以我們設計了實驗 1-3，由同株五個捕食器進行碰觸 A 感覺毛後間隔 40 秒連續碰觸 B、C 兩根不同感覺毛的閉合實驗。如圖 5-3



▲圖 5-3 間隔 40 秒後連續碰觸不同感覺毛捕食器是否閉合實驗流程圖

表 5-3 間隔 40 秒後連續碰觸不同感覺毛捕食器是否閉合統計表

捕食器編號	6	7	8	9	10	閉合機率
是否閉合	合	合	合	合	合	100%

由表 5-3 可知由實驗 1-3 更可確認捕食器的最大極限為 40 秒，且 40 秒為一回合，過了 40 秒捕食器就會重新計算。由實驗 1-2、1-3 可以發現 40 秒為一個回合，過了 40 秒後就重新計算，隔了 40 秒在碰觸兩下就會被認為是第 2 回合的第 2 次碰觸便會閉合

二、 實驗 2： 同株不同大小的捕食器碰觸感覺毛後產生電位差比較

我們由同一株捕蠅草上的 10 個不同大小捕食器觀察閉合電位差的差異，如圖 5-4。



▲圖 5-4 同株不同大小的捕食器碰觸感覺毛後產生電位差實驗流程圖

表 5-4 捕食器大小閉合產生電位差統計表

捕食器大小 (公分)	1.3	1.5	1.6	1.8	2	2	2.3	2.4	2.5	2.8	平均
第一次碰觸 電位差(mv)	-80	-46	-80	-80	-68.8	-56.1	-49.8	-62.5	-47.7	-70.2	-65
第二次碰觸 電位差(mv)	-57.5	-80	-47.7	-56.1	-61.8	-54.7	-62.5	-58.3	-62.9	-47.7	-59.3
總合	-137.5	-126	-127.7	-136.1	-130.6	-110.8	-112.3	-120.8	-110.6	-117.9	-124.3

由表 5-4 得知捕食器長度為 1.3 公分、1.6 公分及 1.8 公分在第一次碰觸時都產生最小電位差為-80mv，最大電位差為 1.5 公分所產生的-46mv；第二次碰觸僅有 1.5 公分產生最小電位差為-80mv，最大電位差則是 1.6 公分與 2.8 公分所產生的-47.7mv。

三、 實驗 3：不同植株捕蠅草的捕食器閉合的電位差關係。

實驗 3-1：不同植株捕蠅草的捕食器在間隔 25 秒時閉合的電位差值？

我們選擇了 A、B、C 三盆捕蠅草進行實驗，探討不同的捕蠅草之捕食器在 25 秒時所產生的電位差是否有所不同。

表 5-5 A 盆捕蠅草的捕食器閉合產生電位差統計表

捕食器編號	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	平均
第一次碰觸電位差(mv)	-80	-46	-80	-68.8	-47.7	-64.5
第二次碰觸電位差(mv)	-57.5	-80	-56.1	-61.8	-62.9	-63.66
總合(mv)	-137.5	-126	-136.1	-130.6	-110.6	-128.16

由表 5-5 我們可以得知 A 盆捕食器第一次碰觸電位差都落在-46 mv 到-80 mv 之間平均為-64.5 mv，第二次碰觸電位差都落在-56.1 mv 到-80 mv 之間平均為-63.66 mv。

表 5-6 B 盆捕蠅草的捕食器閉合產生電位差統計表

捕食器編號	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	平均
第一次碰觸電位差(mv)	-80	-56.1	-49.8	-62.5	-70.2	-63.72
第二次碰觸電位差(mv)	-47.7	-54.7	-62.5	-58.3	-47.7	-54.18
總合(mv)	-127.7	-110.8	-112.3	-120.8	-117.9	-117.9

由表 5-6 我們可以得知 B 盆捕食器第一次碰觸電位差都落在-49.8mv 到-80 mv 之間，平均為-63.72mv；第二次碰觸電位差都落在-47.7 mv 到-62.5mv 之間，平均為-54.18mv。

表 5-7 C 盆捕蠅草的捕食器閉合產生電位差統計表

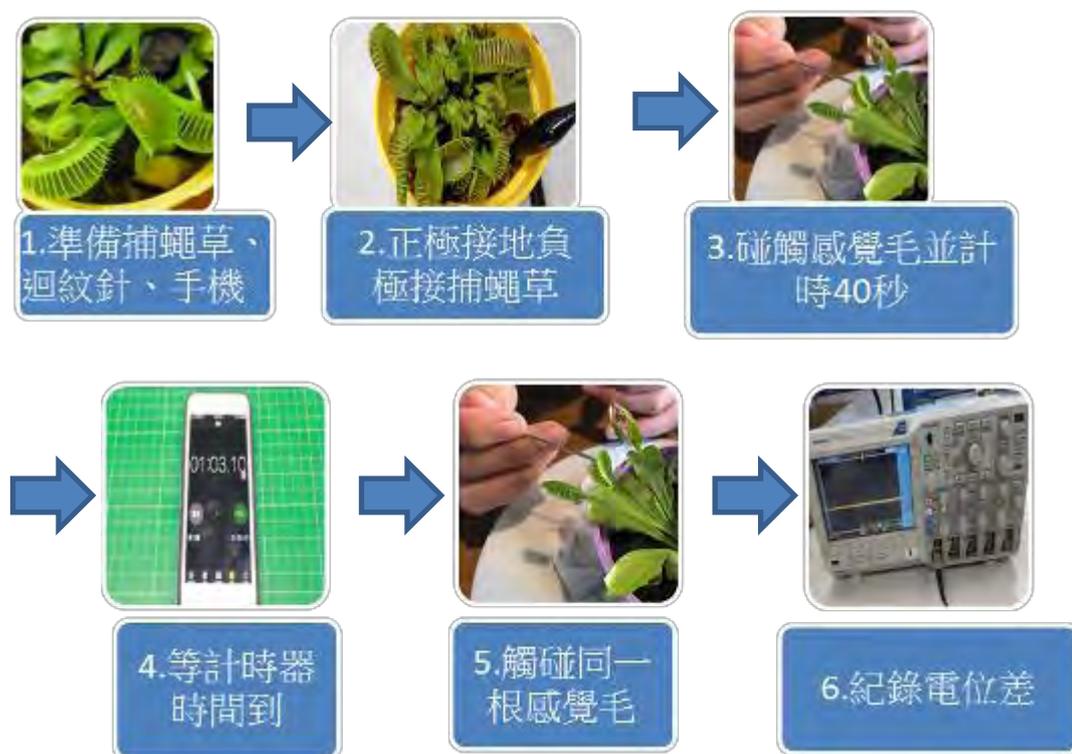
捕食器編號	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	平均
第一次碰觸電位差(mv)	-61.1	-47.4	-66	-52.6	-71.6	-59.74
第二次碰觸電位差(mv)	-46.3	-51.9	-50.5	-48.4	-47	-48.82
總合(mv)	-107.4	-99.3	-116.5	-101	-118.6	-108.56

由表 5-7 我們可以得知 C 盆捕食器第一次碰觸電位差都落在-47.4 mv 到-71.6 mv 之間，平均為-59.74 mv；第二次碰觸電位差都落在-46.3 mv 到-51.9 mv 之間，平均為-48.82 mv。

實驗 3-2：不同植株捕蠅草的捕食器在間隔 40 秒時閉合的電位差值？

由實驗 1 中我們發現間隔 40 秒後捕食器就無法閉合，我們設計了實驗 3-2 利用電位差來觀察 15 個捕食器，進行兩次間隔 40 秒的碰觸探討捕食器的電位差值。

如圖 5-5



▲圖 5-5 多少時間內連續碰觸可使捕食器閉合實驗流程圖

表 5-8 D 盆捕蠅草連續碰觸間隔 40 秒捕食器閉合電位差統計表

捕食器編號	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8	D-9	D-10	平均
第一次碰觸電位差(mv)	-100	-32	-102	-26	-68	-40	-48	-64	-66	-40	-58.6
第二次碰觸電位差(mv)	-20	-100	-40	-96	-28	-58	-36	-52	-60	-80	-57
總和	-120	-132	-142	-122	-96	-98	-84	-116	-126	-120	-115.6

由表 5-8 我們可以得知十個捕食器第一次碰觸電位差都落在-26mv 到-102 mv 之間，平均為-58.6mv；第二次碰觸電位差都落在-20 mv 到-100mv 之間，平均為-57mv；總和為-115.6 mv，最大為-84 mv，最小為-142 mv。

四、 實驗 4：不同捕食器的閉合情形與電刺激的關係？

我們選擇了 20 個捕食器進行實驗，探討不同的捕食器被輸入 60mv、140mv 的電刺激與閉合情形的關係。

實驗 4-1：輸入 60mv 的電刺激對捕食器閉合情形的關係？

在實驗 2、3、5 得知第一次碰觸得的平均為-60mv 左右，所以我們經由電刺激器，對捕食器輸入 60mv 的電刺激，探索捕食器的閉合情形，如圖 5-6。



▲圖 5-6 輸入 60mv 的電刺激對捕食器閉合情形的關係實驗流程圖

表 5-9 實驗 6-1：輸入 60mv 的電刺激對捕食器閉合情形的關係？

捕食器編號	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10
輸入 60mv 電位差閉合情形	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

由表 5-9 得知，捕食器在輸入 60mv 電刺激碰觸感覺毛時，十個捕食器都沒有產生閉合。

實驗 4-2：輸入 140mv 的電刺激對捕食器閉合情形的關係？

在實驗 2、3、5 得知兩次碰觸得的平均為-140mv 左右，所以我們經由電刺激器，對捕食器輸入 140mv 的電刺激加以刺激，探索捕食器的閉合情形，如圖 5-7。



▲圖 5-7 輸入 60mv 的電刺激對捕食器閉合情形的關係實驗流程圖

表 5-10 捕食器輸入 140mv 的電刺激後閉合情形統計圖。

捕食器編號	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6	F-7	F-8	F-9	F-10
輸入 140mv 電刺激閉合情形	合	合	合	合	合	合	合	合	合	合

由表 5-10 得知，捕食器輸入 140mv 的電刺激，直接碰觸感覺毛一次，十個捕食器都直接閉合。

五、 實驗 5：蝴蝶進入捕食器產生電位差之變化？

我們由同一株捕蠅草選了 10 個捕食器進行蝴蝶進入捕食器產生電位差之變化實驗。如圖 5-8



▲圖 5-8 蝴蝶進入捕食器產生電位差之變化實驗流程圖

表 5-11 蝴蝶進入捕食器產生電位差之變化統計表

昆蟲編號	蝴-1	蝴-2	蝴-3	蝴-4	蝴-5	蝴-6	蝴-7	蝴-8	蝴-9	蝴-10	平均
碰觸電位差最小值(mv)	-108	-118	-108	-110	-132	-134	-134	-104	-140	-120	-120.8

由表 5-11 我們可以得知如果將蝴蝶放進捕食器，產生的電位差都落在-108mv 到-140mv 之間，平均則是-120.8mv。

六、 實驗 6： 捕食器離開原株後多少時間內碰觸的閉合情形？

我們想探討不同的捕蠅草之捕食器離開母株多少時間內能產生閉合情形?所以將捕蠅草的捕食器由母株的節點部分剪下進行實驗，探討不同的捕蠅草之捕食器離開母株多少時間內能產生閉合狀態。

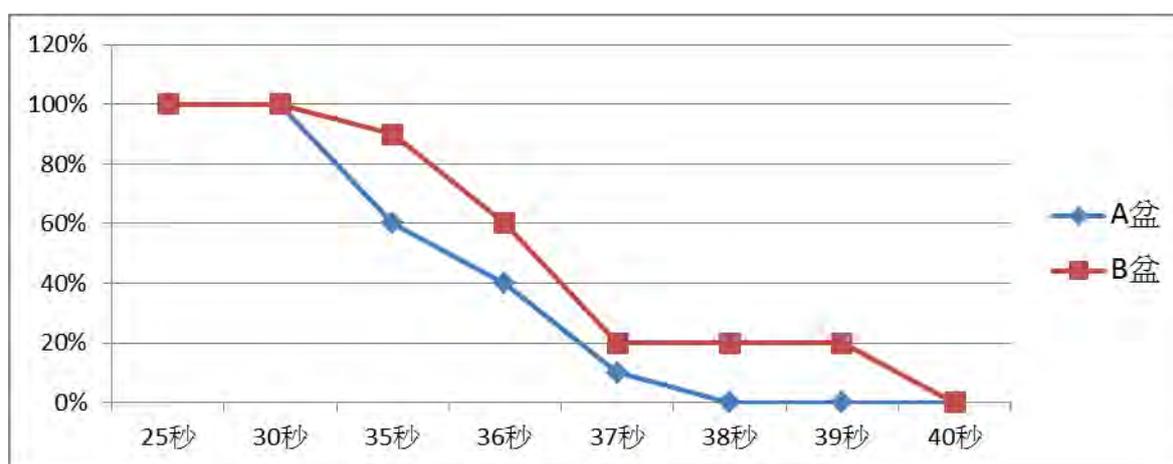
表 5-12 捕食器離開原株時間產生閉合統計表

捕食器編號 \ 時間	1 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	28 分鐘	29 分鐘	30 分鐘
G-1	合	合	合	合	合	合	合	合	無
G-2	合	合	合	合	合	合	合	無	無
G-3	合	合	合	合	合	合	合	無	無
G-4	合	合	合	合	合	合	合	合	無
G-5	合	合	合	合	合	合	合	合	無

由表 5-12 我們可以得知捕食器離開原株後，28 分鐘之前都有閉合現象，直到 29 分鐘才產生差異，到 30 分鐘閉合機率則為 0%。

陸、 討論

一、 多少時間內連續碰觸可使捕食器閉合？

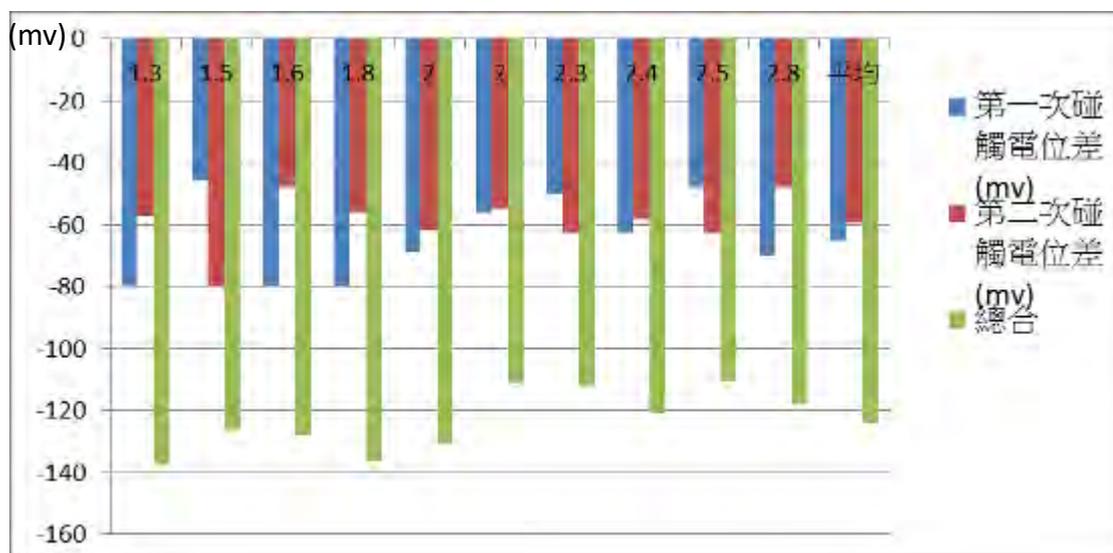


▲圖 6-1 捕蠅草連續碰觸間隔時間捕食器閉合情形統計圖

由圖 6-1 得知第一次碰觸和第二次碰觸間格 30 秒內有 100% 機率閉合，30 秒後 A、B 兩盆開始產生差異，到 40 秒之後兩盆後閉合機率就降至 0%，完全無法閉合。由實驗 1-2、1-3 可以發現 40 秒為一個回合，過了 40 秒後就重新計算，隔了 40 秒在碰觸兩下就會被認為是第 2 回合的第 2 次碰觸便會閉合。

二、捕食器大小與電位差是否有關？

為了瞭解捕食器大小與電位差是否有關，我們選擇了十個大小不同的捕食器，並將其兩次碰觸的電位差相加，製作成圖 6-2。



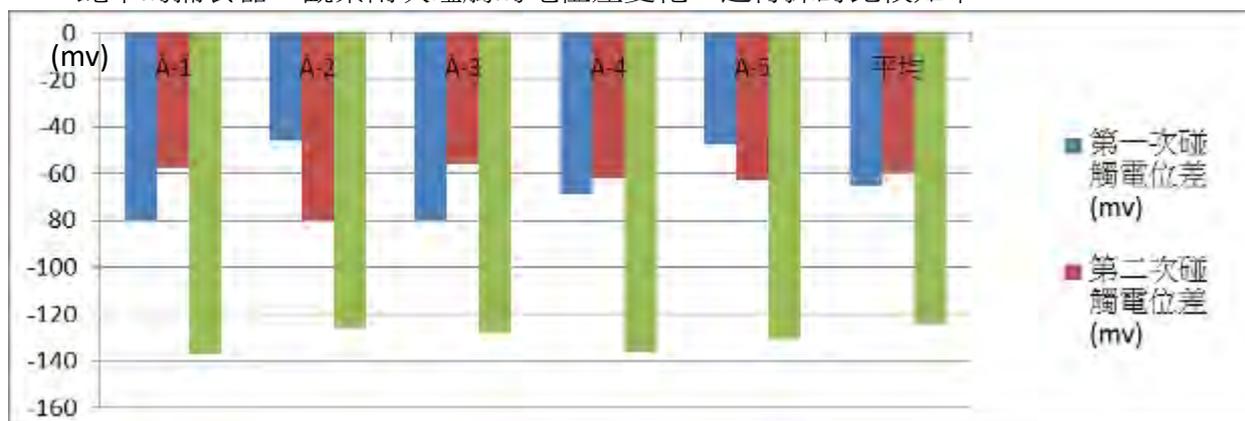
▲圖 6-2 捕食器大小與電位差統計圖

由圖 6-2 可以看到最小 1.3 公分的捕食器兩次碰觸的電位差總和為-137.5mv 最小，但是最大捕食器的電位差總和不是最大的，只有-117.9mv。

三、不同植株碰觸時的電位差比較？

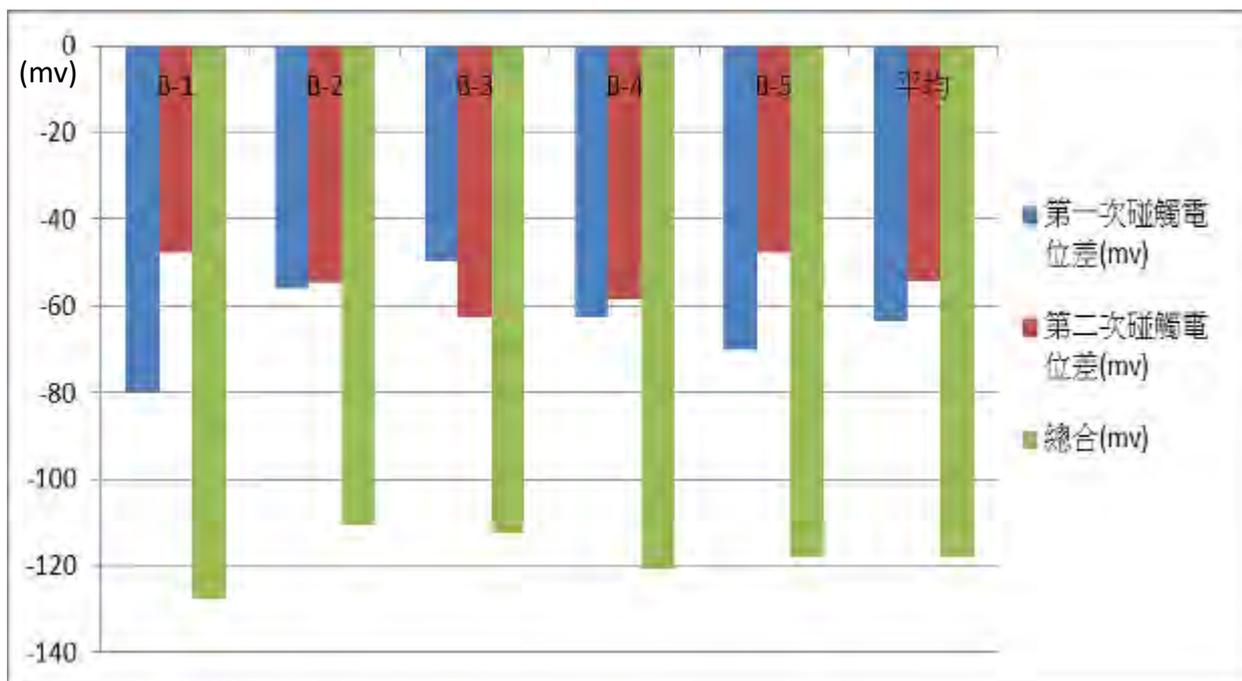
(一) 不同植株碰觸時的電位差比較？

為了瞭解捕食器兩次碰觸的閉合情形電位差，我們選擇了 A、B、C 三株不同捕蠅草的捕食器，觀察兩次碰觸的電位差變化，進行探討比較如下：



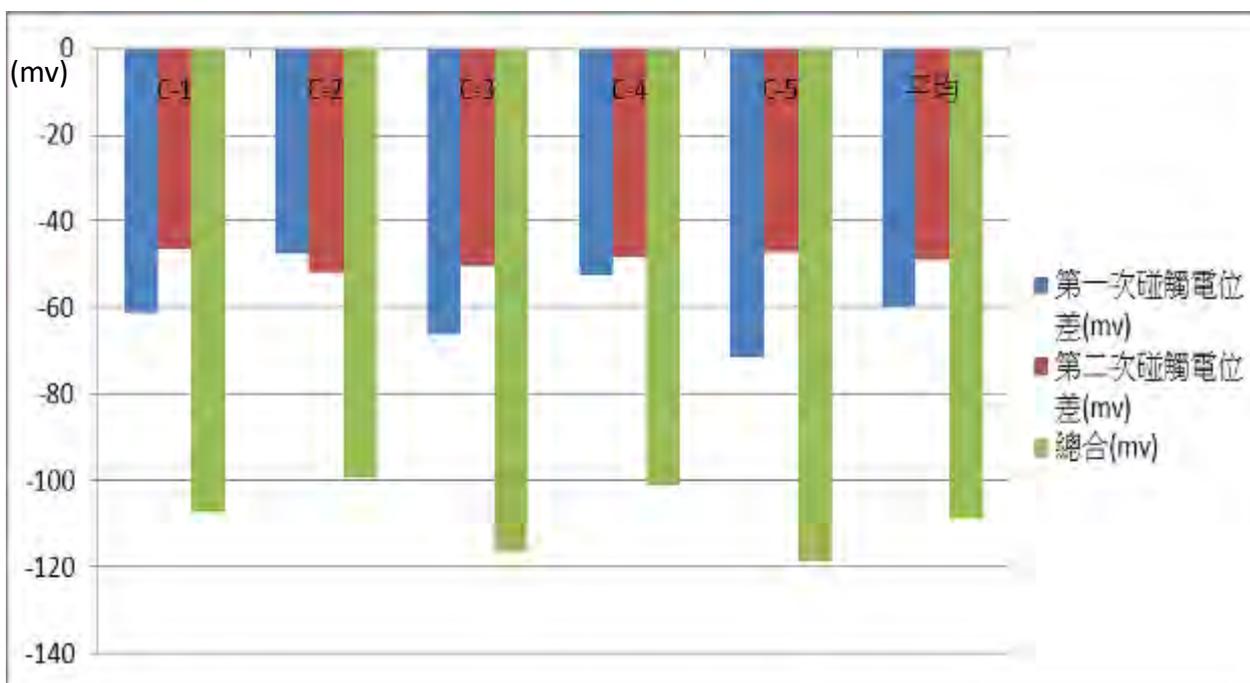
▲圖 6-3 A 盆捕食器的電位差累積統計圖

由圖 6-3 得知 A 盆第一次和第二次碰觸電位差都落在-110.6mv 到-137.5mv 之間，平均為-128.16mv。



▲圖 6-4 B 盆捕食器的電位差累積統計圖

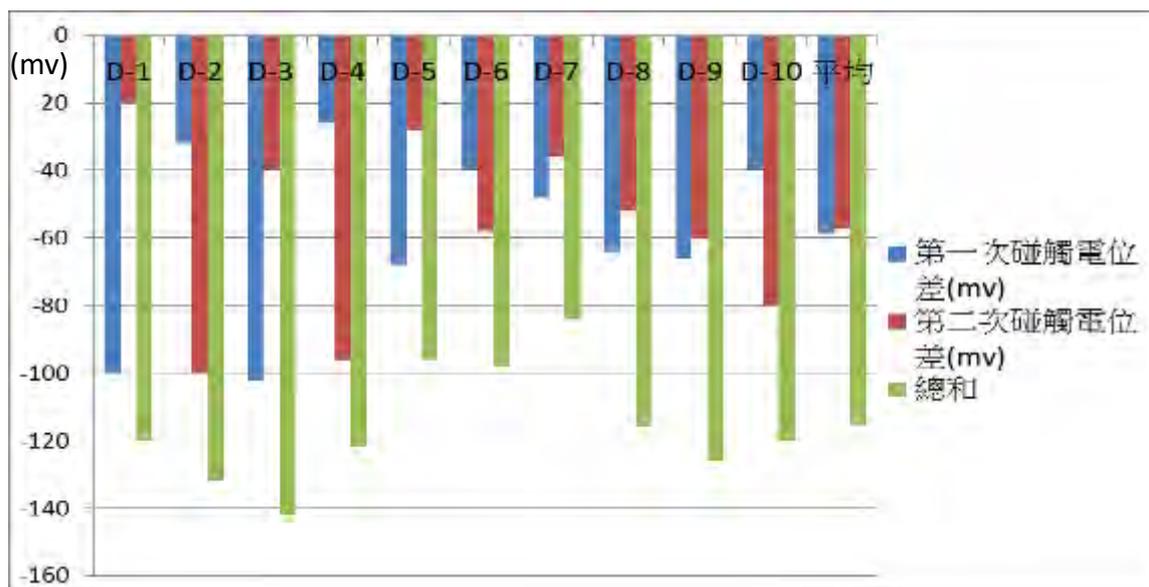
由圖 6-4 得知 B 盆第一次和第二次碰觸電位差都落在-110.8mv 到-127.7mv 之間，平均為-117.9mv。



▲圖 6-5 C 盆捕食器的電位差累積統計圖

由圖 6-5 得知 C 盆第一次和第二次碰觸電位差都落在-99.3mv 到-118.6mv 之間，平均為-108.56mv。

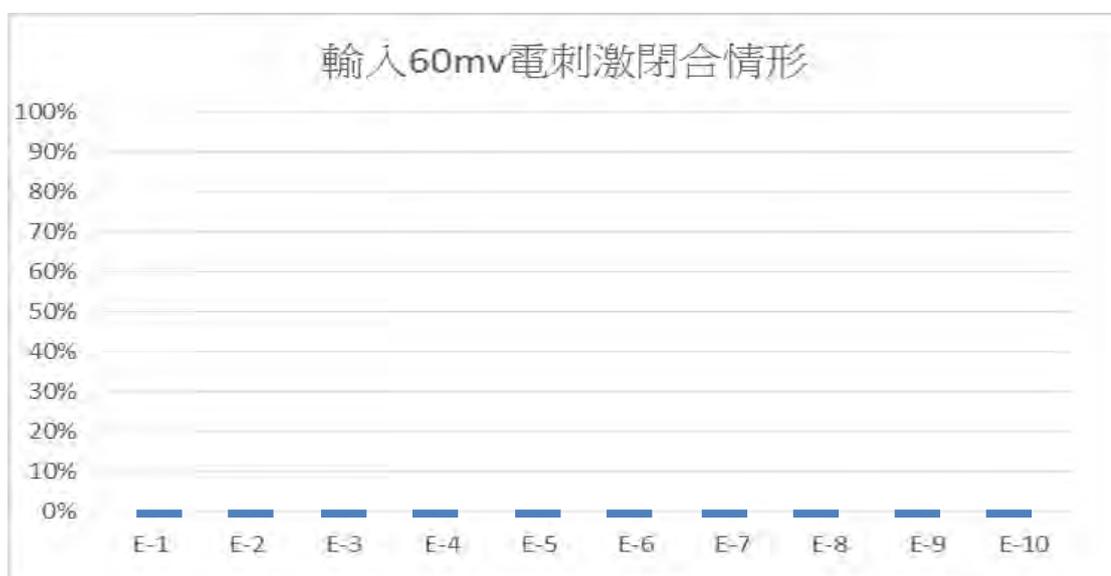
(二) 間隔四十秒後蝴蝶碰觸的電位差比較?



▲圖 6-6 間隔四十秒後蝴蝶碰觸的電位差比較統計圖

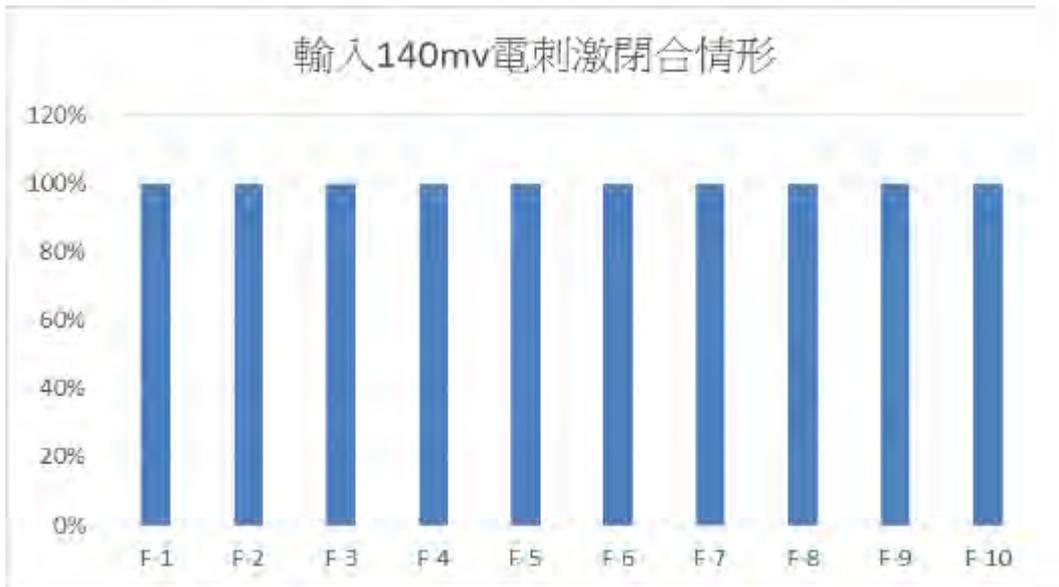
由圖 6-6 我們可以得知十個捕食器第一次碰觸電位差都落在-26mv 到-102 mv 之間，平均為-58.6mv；第二次碰觸電位差都落在-20 mv 到-100mv 之間，平均為-57mv；總和為-115.6 mv，最大為-84 mv，最小為-142 mv。

四、 不同捕食器的閉合情形與輸入電刺激的關係?



▲圖 6-7 輸入 60mv 電刺激捕食器閉合情形統計圖

由圖 6-7 得知捕食器輸入 60mv 的電刺激時，閉合機率為 0%。由實驗 4-1 我們得知輸入 60mv 以下的電刺激時，捕食器必不會閉合，但如果輸入 60mv 的電刺激兩次便會閉合。

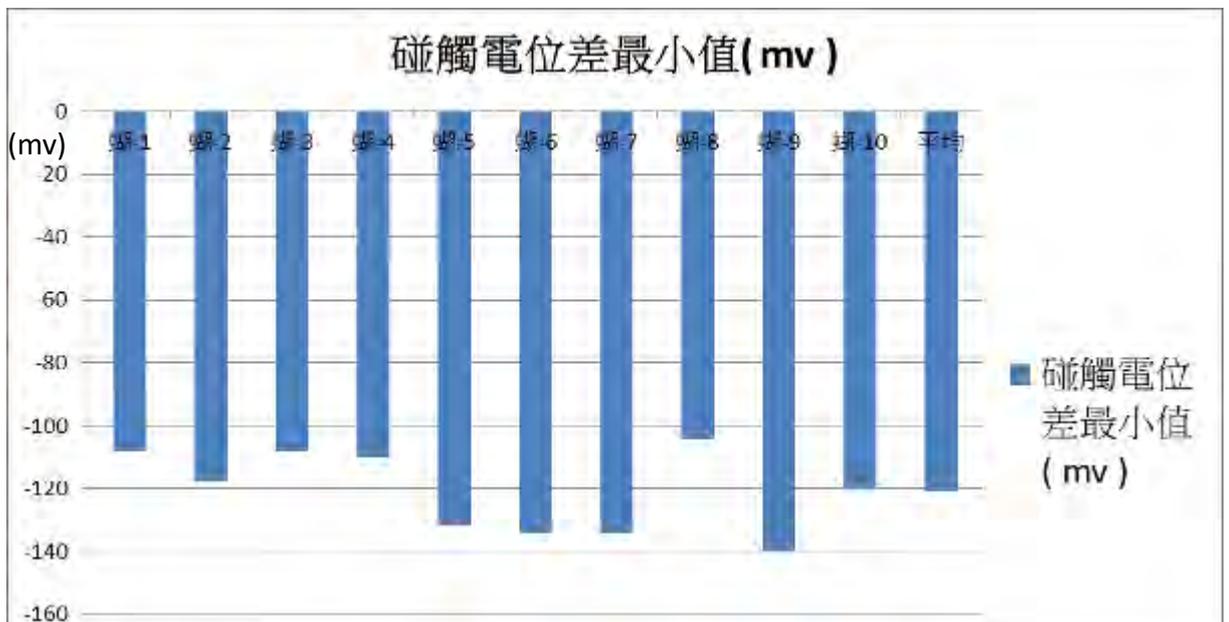


▲圖 6-8 輸入 140mv 的電刺激捕食器閉合情形統計圖

由圖 6-8 捕食器輸入 140mv 的電刺激時，閉合機率為 100%。由實驗 4-2 我們得知要使捕食器閉合，輸入 140mv 的電刺激必定可使捕食器閉合，也證實捕食器即使沒有碰觸第二次，只要受到 140mv 的電刺激就會閉合。

五、 蝴蝶進入捕食器產生電位差之變化？

為了探討蝴蝶進入捕食器產生電位差，我們將蝴蝶放入捕食器中，觀察其電位差變化。



▲圖 6-9 蝴蝶進入捕食器產生電位差統計圖

由上圖 6-9 可知昆蟲進入後會多次碰觸感覺毛，得知將蝴蝶放進捕食器，產生的電位差都落在-108mv 到-140mv 之間，平均則是-120.8mv。

六、捕食器離開原株後多少時間內碰觸的閉合情形？

為了探討捕食器離開原株多少時間內碰觸能產生閉合，我們將捕食器從它的節點剪下，而在剪下後碰觸第一次，過了指定的時間後再碰觸第二次，觀察閉合情形。



▲圖 6-10 捕食器離開原株後碰觸捕食器閉合時間統計圖

由上圖 6-10 可知捕食器離開原株，28 分鐘內都可以閉合，而在 29 分鐘有 60% 的閉合率，超過 30 分鐘後就無法閉合。推論 30 分鐘後捕食器所產生的電位差不足，而導致無法產生閉合。

柒、結論

經由文獻探討，我們發現捕蠅草和電位差的關聯以及它的捕食機制。當連續碰觸兩次感覺毛，捕蠅草的捕食器內部激發一個動作電位，快速引出兩個動作電位，產生電位差，捕食器便會閉合，通常獵物會掙扎導致捕食器會閉得更緊，直到獵物不再掙扎，或捕食器完全閉合後會慢慢將食物消化掉，將它變成養份吸收，而透過我們所設計的六項共九個實驗，發現結果如下：

一、多少時間內連續碰觸可使捕食器閉合？

從實驗中可以發現碰觸間隔到了 40 秒之後閉合機率就降至 0%，由此推測碰觸間隔 40 秒後，捕食器內所產生的電位差至第二次碰觸都無法達到足夠產生閉合的電位差。也證明捕蠅草為了延續生命、讓捕食器發揮最大效益，並不會隨意閉合，而要活體生物觸動，牠才會閉合，因為捕食器閉合 3-5 次之後該個捕食器就會死亡或

變得不容易閉合，所以牠們的捕食機制更顯得特別。由實驗 1-2、1-3 可以發現 40 秒為一個回合，過了 40 秒後就重新計算，隔了 40 秒再連續碰觸兩下就會被認為是另一回合的 2 次碰觸便會產生閉合，與文獻中所指的 30 秒明顯不同，推測是因為捕蠅草的品種不同所產生的個體差異性。

二、捕食器大小與電位差是否有關？

(一) 十個不同大小，從 1.3 公分到 2.8 公分的捕食器第一次和第二次碰觸電位差都落在-110.6mv 到-137.5mv 之間，平均為-124.3mv，由此可知捕食器大小和電位差並沒有絕對關係，但發現最小電位差都只有-80mv。

(二) 發現同大小為 2 公分的捕食器產生電位差竟然不同，第一次碰觸電位差為-56.1mv 和-68.8mv，第二次碰觸的電位差分別是-54.7mv 和-61.8mv，總和是-130.6mv 和-110.8mv，兩者的總和相差了 19.8mv，可見其所存在的個體差異性。

三、不同植株碰觸時的電位差比較？

(一) 由 A、B、C 三盆可知，在產生閉合的情況下最小電位差-137.5mv 到最大電位差-99.3mv，最大平均為-117.9mv 最小為-128.16mv，各植株的電位差反應都不相同，更加確定植株之間存在著個體差異性。

(二) 間隔四十秒蝴蝶碰觸的電位差比較？

由實驗 3-2 我們可以得知十個捕食器第一次碰觸電位差都落在-26mv 到-102mv 之間，平均為-58.6mv；第二次碰觸電位差都落在-20mv 到-100mv 之間，平均為-57mv；總和為-115.6mv，最大為-84mv，最小為-142mv，推測因為蝴蝶被捕食器夾住後，因掙扎而讓捕食器產生電位差，最小為-142mv。

四、不同捕食器的閉合情形與電刺激的關係？

(一) 輸入 60mv 的電刺激對捕食器閉合情形的關係？

由實驗二與實驗三中第一次的碰觸捕食器的最大電位差為-60mv 左右，所以我們藉由電刺激器對捕食器輸入 60mv 的電刺激時，捕食器完全無作動，閉合機率為 0%。由實驗 4-1 得知輸入 60mv 的電刺激時，捕食器不會產生閉合。

(二) 輸入 140mv 的電刺激對捕食器閉合情形的關係？

由實驗二與實驗三，捕食器的最小電位差為-140mv 以上，所以我們藉由電刺

激器對捕食器輸入 140mv 的電刺激，捕食器皆閉合，機率為 100%。由實驗 4-2 我們得知要使捕食器閉合，輸入 140mv 的電刺激必定可使捕食器閉合，也證實捕食器即使沒有碰觸第二次，只要受到 140mv 的刺激就會產生閉合。

五、 蝴蝶進入捕食器的電位差比較？

為了驗證前列實驗，我們將蝴蝶放入捕食器，和實驗三比較發現昆蟲碰觸時的電位差和用迴紋針碰觸的電位差-80mv 小很多，實驗結果最大電位差-104mv，最小電位差-140mv，平均數據為-120mv。推測是因為昆蟲在捕食器內掙扎，可能同時或連續碰觸到多根感覺毛所產生較小電位差。

六、 捕食器離開原株後多少時間內碰觸的閉合情形？

捕食器離開原株後，28 分鐘內碰觸都可以閉合，而在 29 分鐘碰觸有 60%的閉合率，超過 30 分鐘後碰觸就無法閉合。推論 30 分鐘後捕食器裡面的感覺細胞所產生的電位差無法讓捕食器產生閉合狀態。

捌、 參考資料及其他

- 一、 夏洛特(2007) • 食蟲植物觀賞與栽培圖鑑 • 商周出版。
- 二、 Elzbieta Krol(2016) • The Venus Flytrap *Dionaea muscipula* Counts Prey-Induced Action Potentials to Induce Sodium Uptake • 取自 [http :
//www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822\(15\)015018](http://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(15)015018)
- 三、 吳春放(1985) • 科學月刊 1985 年 11 月 191 期-離子通道及神經系統的功能 • 取自 [http :
//resource.blsh.tp.edu.tw/science-i/content/1985/00110191/0004.htm](http://resource.blsh.tp.edu.tw/science-i/content/1985/00110191/0004.htm)
- 四、 Jordan Husney & Dr.Sasha Wright(2015) • MAKE magazine
Project : Explore biorobotics with a carnivorous plant that bites on command! • 取自 [https :
//makezine.com/projects/make-39/rcflytrap/](https://makezine.com/projects/make-39/rcflytrap/)
- 五、 Paul G.Hewitt(2018) • 觀念物理學第六冊 • 天下出版。
- 六、 程皓白(2006) • 中頻調制定電流電刺激器系統之實現。取自 [http :
//ir.lib.isu.edu.tw/retrieve/98370/etd-0810106-125935.pdf](http://ir.lib.isu.edu.tw/retrieve/98370/etd-0810106-125935.pdf)

【評語】 080317

此作品針對捕蠅草的捕食動作的產生進行操作型實驗，所研究的問題很聚焦，實驗設計大多適切且清楚呈現實驗的控制變因、操縱變因與應變變因，實驗結果量化呈現清楚，值得鼓勵。研究設計系列實驗觀察捕蠅草碰觸後閉合情形及電位差，觀察仔細，並能系統化呈現資料，值得鼓勵，惟研究可再加廣，如閉合後打開的機制為何？能否用電流來刺激引導？不同刺激強度的電位差是否有變化？能否與昆蟲的掙扎情形有關？另外實驗日誌太簡單，應詳細記錄研究過程及結果。

摘要

本研究想知道捕蠅草的捕食動作是如何產生。以B52捕蠅草為例，以迴紋針輕觸捕蠅草內感覺毛連續兩次，使捕食器閉合。當刺激感覺毛時，會產生一個電位差；第二次刺激，會再造成電位改變。實驗發現碰觸間隔40秒後閉合機率為0%；進一步實驗得知**捕食器大小與電位差無絕對關係**。十個不同捕食器第一次與第二次碰觸電位差均落在| 84 | mv到| 142 | mv之間，而前述實驗中第一次碰觸捕食器的最小電位差為| 60 | mv左右，故另行設計實驗，藉由電刺激器輸入**60mv電刺激**，**捕食器閉合機率為0%**；僅一次輸入140mv電刺激，捕食器閉合機率為100%，證實**只要刺激的電壓夠大（相當於兩次碰觸的電位差總和），即造成捕食器的閉合**。當捕食器離開母株超過28分鐘後閉合現象便消失。

壹 研究動機

假日一到，最開心的是拿著電玩搖桿進入超級瑪莉歐的世界。有玩過瑪莉歐的都知道，遊戲裡有令人聞風喪膽的食人花；現實世界裡真的有的嗎？**康軒自然五上第二單元「植物世界面面觀」**，發現長得像食人花且如昆蟲殺手的捕蠅草，令人匪夷所思的捕蟲方式，讓我們對於捕蠅草的捕食「機智」，產生濃厚的興趣，於是我們決定深入研究植物界的昆蟲獵人--「捕蠅草」。

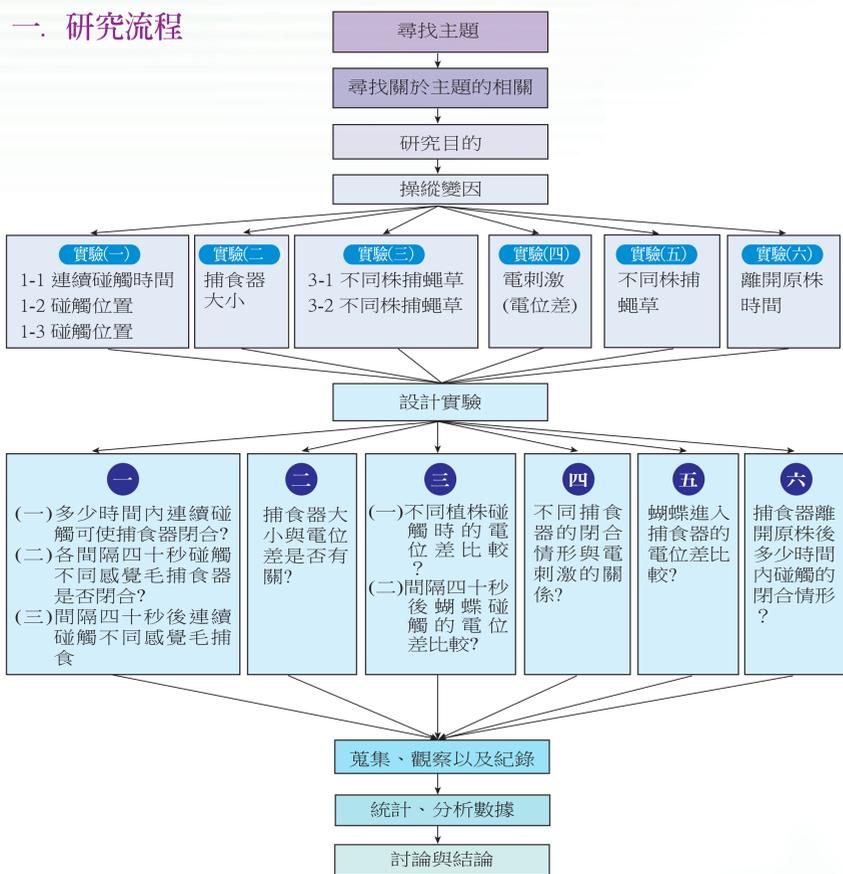
貳 研究目的

本實驗想要探討捕蠅草的捕食機制和電位差的關聯，如下：

- 一、多少時間內連續碰觸可使捕食器閉合？
- 二、捕食器大小與電位差是否有關？
- 三、不同植株碰觸時的電位差比較？
- 四、不同捕食器的閉合情形與電刺激的關係？
- 五、活體生物進入捕食器電位差情形？
- 六、捕食器離開原株後多少時間內碰觸的閉合情形？

參 研究過程或方法

一. 研究流程



▲ 圖3-1 研究流程圖

二、實驗變因

表3-1：六項九個實驗主題之變因分析表

實驗主題	控制變因	操縱變因	應變變因
一、(一)多少時間內連續碰觸可使捕食器閉合？	碰觸材質、碰觸位置	連續碰觸時間	閉合時間的改變
(二)各間隔四十秒碰觸不同感覺毛捕食器是否閉合？	碰觸材質、連續碰觸時間	碰觸位置	閉合情形
(三)間隔四十秒後連續碰觸不同感覺毛捕食器是否閉合？	碰觸材質、連續碰觸時間	碰觸位置	閉合情形
二、捕食器大小與電位差是否有關？	碰觸材質、碰觸位置	捕食器大小	電位差的改變
三、(一)不同植株碰觸時的電位差比較？	碰觸材質、碰觸位置	不同株捕蠅草	電位差的改變
(二)間隔四十秒蝴蝶碰觸的電位差比較？	碰觸材質(蝴蝶)、間隔時間	不同株捕蠅草	電位差的改變
四、不同捕食器的閉合情形與電刺激的關係？	間隔時間	電刺激(電位差)	閉合情形
五、蝴蝶進入捕食器的電位差比較？	碰觸材質(蝴蝶)	不同株捕蠅草	閉合情形
六、捕食器離開原株後多少時間內碰觸的閉合情形？	碰觸材質、碰觸位置	離開原株時間	閉合情形

三、PC Based USB 示波器操作方法介紹

將PC Based USB 示波器探針正極(紅)以導電膠粘接到捕食器外側，並將負極(黑)連接到捕蠅草盆子的土裡，這樣就會形成一個迴路，再利用迴紋針碰觸捕食器左側第一根感覺毛，當捕蠅草內部產生了電位差，就可以由電腦顯示螢幕觀察到電位差變化，如圖4-3



▲圖3-2 PC Based USB示波器實驗流程圖

肆 研究結果

一、多少時間內連續碰觸可使捕食器閉合

實驗1-1：間隔多少時間連續碰觸可使捕食器閉合？

我們選擇10個捕食器進行兩次碰觸時間的間隔差異，探討捕食器的閉合情形，如表5-1。

表5-1 間隔多少時間連續碰觸可使捕食器閉合情形統計表

捕食器編號	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	1-10
25 秒	合	合	合	合	合	合	合	合	合	合
30 秒	合	合	合	合	合	合	合	合	合	合
35 秒	合	合	無	無	合	合	無	合	合	合
36 秒	合	合	無	無	無	無	無	合	無	合
37 秒	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
38 秒	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
39 秒	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
40 秒	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
捕食器編號	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8	2-9	2-10
25 秒	合	合	合	合	合	合	合	合	合	合
30 秒	合	合	合	合	合	合	合	合	合	合
35 秒	合	合	無	合	合	合	合	合	合	合
36 秒	合	合	無	無	合	無	無	無	合	合
37 秒	無	無	無	無	合	無	無	無	無	合
38 秒	無	無	無	無	合	無	無	無	無	合
39 秒	無	無	無	無	合	無	無	無	無	合
40 秒	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

由表5-1我們可以知道碰觸間隔時間為30秒時，所有捕食器都可以閉合，但隨著時間的增加到40秒時所有捕食器皆無法閉合。

實驗1-2：捕食器間隔40秒碰觸A、B、C 三根感覺毛，是否可以閉合？

經由實驗1-1發現碰觸同一根感覺毛間隔40秒後不會產生閉合，所以我們設計了實驗1-2

由同株五個捕食器進行40秒依序碰觸A、B、C三根不同感覺毛的閉合實驗。如表5-2

表5-2:捕食器間隔40秒碰觸A、B、C 三根感覺毛是否可以閉合統計表

捕食器編號	1	2	3	4	5	閉合機率
是否閉合	無	無	無	無	無	0%

由實驗1-2更可確認捕食器的計算回合最大極限為40秒，每40秒為一回合，過了40秒捕食器就會重新計算。

實驗1-3：間隔40秒後連續碰觸不同感覺毛捕食器是否閉合？

經由實驗1-2發現依序碰觸三根感覺毛間隔40秒後不會產生閉合，所以我們設計了實驗1-3，由同株五個捕食器進行碰觸A感覺毛後間隔40秒連續碰觸B、C兩根不同感覺毛的閉合實驗。如表5-3

表5-3 間隔40秒後連續碰觸不同感覺毛捕食器是否閉合統計表

捕食器編號	6	7	8	9	10	閉合機率
是否閉合	合	合	合	合	合	100%

由表5-3可知由實驗1-3更可確認捕食器的最大極限為40秒，且40秒為一回合，過了40秒捕食器就會重新計算。由實驗1-2、1-3可以發現40秒為一個回合，過了40秒後就重新計算，隔了40秒在碰觸兩下就會被認為是第2回合的第2次碰觸便會閉合

二、實驗2：同株不同大小的捕食器碰觸感覺毛後產生電位差比較

我們由同一株捕蠅草上的10個不同大小捕食器觀察閉合電位差的差異，如圖5-4。

表5-4捕食器大小閉合產生電位差統計表

捕食器大小(公分)	1.3	1.5	1.6	1.8	2	2	2.3	2.4	2.5	2.8	平均
第一次碰觸電位差(mv)	-80	-46	-80	-80	-68.8	-56.1	-49.8	-62.5	-47.7	-70.2	-65
第二次碰觸電位差(mv)	-57.5	-80	-47.7	-56.1	-61.8	-54.7	-62.5	-58.3	-62.9	-47.7	-59.3
總合	-137.5	-126	-127.7	-136.1	-130.6	-110.8	-112.3	-120.8	-110.6	-117.9	-124.3

由表5-4得知捕食器長度為1.3公分、1.6公分及1.8公分在第一次碰觸時都產生最小電位差為-80mv，最大電位差為1.5公分所產生的-46mv；第二次碰觸僅有1.5公分產生最小電位差為-80mv，最大電位差則是1.6公分與2.8公分所產生的-47.7mv。

三、實驗3：不同植株捕蠅草的捕食器閉合的電位差關係。

實驗3-1：不同植株捕蠅草的捕食器在間隔25秒時閉合的電位差值？

我們選擇了A、B、C三盆捕蠅草進行實驗，探討不同的捕蠅草之捕食器在25秒時所產生的電位差是否有所不同。

表5-5 A盆捕蠅草的捕食器閉合產生電位差統計表

捕食器編號	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	平均
第一次碰觸電位差(mv)	-80	-46	-80	-68.8	-47.7	-64.5
第二次碰觸電位差(mv)	-57.5	-80	-56.1	-61.8	-62.9	-63.66
總合(mv)	-137.5	-126	-136.1	-130.6	-110.6	-128.16

由表5-5我們可以得知A盆捕食器第一次碰觸電位差都落在-46mv到-80mv之間平均為-64.5mv，第二次碰觸電位差都落在-56.1mv到-80mv之間平均為-63.66mv。

伍 討論

一、多少時間內連續碰觸可使捕食器閉合？

表5-6 B盆捕蠅草的捕食器閉合產生電位差統計表

捕食器編號	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	平均
第一次碰觸電位差(mv)	-80	-56.1	-49.8	-62.5	-70.2	-63.72
第二次碰觸電位差(mv)	-47.7	-54.7	-62.5	-58.3	-47.7	-54.18
總合(mv)	-127.7	-110.8	-112.3	-120.8	-117.9	-117.9

由表5-6我們可以得知B盆捕食器第一次碰觸電位差都落在-49.8mv到-80mv之間，平均為-63.72mv；第二次碰觸電位差都落在-47.7mv到-62.5mv之間，平均為-54.18mv。

表5-7 C盆捕蠅草的捕食器閉合產生電位差統計表

捕食器編號	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	平均
第一次碰觸電位差(mv)	-61.1	-47.4	-66	-52.6	-71.6	-59.74
第二次碰觸電位差(mv)	-46.3	-51.9	-50.5	-48.4	-47	-48.82
總合(mv)	-107.4	-99.3	-116.5	-101	-118.6	-108.56

由表5-7 我們可以得知C盆捕食器第一次碰觸電位差都落在-47.4 mv到-71.6 mv之間，平均為-59.74mv；第二次碰觸電位差都落在-46.3mv到-51.9mv之間，平均為-48.82 mv。

實驗3-2：不同植株捕蠅草的捕食器在間隔40秒時閉合的電位差值？

由實驗1中我們發現間隔40秒後捕食器就無法閉合，我們設計了實驗3-2利用電位差來觀察15個捕食器，進行兩次間隔40秒的碰觸探討捕食器的電位差值。

表5-8 D盆捕蠅草連續碰觸間隔40秒捕食器閉合電位差統計表

捕食器編號	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8	D-9	D-10	平均
第一次碰觸電位差(mv)	-100	-32	-102	-26	-68	-40	-48	-64	-66	-40	-58.6
第二次碰觸電位差(mv)	-20	-100	-40	-96	-28	-58	-36	-52	-60	-80	-57
總和	-120	-132	-142	-122	-96	-98	-84	-116	-126	-120	-115.6

由表5-8 我們可以得知十個捕食器第一次碰觸電位差都落在-26mv到-102 mv之間，平均為-58.6mv；第二次碰觸電位差都落在-20 mv到-100mv之間，平均為-57mv；總和為-115.6 mv，最大為-84 mv，最小為-142 mv。

四、實驗4：不同捕食器的閉合情形與電刺激的關係？

我們選擇了20個捕食器進行實驗，探討不同的捕食器被輸入60mv、140mv的電刺激與閉合情形的關係。

實驗4-1：輸入60mv的電刺激對捕食器閉合情形的關係？

在實驗2、3、5得知第一次碰觸得的平均為-60mv左右，所以我們經由電刺激器，對捕食器輸入60mv的電刺激，探索捕食器的閉合情形。

表5-9 實驗6-1：輸入60mv的電刺激對捕食器閉合情形的關係？

捕食器編號	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10
輸入60mv 電位差閉合情形	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

由表5-9得知，捕食器在輸入60mv電刺激碰觸感覺毛時，十個捕食器都沒有產生閉合。

實驗4-2：輸入140mv的電刺激對捕食器閉合情形的關係？

在實驗2、3、5得知兩次碰觸得的平均為-140mv左右，所以我們經由電刺激器，對捕食器輸入140mv的電刺激加以刺激，探索捕食器的閉合情形。

表5-10 捕食器輸入140mv的電刺激後閉合情形統計圖

捕食器編號	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6	F-7	F-8	F-9	F-10
輸入140mv 電刺激閉合情形	合	合	合	合	合	合	合	合	合	合

由表5-10得知，捕食器輸入140mv的電刺激，直接碰觸感覺毛一次，十個捕食器都直接閉合。

五、實驗5：蝴蝶進入捕食器產生電位差之變化？

我們由同一株捕蠅草選了10個捕食器進行蝴蝶進入捕食器產生電位差之變化實驗。

表5-11 蝴蝶進入捕食器產生電位差之變化統計表

昆蟲編號	蝴-1	蝴-2	蝴-3	蝴-4	蝴-5	蝴-6	蝴-7	蝴-8	蝴-9	蝴-10	平均
碰觸電位差最小值(mv)	-108	-118	-108	-110	-132	-134	-134	-104	-140	-120	-120.8

由表5-11我們可以得知如果將蝴蝶放進捕食器，產生的電位差都落在-108mv到-140mv之間，平均則是-120.8mv。

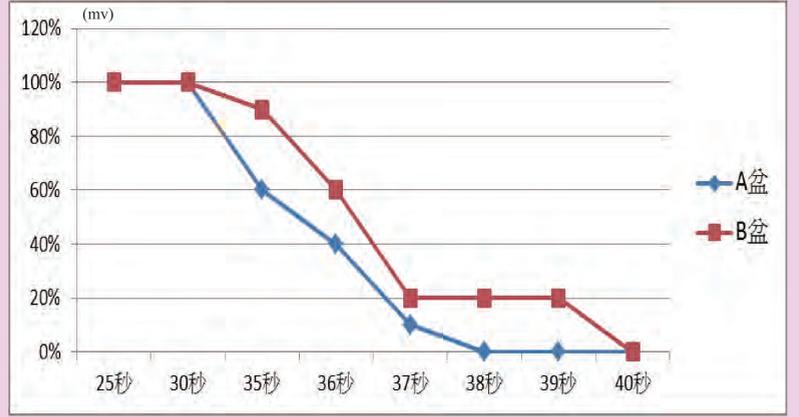
六、實驗6：捕食器離開原株後多少時間內碰觸的閉合情形？

我們想探討不同的捕蠅草之捕食器離開母株多少時間內能產生閉合情形？所以將捕蠅草的捕食器由母株的節點部分剪下進行實驗，探討不同的捕蠅草之捕食器離開母株多少時間內能產生閉合狀態。

表5-12 捕食器離開原株時間產生閉合統計表

捕食器編號	1分鐘	5分鐘	10分鐘	15分鐘	20分鐘	25分鐘	28分鐘	29分鐘	30分鐘
G-1	合	合	合	合	合	合	合	合	無
G-2	合	合	合	合	合	合	合	無	無
G-3	合	合	合	合	合	合	合	無	無
G-4	合	合	合	合	合	合	合	合	無
G-5	合	合	合	合	合	合	合	合	無

由表5-12我們可以得知捕食器離開原株後，28分鐘之前都有閉合現象，直到29分鐘才產生差異，到30分鐘閉合機率則為0%。

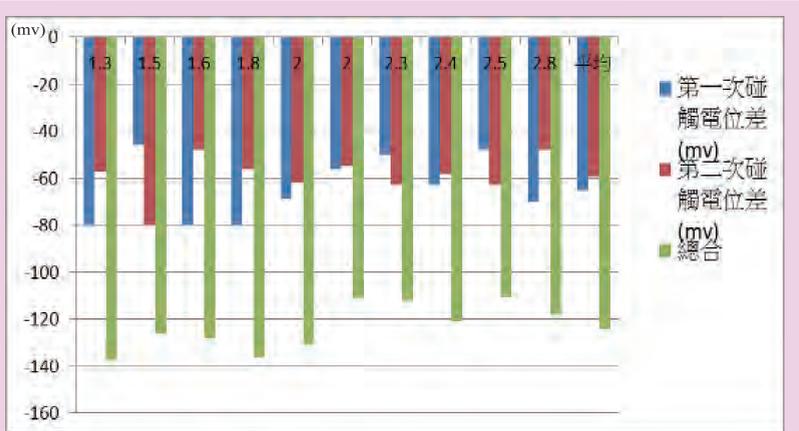


▲ 圖6-1 捕蠅草連續碰觸間隔時間捕食器閉合情形統計圖

由圖6-1得知第一次碰觸和第二次碰觸間隔30秒內有100%機率閉合，30秒後A、B兩盆開始產生差異，到40秒之後兩盆後閉合機率就降至0%，完全無法閉合。由實驗1-2、1-3可以發現40秒為一個回合，過了40秒後就重新計算，隔了40秒在碰觸兩下就會被認為是第2回合的第2次碰觸便會閉合。

二、捕食器大小與電位差是否有關？

為了瞭解捕食器大小與電位差是否有關，我們選擇了十個大小不同的捕食器，並將其兩次碰觸的電位差相加，製作成圖6-2。



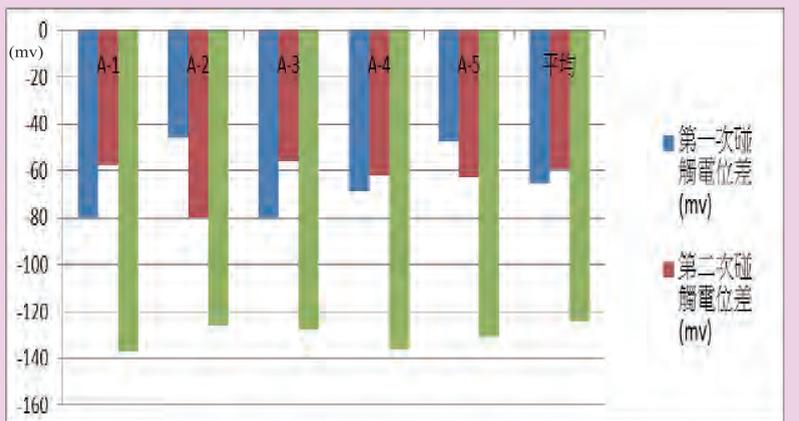
▲ 圖6-2 捕食器大小與電位差統計圖

由圖6-2可以看到最小1.3公分的捕食器兩次碰觸的電位差總和為-137.5mv最小，但是最大捕食器的電位差總和不是最大的，只有-117.9mv。

三、不同植株碰觸時的電位差比較？

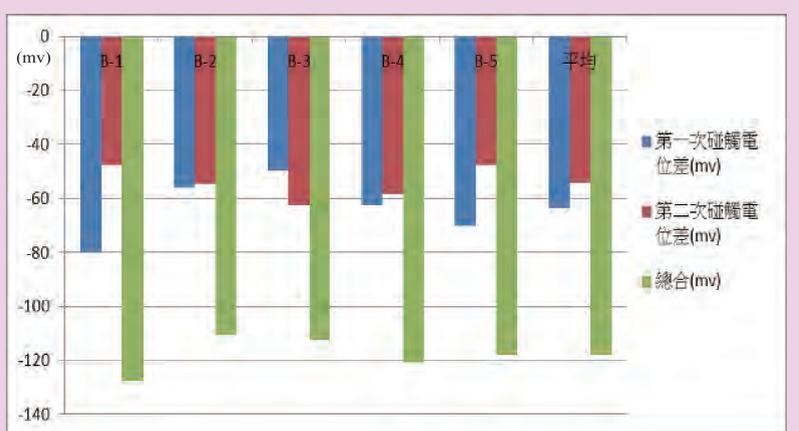
(一) 不同植株碰觸時的電位差比較？

為了瞭解捕食器兩次碰觸的閉合情形電位差，我們選擇了A、B、C三株不同捕蠅草的捕食器，觀察兩次碰觸的電位差變化，進行探討比較如下：



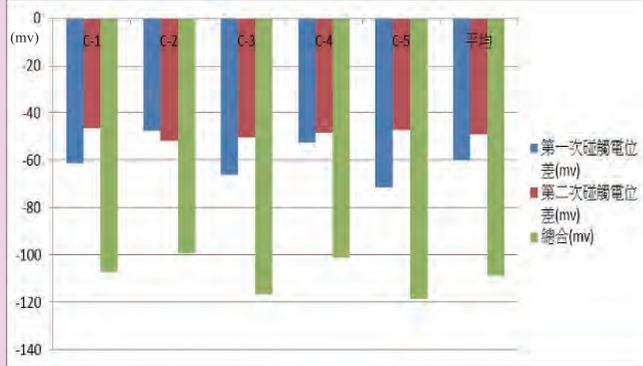
▲ 圖6-3 A盆捕食器的電位差累積統計圖

由圖6-3得知A盆第一次和第二次碰觸電位差都落在-110.6mv到-137.5mv之間，平均為-128.16mv。



▲ 圖6-4 B盆捕食器的電位差累積統計圖

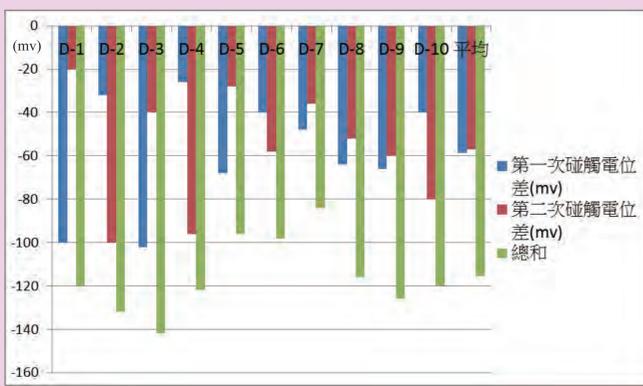
由圖6-4得知B盆第一次和第二次碰觸電位差都落在-110.8mv到-127.7mv之間，平均為-117.9mv。



▲ 圖6-5 C盆捕食器的電位差累積統計圖

由圖6-5得知C盆第一次和第二次碰觸電位差都落在-99.3mv到-118.6mv之間，平均為-108.56mv。

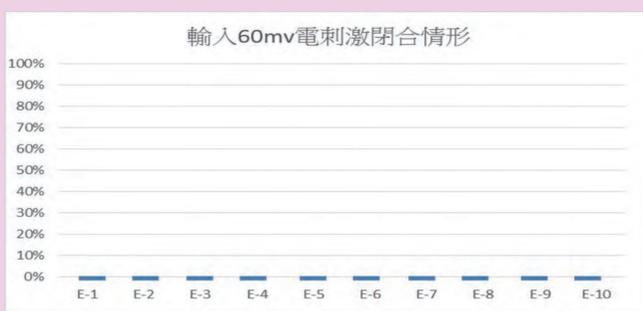
(二) 間隔四十秒後蝴蝶碰觸的電位差比較？



▲ 圖6-6 間隔四十秒後蝴蝶碰觸的電位差比較統計圖

由圖6-6我們可以得知十個捕食器第一次碰觸電位差都落在-26mv到-102mv之間，平均為-58.6mv；第二次碰觸電位差都落在-20 mv到-100mv之間，平均為-57mv；總和為-115.6 mv，最大為-84 mv，最小為-142 mv。

四、不同捕食器的閉合情形與輸入電刺激的關係？



▲ 圖6-7 輸入60mv電刺激捕食器閉合情形統計圖

由圖6-7得知捕食器輸入60mv的電刺激時，閉合機率为0%。由實驗4-1我們得知輸入60mv以下的電刺激時，捕食器必不會閉合，但如果輸入60mv的電刺激兩次便會閉合。

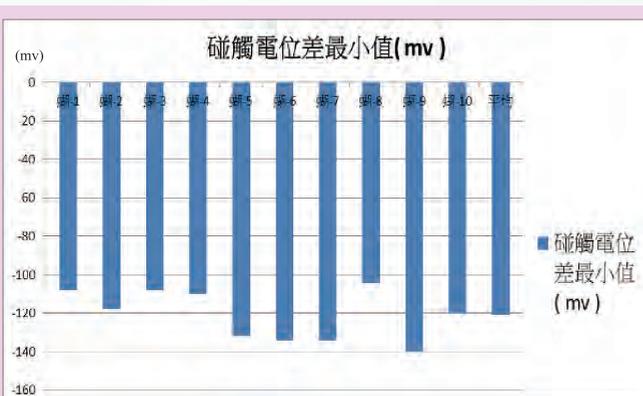


▲ 圖6-8 輸入140mv的電刺激捕食器閉合情形統計圖

由圖6-8捕食器輸入140mv的電刺激時，閉合機率为100%。由實驗4-2我們得知要使捕食器閉合，輸入140mv的電刺激必定可使捕食器閉合，也證實捕食器即使沒有碰觸第二次，只要受到140mv的電刺激就會閉合。

五、蝴蝶進入捕食器產生電位差之變化？

為了探討蝴蝶進入捕食器產生電位差，我們將蝴蝶放入捕食器中，觀察其電位差變化。

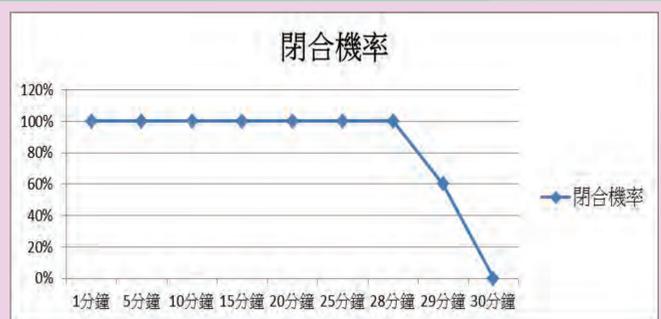


▲ 圖6-9 蝴蝶進入捕食器產生電位差統計圖

由上圖6-9可知昆蟲進入後會多次碰觸感覺毛，得知將蝴蝶放進捕食器，產生的電位差都落在-104mv到-140mv之間，平均則是-120.8mv。

六、捕食器離開原株後多少時間內碰觸的閉合情形？

為了探討捕食器離開原株多少時間內碰觸能產生閉合，我們將捕食器從它的節點剪下，而在剪下後碰觸第一次，過了指定的時間後再碰觸第二次，觀察閉合情形。



▲ 圖6-10 捕食器離開原株後碰觸捕食器閉合時間統計圖

由上圖6-10可知捕食器離開原株，28分鐘內都可以閉合，而在29分鐘有60%的閉合率，超過30分鐘後就無法閉合。推論30分鐘後捕食器所產生的電位差不足，而導致無法產生閉合。

陸 結論

經由文獻探討，我們發現捕蠅草和電位差的關聯以及它的捕食機制。當連續碰觸兩次感覺毛，捕蠅草的捕食器內部激發一個動作電位，快速引出兩個動作電位，產生電位差，捕食器便會閉合，通常獵物會掙扎導致捕食器會閉得更緊，直到獵物不再掙扎，或捕食器完全閉合後會慢慢將食物消化掉，將它變成養份吸收，而透過我們所設計的六項共九個實驗，發現結果如下：

一、多少時間內連續碰觸可使捕食器閉合？

從實驗中可以發現碰觸間隔到了**40秒之後閉合機率就降至0%**，由此推測碰觸間隔40秒後，捕食器內所產生的電位差至第二次碰觸都無法達到足夠產生閉合的電位差。也證明捕蠅草為了延續生命，讓捕食器發揮最大效益，並不會隨意閉合，而要活體生物觸動，牠才會閉合，因為捕食器閉合3-5次之後該個捕食器就會死亡或變得不容易閉合，所以牠們的捕食機制更顯得特別。由實驗1-2、1-3可以發現**40秒為一個回合**，過了40秒後就重新計算，隔了40秒再連續碰觸兩下就會被認為是另一回合的2次碰觸便會產生閉合，與文獻中所指的**30秒明顯不同**，推測是因為捕蠅草的品種不同所產生的**個體差異性**。

二、捕食器大小與電位差是否有關？

(一)十個不同大小，從1.3公分到2.8公分的捕食器第一次和第二次碰觸電位差都落在-110.6mv到-137.5mv之間，平均為-124.3mv，由此可知捕食器大小和電位差並沒有絕對關係，但發現**最小電位差都只有-80mv**。

(二)發現同大小為2公分的捕食器產生電位差竟然不同，第一次碰觸電位差為-56.1mv和-68.8mv，第二次碰觸的電位差分別是-54.7mv和-61.8mv，總和是-130.6mv和-110.8mv，**兩者的總和相差了19.8mv**，可見其所存在的**個體差異性**。

三、不同植株碰觸時的電位差比較？

(一)由A、B、C三盆可知，在產生閉合的情況下**最小電位差-137.5mv到最大電位差-99.3mv**，**最大平均為-117.9mv最小為-128.16mv**，各植株的電位差反應都不相同，更加確定植株之間存在著**個體差異性**。

(二)間隔四十秒蝴蝶碰觸的電位差比較？

由實驗3-2我們可以得知十個捕食器第一次碰觸電位差都落在-26mv到-102 mv之間，平均為-58.6mv；第二次碰觸電位差都落在-20mv到-100mv之間，平均為-57mv；總和為-115.6mv，最大為-84 mv，最小為-142 mv，推測因為蝴蝶被捕食器夾住後，因掙扎而讓**捕食器產生電位差**，**最小為-142mv**。

四、不同捕食器的閉合情形與電刺激的關係？

(一)輸入60mv的電刺激對捕食器閉合情形的關係？

由實驗二與實驗三中第一次的碰觸捕食器的最大電位差為-60mv左右，所以我們藉由電刺激器對捕食器輸入60mv的電刺激時，捕食器完全無作動，閉合機率为0%。由實驗4-1得知輸入60mv的電刺激時，捕食器不會產生閉合。

(二)輸入140mv的電刺激對捕食器閉合情形的關係？

由實驗二與實驗三，捕食器的最小電位差為-140mv以上，所以我們藉由電刺激器對捕食器**輸入140mv的電刺激**，**捕食器皆閉合**，機率为100%。由實驗4-2我們得知要使捕食器閉合，輸入140mv的電刺激必定可使捕食器閉合，也證實捕食器即使**沒有碰觸第二次**，只要受到140mv的電刺激就會產生閉合。

五、蝴蝶進入捕食器的電位差比較？

為了驗證前列實驗，我們將蝴蝶放入捕食器，和實驗三比較發現昆蟲碰觸時的電位差和用迴紋針碰觸的電位差-80mv小很多，實驗結果最大電位差-104mv，最小電位差-140mv，平均數據為-120.8mv。**推測是因為昆蟲在捕食器內掙扎，可能同時或連續碰觸到多根感覺毛所產生較小電位差**。

六、捕食器離開原株後多少時間內碰觸的閉合情形？

捕食器離開原株後，28分鐘內碰觸都可以閉合，而在29分鐘碰觸有60%的閉合率，超過30分鐘後碰觸就無法閉合。**推論30分鐘後捕食器裡面的感覺細胞所產生的電位差無法讓捕食器產生閉合狀態**。

柒 參考資料及其他

- 夏洛特(2007)•食蟲植物觀賞與栽培圖鑑•商周出版。
- Elzbieta Krol(2016)•The Venus Flytrap *Dionaea muscipula* Counts Prey-Induced Action Potentials to Induce Sodium Uptake•取自http://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(15)015018
- 吳春放(1985)•科學月刊1985年11月191期•離子通道及神經系統的功能•取自http://resource.blish.tp.edu.tw/science-i/content/1985/00110191/0004.htm
- Jordan Husney & Dr.Sasha Wright(2015)•MAKE magazine Project: Explore biorobotics with a carnivorous plant that bites on command!•取自https://makezine.com/projects/make-39/rcflytrap/
- Paul G.Hewitt(2018)•觀念物理學第六冊•天下出版。
- 程皓白(2006)•中頻調制定電流電刺激器系統之實現。取自http://ir.lib.isu.edu.tw/retrieve/98370/etd-0810106-125935.pdf