

112 年新竹市第四十一屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：生物

組別:國中組

作品名稱：探討外加電刺激對含羞草觸發運動的影響

關 鍵 詞：含羞草、觸發運動、生物電訊號

編號：

摘要

本研究在探討外加電刺激對含羞草觸發運動的影響機制，我們發現：1.嫩葉的電阻較老葉小，且刺激後電阻變化量較大，推測可能與含水量和離子濃度變化相關。2.使用 9V 以上的電刺激能使含羞草產生觸發運動，且提高電壓能使反應速率加快。此外，葉枕部位對刺激反應較葉尖部位快。葉齡對電刺激反應亦有差異，嫩葉反應較快。3.給予含羞草長期電刺激時，會產生反應延遲的現象，持續電刺激時間越長反應越慢，且恢復時間也會拉長，可能與離子通道需要時間恢復濃度相關。4.在電刺激時，葉片閉合方向從負極到正極，推測與電子流方向有關。總結以上，我們推論含羞草在電刺激時可能影響鈣離子通道產生動作訊號，進而使葉枕細胞水分釋出導致電阻下降，造成葉片閉合；而長期電刺激時可能造成鈣離子通道持續開啟，使得動作訊號減弱，造成葉片閉合動作產生延遲現象。

壹、前言

一、研究動機

我們在國一生物課學到動物的神經訊號是利用電訊號的動作電位變化來傳遞，因此我們便思考植物會不會也是利用電訊號傳遞訊息，為此我們查詢了許多關於植物如何傳遞訊號的資料，發現有一些觸發運動或捕蟲運動的植物是利用電訊號傳遞來產生反應，我們便決定利用易觀察觸發運動且容易取得的含羞草來進一步研究。

二、文獻探討

(一)植物可利用電訊號傳遞訊息

1873 年 Burdon-Sanderson 研究捕蠅草葉片發現植物動作電位的存在，後續有許多研究也證實植物動作電位普遍存在於被子植物中(文獻一)。後續 Bose 的研究團隊證實電訊號引起含羞草的觸發運動且可持續產生系統性的電訊號(文獻二)。

(二)植物可透過離子通道傳遞電訊號

生物的細胞膜上，有特定的接受器和離子通道，而通道能使離子快速地順著電化學濃度梯度的方向穿透細胞膜並產生化學或電訊號(文獻三)，植物及動物的動作電位都是透過「電位閘控離子通道」來感應膜電位的改變而產生並傳播；不同的是，動物藉鈉離子和鉀離子通道傳遞，而植物則是透過鈣離子通道傳遞。

(三)含羞草透過電訊號傳遞訊息並影響觸發運動

含羞草受到外部刺激後，葉片會依序閉合，且透過電訊號傳遞啟動膨壓作用影響觸發運動。同時發現含羞草觸發運動會因為連續相同程度的刺激而不敏感，在空氣中或土壤加入乙醚會使含羞草麻醉導致反應延遲或沒反應，而在 20-40K 流明的藍光下，葉片閉合後恢復的速率會變快(文獻四)。

(四)含羞草透過鈣離子通道傳遞訊息

含羞草在被襲擊或被觸碰時，會透過鈣離子訊號傳遞受傷訊號，讓整片羽狀複葉快速閉合並下垂。研究團隊使用了鈣離子通道抑制劑觀察反應，且透過基因編輯技術改變含羞草的鈣離子通道基因，發現鈣離子通道改變會使含羞草對觸碰沒有閉合反應，且更容易受到草食性昆蟲的攻擊(文獻五)。此外，利用乙醚散佈在密閉空間中，並觸發捕蠅草的捕蟲運動，發現乙醚會抑制植物的觸發毛感覺器官讓其被觸碰時無反應，乙醚也會造成觸發引起的鈣離子訊號無法傳遞至整個植物，只會散發到附近的區域，並且對含羞草也有相同效果，同時發現細胞的膜電位變化會逐漸變小至無(文獻六)。

(五)植物傳遞電訊息具植物阻抗、電容效應與離子分布的關係

植物細胞傳遞電訊息時，細胞核與細胞質的導電特性與電阻相似，而液泡則與電容相似，由植物細胞所組成的組織傳遞電訊息時就有如一組電阻與電容串並聯的電子元件，當不同電壓或電流的電訊息通過組織時，會產生不同的阻抗並改變內部導電離子的分布情形，因此有不同的訊息輸出(文獻七)。

三、研究目的

在過去的研究中，電刺激條件的變化對含羞草觸發運動的影響討論有限，因此我們想外加不同條件的電刺激，觀察含羞草的觸發運動會有什麼變化，分別以下列項目進行實驗與討論：

- (一)比較不同葉齡的含羞草葉片之閉合所需時間與導電性(電阻)的差異。
- (二)探討能有效引起含羞草觸發運動的外加電刺激強度。
- (三)觀察電刺激葉片不同部位後產生觸發運動的速率差異。
- (四)探討長期持續外加電刺激能否造成含羞草觸發運動延遲。
- (五)探討外加電刺激的正、負極位置對含羞草葉片閉合方向的影響。

貳、研究設備及器材

一、研究植物：

含羞草(學名：*Mimosa pudica*)，豆科含羞草屬多年生草本植物。受到物件觸碰、搖晃、加熱時，小葉會閉合接著葉柄下垂，以減少受害面積，稱為觸發運動 (seismonastic movement)，尤其在光線弱時比較敏感。此運動原理是因含羞草葉柄和小葉柄基部都有一稱為葉枕的膨大囊狀構造；平常葉枕內的水分支撐著葉片，但是當受到外力刺激時，葉枕內的水分会立即流向別處，使含羞草的小葉閉合。此外葉片在晚上也會進行睡眠運動自動收縮(文獻八)。

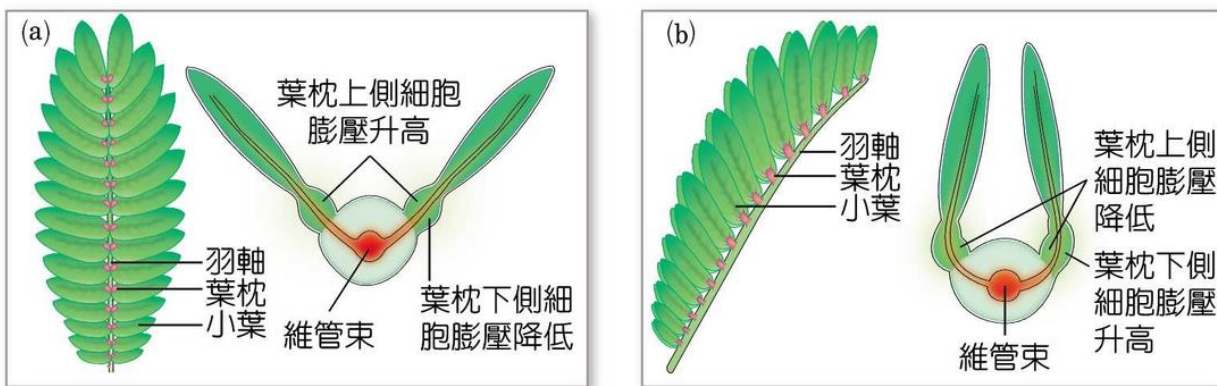


圖 2-1 含羞草膨壓運動示意圖

二、研究器材:

直流電源供應器(可提供 1.5V-24V 電源)	三合一土壤檢測儀(可觀測土壤濕度、日照、pH 值，廠牌：VIVOSUN)
針灸針(規格：0.27*50mm)	計時器
注射針筒	手機(錄影)
離子導電膠(廠牌：AFIER，500ml/罐)	電擊支架
三用電表	

參、研究過程或方法

一、實驗流程圖

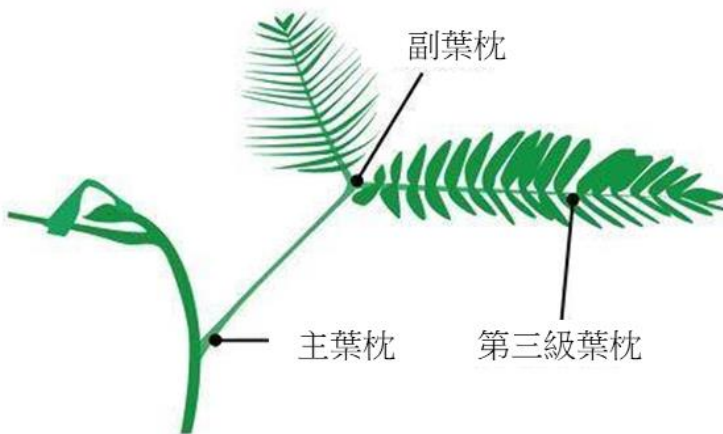
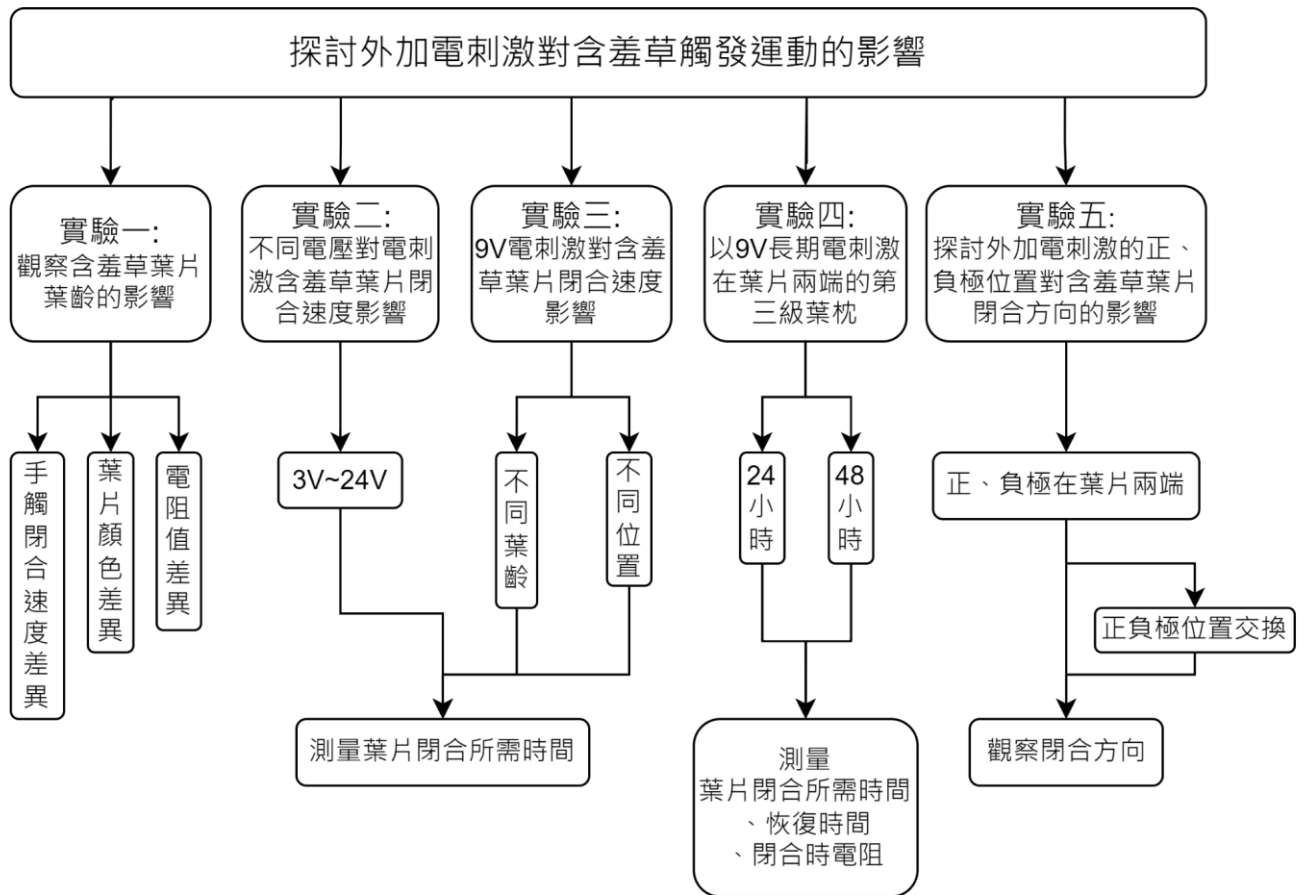


圖 3-1 葉枕定義



圖 3-2 電擊位置

二、實驗一、比較不同葉齡的含羞草葉片之閉合所需時間與導電性（電阻）的差異

(一)實驗 1-1、葉齡與葉片顏色對應資料建立

- 1.選定兩組新生葉片作為觀察對象，每天用手機拍照。
- 2.比較不同天數葉片顏色和閉合所需時間差異，建立資料對照表。

(二)實驗 1-2、葉齡對外加電刺激觸發運動之影響

- 1.將導電凝膠塗抹在含羞草的葉枕上（導電凝膠使用量約為：直徑 0.4cm，重量 0.02g），

挑選深色的成熟老葉及淺色的嫩葉分部位操作，四組組別正負極的接點位置分別為：

（如圖 3-2）(1)第三級葉枕靠近尖端--副葉枕 (2)第三級葉枕靠近尖端--第三級葉枕靠近副葉枕

(3)葉片尖端--副葉枕 (4)葉片尖端--第三級葉枕靠近副葉枕

- 2.用鱷魚夾夾住針灸針，接上電源供應器(電壓固定為 9V)，將針灸針插進導電凝膠(圖 3-3)

3. 等待數秒再開啟電源，防止抖動造成含羞草閉合。

4. 以手機進行錄影紀錄葉片閉合過程。

- 5.將錄影回放並以碼錶計時，紀錄葉片閉合所需時間（秒/對）

（閉合所需時間定義：開啟電源後至葉片閉合完全所需的時間）

(三)實驗 1-3、葉片葉齡對電阻值影響

- 1.在同一葉片兩個相距 3 公分的葉枕上，塗抹導電凝膠（凝膠用量同實驗 1-2）。
2. 三用電表開啟至電阻 20M Ω 刻度，將探針接上針灸針並插進植物上的導電凝膠
- 4.用手機錄影
- 5.待數值穩定後，用竹筷觸碰葉片使葉片閉合
- 6.用錄影觀察電阻變化

三、實驗二、外加不同電壓電刺激對含羞草觸發運動之影響

- 1.將導電凝膠塗抹在含羞草兩個第三級葉枕上

- 2.用鱷魚夾夾住針灸針，接上電源，電壓分別設定為 3V、6V、9V、12V、15V、21V、24V

- 3.手拿針灸針插進植物上的導電凝膠

- 4.等待數秒再開啟電源，防止抖動造成含羞草閉合

- 5.用手機錄影記錄

6.用碼表計算閉合反應所需時間，並換算為閉合所需時間(秒/對) (閉合所需時間定義:開啟電源時至閉合完全時)

四、實驗三、外加固定電壓電刺激對含羞草葉片不同部位觸發運動之影響

- 1.將導電凝膠塗抹在含羞草的葉枕上，分部位操作，以(1)第三級葉枕靠近尖端--副葉枕 (2)第三級葉枕靠近尖端--第三級葉枕靠近副葉枕 (3)葉片尖端--副葉枕 三組分別進行實驗(4)葉片尖端--第三級葉枕靠近副葉枕(如圖 3-2 所示)
- 2.用鱷魚夾夾住針灸針，接上電源，電壓固定為 9V
- 3.手拿針灸針插進植物上的導電凝膠(如圖 3-3 所示)
- 4.等待數秒再開啟電源，防止抖動造成含羞草閉合
- 5.另以手觸碰葉枕處，作為無外加電刺激之對照組
- 6.用手機錄影記錄
- 7.用碼錶計算各組閉合所需時間(秒/對) (閉合所需時間定義:開啟電源時至閉合完全時)



圖 3-3 實驗示意圖

五、實驗四、探討長期持續外加電刺激能否造成含羞草反應延遲

- 1.確認實驗組和對照組土壤濕度和 pH 值相同
- 2.將導電凝膠塗抹在含羞草葉片兩端的葉枕上
- 3.用手做支架上的鱷魚夾夾住針灸針，接上電源，電壓固定為 9V
- 4.將手做支架調整成適當的高度
- 5.將手做支架上的針插進含羞草上的導電凝膠裡(如圖 3-4 所示)
- 6.開啟電源後觀察反應並記錄閉合所需時間(秒/對)及恢復時間

7.分別持續電擊 24、48 小時，

8.時間到後關閉電源，觀察觸發運動反應並錄影記錄，紀錄

(1)手觸後閉合所需時間(秒/對)、(2)葉片恢復時間、(3)手觸閉合時電阻值變化量(在同一葉片兩個相距 3 公分的葉枕上，塗抹導電凝膠，測量電阻)(4)電阻值恢復時間

(說明：電阻值恢復時間為開始刺激時間-電阻值恢復至初始值時間)

9.將實驗組、對照組植株交換，反覆進行實驗並比較數值。



圖 3-4 實驗示意圖



圖 3-5 實驗在室溫、日照、土壤溼度相同情況下進行

六、實驗五、探討外加電刺激的正負極位置對含羞草葉片閉合方向是否有影響

1. 將導電凝膠塗抹在含羞草的葉枕上，分部位操作，以(1)第三級葉枕靠近尖端--副葉枕 (2)第三級葉枕靠近尖端--第三級葉枕靠近副葉枕 (3)葉片尖端--副葉枕(4)葉片尖端--第三級葉枕靠近副葉枕四組組別進行實驗

2.用鱷魚夾夾住針灸針，接上電源

3. 手拿針灸針插進植物上的導電凝膠

4.等待數秒再開啟電源，防止抖動造成含羞草閉合

5.錄影記錄含羞草葉片閉合方向






6.交換電極位置，重複步驟 4.和步驟 5.操作

肆、研究結果

一、實驗一、比較不同葉齡的含羞草葉片之閉合所需時間與導電性（電阻）的差異

(一)實驗 1-1 葉齡對葉片顏色深淺的影響

表 4-1 葉齡對葉片顏色深淺的影響

Day1	Day5	Day10	Day15	Day20
				

在表 4-1 可得知，葉片年齡越大，顏色就越深，因此在後續實驗中，我們採用顏色近似 Day1-Day5 的葉子定義為嫩葉，顏色似 Day15-20 的葉子則定義為老葉。

(二)實驗 1-2、葉齡對手觸碰反應速率的影響

表 4-2 用手刺激對不同葉齡葉片閉合所需時間之影響

手刺激位置	觸碰尖端		觸碰副葉枕		從尖端碰到副葉枕		從副葉枕碰到尖端	
	老葉	嫩葉	老葉	嫩葉	老葉	嫩葉	老葉	嫩葉
閉合所需時間平均值 (秒/對)	0.19	0.16	0.16	0.15	0.20	0.16	0.19	0.17
標準差	0.01	0.02	0.11	0.07	0.03	0.03	0.04	0.02

註:本實驗為三至四次實驗之統計值

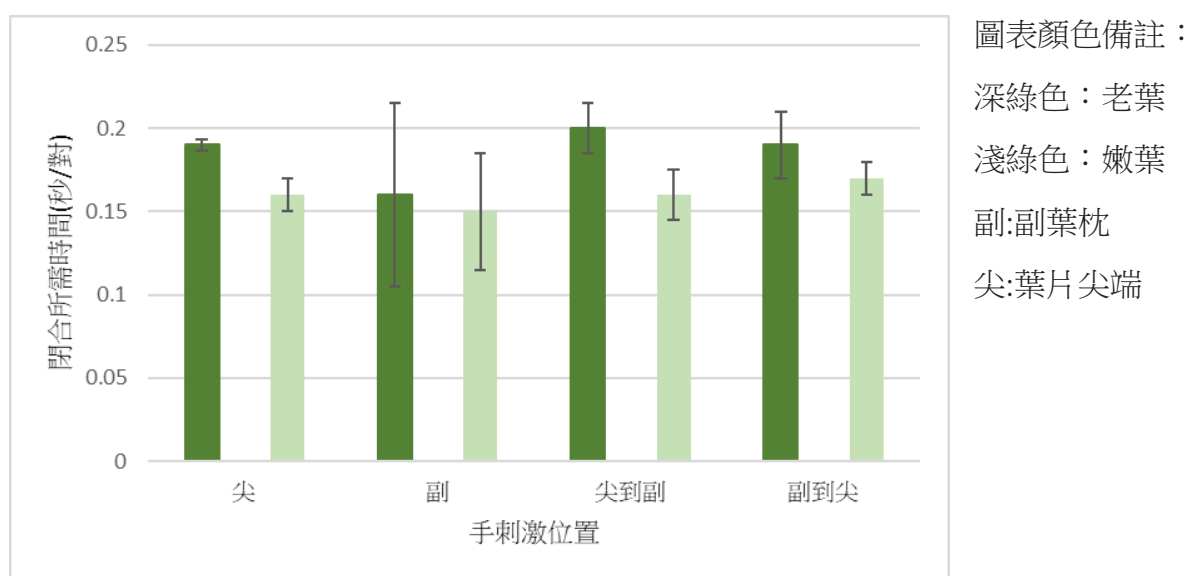


圖 4-1 手刺激對不同葉齡葉片閉合所需時間的影響

由圖 4-1 和表 4-2 得知，以手碰觸含羞草葉片，老葉的閉合所需時間較嫩葉多。

(三)實驗 1-3、葉齡對電阻值之影響

使用竹筷觸碰葉片，閉合開始時電阻值會產生下降的情形，之後電阻值會緩慢上升至葉片打開。將初始電阻值減電阻最低值計算閉合前後電阻值變化量

表 4-3 葉齡對電阻值影響

葉齡	老	嫩
初始電阻(MΩ)	8.62	5.61
電阻變化量平均(MΩ)	0.87	2.02
標準差	0.11	0.31

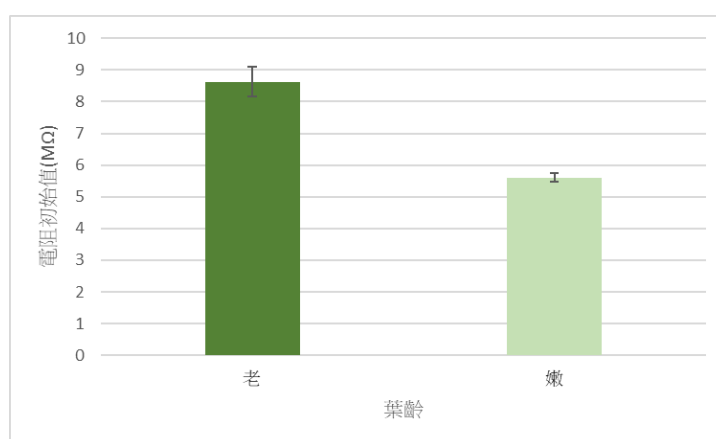


圖 4-2 葉齡對初始電阻值之影響

由圖 4-2 得知嫩葉的初始電阻值較老葉小

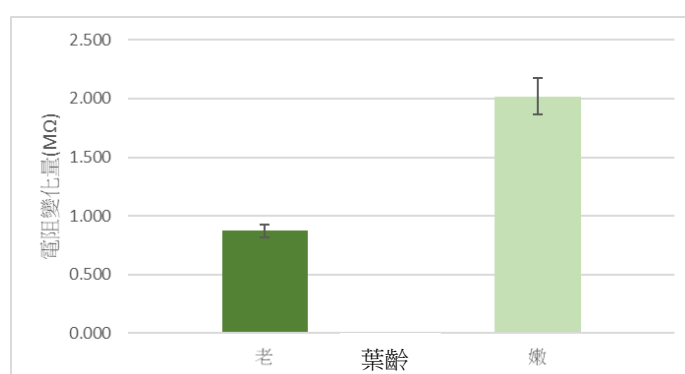


圖 4-3 葉齡對閉合前後電阻變化量的影響

註:本實驗為五次實驗之統計值

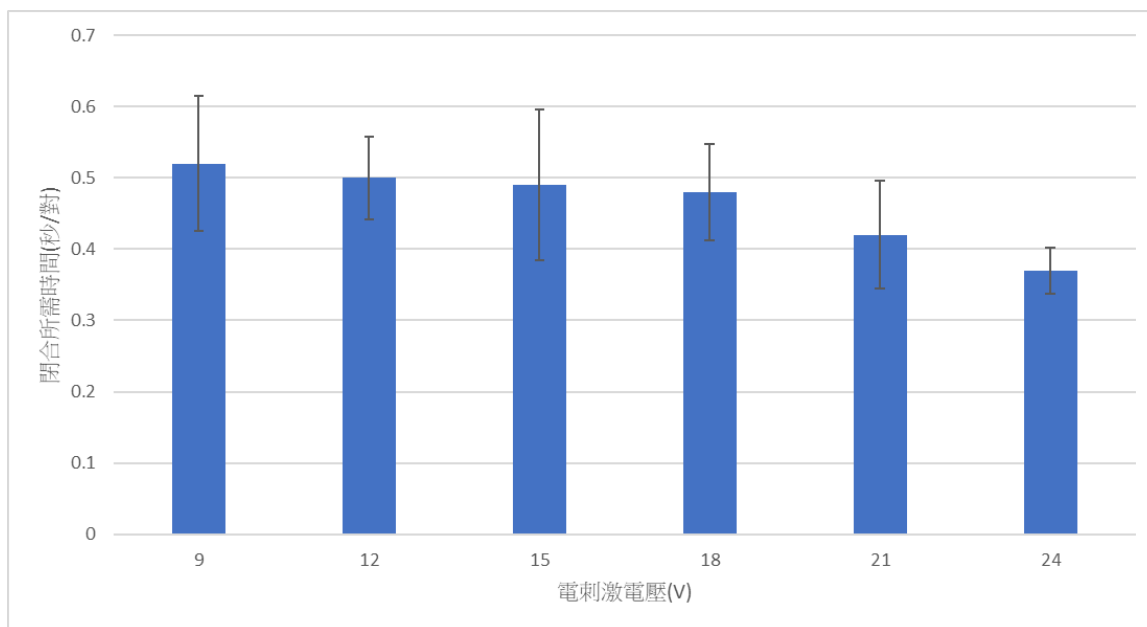
由圖 4-3 和表 4-3 可得知，嫩葉受到刺激後電阻的變化量會較老葉多。

二、實驗二 外加不同電壓電刺激對含羞草觸發運動之影響

表 4-4 電壓大小對含羞草閉合所需時間之影響(電極位置:3 尖+3 副)

電壓	3V	6V	9V	12V	15V	18V	21V	24V
有無反應	無	無	有	有	有	有	有	有
閉合所需時間 (秒/對)	-	-	0.52	0.50	0.49	0.48	0.42	0.37
標準差	-	-	0.19	0.12	0.21	0.14	0.15	0.06

圖 4-4 電壓大小對閉合所需時間的影響



註:本實驗為四至八次實驗之統計值

由圖 4-4 和表 4-4 得知，要使含羞草產生觸發運動大約需要 9V 以上的電刺激，且電壓越大，反應越快。

三、實驗三 外加固定電壓電刺激對含羞草葉片不同部位觸發運動之影響

表 4-5 電刺激對葉片不同部位閉合所需時間之影響

電刺激位置(註)	副+尖		尖+副		3 副+尖		尖+3 副	
葉齡	老	嫩	老	嫩	老	嫩	老	嫩
閉合所需時間 (秒/對)	0.61	0.26	0.52	0.45	0.65	0.44	0.65	0.29
標準差	0.21	0.20	0.05	0.04	0.10	0.01	0.06	0.04
電刺激位置	副+3 尖		3 尖+副		3 副+3 尖		3 尖+3 副	
葉齡	老	嫩	老	嫩	老	嫩	老	嫩
閉合所需時間 (秒/對)	0.50	0.38	0.62	0.51	0.53	0.28	0.55	0.50
標準差	0.25	0.10	0.21	0.19	0.27	0.08	0.26	0.19

註：本實驗為三至八次實驗之平均值

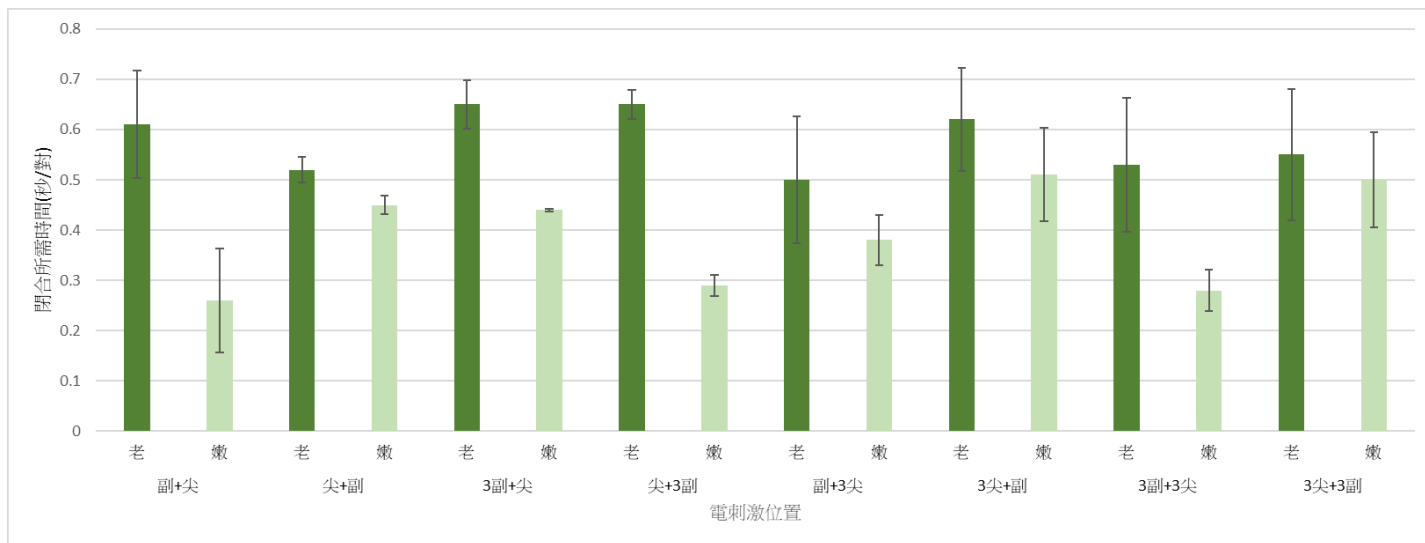


圖 4-5 電擊位置對閉合所需時間的影響

圖表文字備註:

尖:葉片尖端；副:副葉枕；3 尖:第三級葉枕靠近尖端；3 副:第三級葉枕靠近副葉枕

例: 副+3 尖 = 正極在副葉枕，負極在 3 尖

由圖 4-5 和表 4-5 能得知，用電刺激嫩葉的閉合所需時間會比較快，而用電刺激葉枕會比刺激葉片尖端反應更快。

四、實驗四 探討長期持續外加電刺激能否造成含羞草反應延遲

(一)實驗 4-1 持續電刺激對閉合所需時間之影響

表 4-6 持續電刺激對閉合所需時間及恢復時間之影響

電擊時間(9V)	0 小時(對照)	電流刺激至閉合	24 小時	48 小時
手觸是否有反應	是	是	是	是
手觸閉合所需時間(秒/對)	0.36	0.64	0.78	1.24

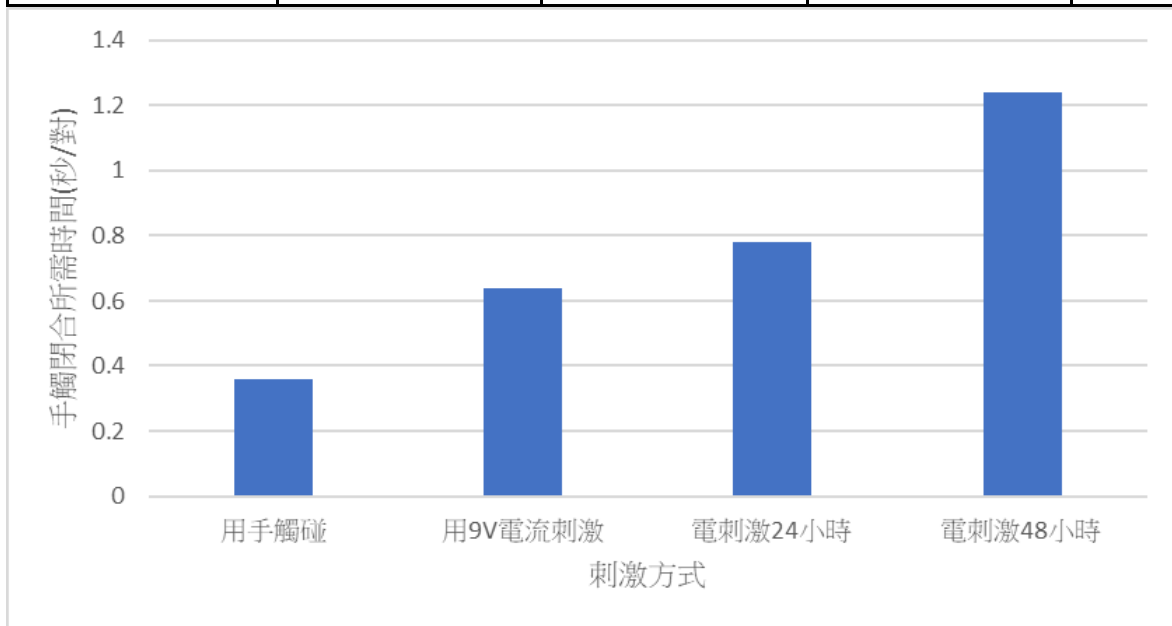


圖 4-6 持續電刺激對葉片閉合所需時間的影響

由圖 4-6 和表 4-6 可知，含羞草在受 9V 電刺激一段時間後，閉合所需時間會變長，且時間越長越明顯。

(二)實驗 4-2 持續電刺激對葉片恢復時間之影響

表 4-7 持續電刺激對葉片恢復時間之影響

電擊時間 (9V)	0 小時(對照)	電流刺激至閉合	24 小時	48 小時
閉合恢復 時間 (分：秒)	13：14	13：32	15：44	17：00

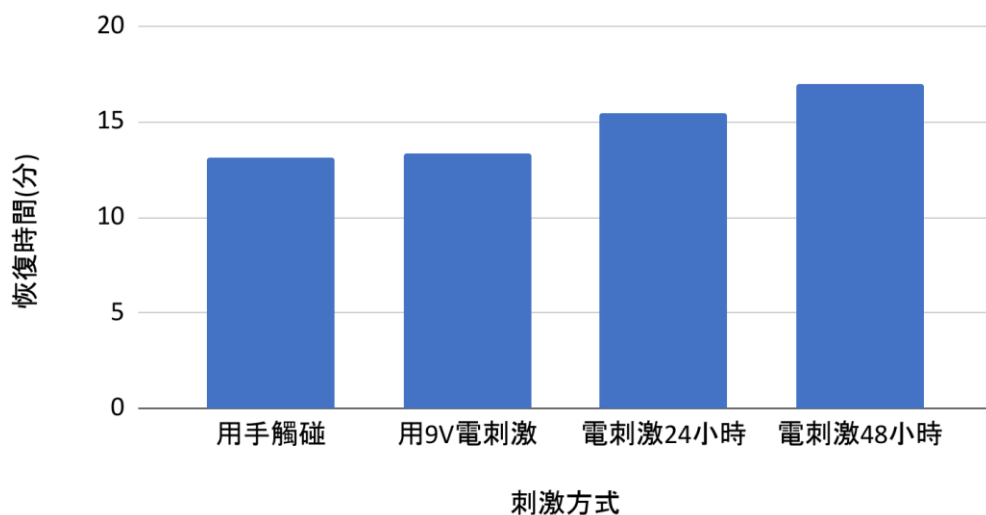


圖 4-7 持續電刺激對葉片恢復時間的影響

由圖 4-7 和表 4-7 能得到，用電刺激一段時間後，閉合恢復時間也會拉長，且會隨著時間變長而更明顯。

(三)實驗 4-3 持續電刺激對葉片電阻變化量之影響

表 4-8 持續電刺激對葉片電阻變化量之影響

電擊時間(9V)	0 小時(對照)		電流刺激至閉合		24 小時		48 小時	
電阻值變化量 (老葉/嫩葉)(3cm)	0.87	2.02	0.80	2.23	1.07	2.22	0.89	2.11

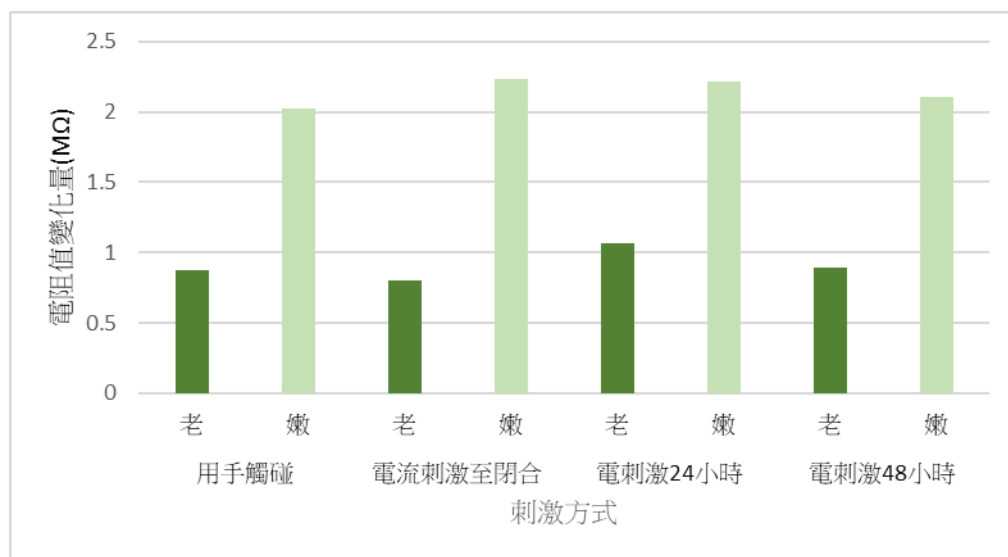


圖 4-8 持續電刺激對電阻值變化量的影響

在圖 4-8 和表 4-8 可以觀察到，在長期電刺激與其他組電阻值變化量無明顯變化。

(四)實驗 4-4 持續電刺激對葉片電阻恢復時間之影響

表 4-9 持續電刺激對葉片電阻恢復時間之影響

電擊時間(9V)	0 小時(對照)	電流刺激至閉合	24 小時	48 小時
電阻恢復時間 (分：秒)	12：17	12：36	13：59	15:57

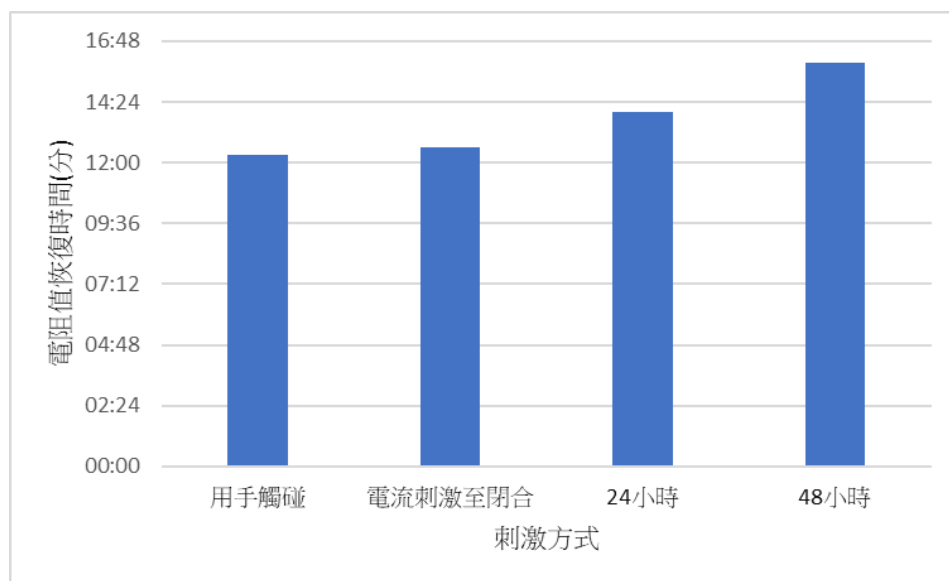


圖 4-9 持續電刺激對葉片電阻恢復時間之影響

在圖 4-9 和表 4-9 能觀察到長期電刺激會使電阻恢復時間變長。

五、實驗五 探討外加電刺激的正負極位置對含羞草葉片閉合方向是否有影響

表 4-10 電極位置與閉合方向之關係

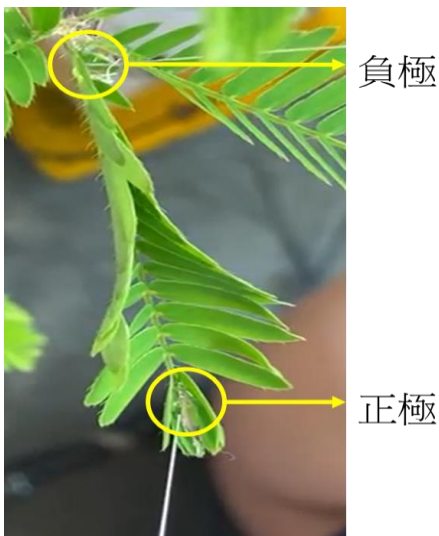
電極位置 (正極+負極)	3 尖+3 副	3 副+三尖	副+3 尖	3 尖+副	副+尖	尖+副	3 副+尖	尖+3 副
閉合方向	正←負	正←負	正←負	正←負	正←負	正←負	正←負	正←負

註:本實驗為六至十六次實驗之統計值

圖表文字備註:

尖:葉片尖端；副:副葉枕；3 尖:第三級葉枕靠近尖端；3 副:第三級葉枕靠近副葉枕

例: 副+3 尖 = 正極在副葉枕，負極在 3 尖



閉合方向:負到正

圖 4-10 電刺激後葉片之閉合方向

由圖 4-10 和表 4-10 可知，不論電極位置如何，含羞草葉片閉合方向皆為負極到正極。

伍、討論

一、葉齡對含羞草閉合所需時間、電阻、顏色的影響

我們在建立葉齡與葉片顏色對照表時，觀察到幾個結果：(1)含羞草的葉片顏色會隨著葉齡增大而變深；(2)15 天後的老葉在各部位的閉合所需時間皆比嫩葉為慢；(3)5 天內嫩葉的初始電阻值會比老葉低，且受到刺激後的電阻變化值也會較大。我們推論是因為嫩葉的葉枕組織含水量較高，而含羞草在受到刺激時細胞內外會有離子濃度變化產生訊號，所以組織間的離子的濃度瞬間變高，導致葉枕導電度較好；而老葉因組織含水量較少所以初始導電度較差，導電度變化也較小。

二、外加電刺激對含羞草觸發運動影響

由文獻四中可知含羞草需要至少 9V 的電刺激才能產生觸發運動，與我們的實驗結果一致，而用手觸碰的閉合所需時間又會比 9V 的電刺激快，因此我們測試了更大電壓刺激下的閉合所需時間，發現閉合所需時間會隨著電壓增大變得更快，參考文獻四的發現，推測是因刺激對含羞草傷害較大時，會發送受傷訊號，而受傷訊號傳遞速率會較一般刺激訊號快。

三、外加固定電壓電刺激對含羞草葉片不同部位觸發運動之影響

我們測試了電刺激在不同位置下對含羞草葉片閉合所需時間的影響，得知刺激葉枕較刺激葉片尖端的閉合所需時間較快，我們推測可能是含羞草用葉枕細胞控制閉合動作，而離子通道可能對電位變化敏感(還待進一步實驗推論)，接著我們測試了葉片顏色深淺(葉齡)會不會對閉合所需時間有影響，而根據表 4-5 能得知葉片顏色深(葉齡大)的閉合所需時間會較淺色(葉齡小)慢，我們推論可能是葉枕細胞老化造成膨壓速率變慢，並且可能也和離子通道的訊號傳遞有關。

四、持續外加電刺激造成含羞草觸發運動反應延遲

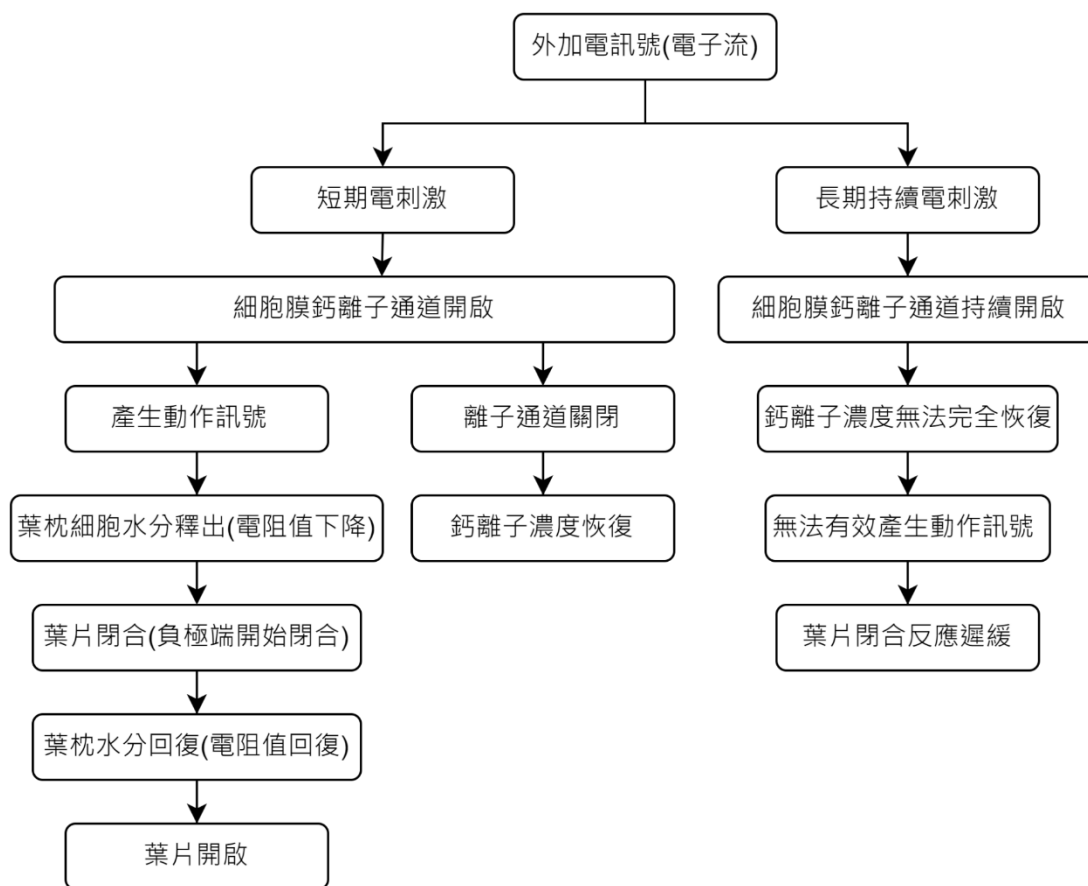
在實驗三的結果中，我們發現在 24 小時和 48 小時的持續電刺激下，含羞草的閉合所需時間會變慢，並且葉片恢復時間也會拉長，而此結果和文獻四中的連續用手刺激 60 次以上會導致反應延遲並且沒反應有類似現象。我們推論長期電刺激對含羞草來說是持續的刺激，因此造成反應延遲和恢復時間拉長的現象。為此，我們測量了葉片在長期電刺激後的電阻，而在結果中我們觀察到長期電刺激前後電阻變化量其實沒有明顯差異，因此我們參考動物的神經訊號傳遞，在動物的神經細胞中，是透過細胞幫浦製造細胞膜內外鈉鉀離子濃度差，透

過開啟離子通道時離子流動所攜帶的電荷製造動作電訊號來傳遞訊號，因此我們推測含羞草的原理和動物相似，而在長期電刺激時鈣離子通道持續受到刺激開啟，因此在長期刺激後無法快速恢復濃度導致電訊號較弱，而我們觀察到在長期電刺激時葉片仍會開啟，因此我們推論在長期電刺激時葉枕細胞水分會恢復，而離子通道會持續開啟。

五、外加電刺激的正負極位置對含羞草葉片閉合方向的影響

在實驗五的結果，我們觀察到了含羞草受到電刺激的閉合順序，都是從負極的位置到正極的位置。我們推測可能與通電時電子流動的方向有關係，電子流動的方向是由負極到正極，而根據文獻三，我們能知道動物的神經細胞在受到電刺激時，細胞膜上的離子通道會開啟，導致離子濃度發生變化產生訊號。我們推測電刺激含羞草產生的觸發運動與此原理類似，可能也是電刺激使細胞膜的離子通道產生訊號，導致葉片產生膨壓運動。所以由負極的位置開始受到電子流刺激，使葉片一路從負極閉合到正極。

六、總和以上的結果，關於外加電訊號如何影響含羞草的觸發運動，我們得出一個可能的生理機制流程：



陸、結論

- 一、葉片年齡大會使葉片顏色較深，且老葉的閉合前後電阻的初始值會較高，電阻變化也較少，推測是因葉片含水量多寡。
- 二、要用電刺激使含羞草產生觸發運動需要 9V 以上，且電壓越高反應越快。
- 三、我們發現用電刺激葉枕會比刺激葉片尖端反應更快，同時葉齡小的有反應較快的現象。
- 四、在長時間電刺激的環境下，含羞草會產生反應延遲的現象，且刺激時間越長反應越慢，推測是鈣離子通道需要時間恢復濃度。
- 五、含羞草在受到電刺激時，閉合方向會從負極到正極，推測是因為電子流動方向是由負極到正極，而電子流動使離子通道產生訊號，產生觸發運動。

柒、參考文獻資料

- 一、Sanderson, B., 1873. Note on the electrical phenomena which accompany stimulation of the leaf of *Dionea muscipula*. Proc. Roy. Soc., 495-496
<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspl.1872.0092>
- 二、Bose, J. C., 1926. The nervous mechanism of plants. Longman, Green & Co.
<https://www.nature.com/articles/118654a0>
- 三、王瀚穎／台灣大學動物學研究所博士(民 102 年) 窺探動作電位的離子通道基礎
<https://www.scimonth.com.tw/archives/5849>
- 四、蕭佑安、賴禹圳、黃浩軒(民 108 年)中華民國第 59 屆全國中小學科學展覽會
『含羞草』植物也會算數?~探討含羞草觸發運動其訊息傳遞的奧秘
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/59/pdf/NPHSF2019-030315.pdf>
- 五、Takuma Hagihara, Hiroaki Mano, Tomohiro Miura, Mitsuyasu Hasebe(2022)Calcium-mediated rapid movements defend against herbivorous insects in *Mimosa pudica*. *Nature Communications* ,13, Article number: 6412 14 November 2022,from
<https://www.nature.com/articles/s41467-022-34106-x>
- 六、Sönke Scherzer, Shouguang Huang, Anda Iosip, Ines Kreuzer, Ken Yokawa, Khaled A.S.AL-Rasheid, Manfred Heckmann & Rainer Hedrich(2022)Ether anesthetics prevents touch-induced trigger hair calcium-electrical signals excite the Venus flytrap, *Scientific Reports* 12, Article number: 2851 18 February 2022 from
<https://www.nature.com/articles/s41598-022-06915-z>
- 七、楊承遠、林又暄(民 106 年)臺灣國際科學展覽會，利用混沌系統偵測植物覺知人體之反應
<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=13363&a=6822&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=5&sid=13379>
- 八、含羞草-維基百科,自由的百科全書維基百科:含羞草觸發運動 取自
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%90%AB%E7%BE%9E%E8%8D%89>
- 九、電子流-翰林雲端學院 取自
<https://www.ehanlin.com.tw/app/keyword/%E5%9C%8B%E4%B8%AD/%E7%90%86%E5%8C%96/%E9%9B%BB%E5%AD%90%E6%B5%81.html>

- 十、田弘康、張育蒲、潘宣任、鄭朝誠(民 95 年)中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
含羞草的避震效應
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/46/senior/0408/040804.pdf>
- 十一、林耕雍、李國昇(民 97 年)臺灣 2008 年國際科學展覽會
「從害羞到大方需要多少時間」(環境因子對含羞草開葉時間的影響)
<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=106&a=6822&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=4&sid=3226>
- 十二、蔡佩穎、劉丞軒(民 101 年)中華民國第 52 屆全國中小學科學展覽會
不讓你睡~睡眠運動植物適應時差變化節奏之研究
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/52/pdf/030312.pdf>
- 十三、陳臆全(民 99 年)第九屆旺宏科學獎
植物電療法-不同電壓下植物的生長情況
https://www.mxeduc.org.tw/scienceaward/history/projectDoc/9th/doc/SA9-184_final.pdf
- 十四、觸發運動與膨壓-生物科共同備課網
(原出處:國民中學自然科學備課用書(2022)。台北市:翰林出版)
<https://bioshchen.weebly.com/35320303323693921205332873319222739.html>
- 十五、羅中則、謝謹暄、王妍云、王妍樺、呂采蓓、黃薇珉(民 103 年)中華民國第 54 屆中小學科學展覽會
淺眠與熟睡? 探討含羞草葉柄的睡眠律動
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/54/pdf/080315.pdf>
- 十六、含羞草中的信號轉導: 生物閉合電路
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3040.2009.02108.x>
- 十七、電信號及其在植物中的生理意義
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3040.2006.01614.x>