

第二十二屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA22-124

姓名：周育丞

作品名稱：一觸即發-植物的動作電位及觸發運動

參賽類別：生物組

關鍵字：植物動作電位、乙醚麻醉、觸發運動

摘要

我們深入研究了閉合植物的觸發運動。首先採用乙醚對植物進行麻醉，找出能夠麻醉植物的最低用量及最有效率的時間為 4ml 乙醚放置 20 分鐘，並再配合電擊驗證其麻醉後無法再透過任何方法使其閉合。

測量出植物閉合瞬間細胞膜電位變化的大小(以初始電位定為零)，捕蠅草為 140mV、含羞草為 180mV。以及找出最能穩定測得閉合瞬間膜電位變化或是以外接電壓使其閉合的位置及方法為：捕蠅草使用發光二極體之金屬腳連接在捕蟲葉基部、含羞草用珠針插在其主葉枕的位置，均能得到最穩定的實驗結果。

我們紀錄了含羞草連續閉合的開啟時間，發現在日光燈照射下，大約兩次後會有一段較長的間隔。而在充足日照之下，含羞草開啟時間均差不多，約為 8 分鐘。並且我們也發現在有日照的環境下含羞草開啟時間較日光燈下短且穩定。

最後我們探討了含羞草的睡眠運動，發現受乙醚麻醉的含羞草即使處於暗箱內仍然不會自動閉合，而事先放置於暗處的含羞草則不會被乙醚麻醉。

壹、研究動機

我們對於捕蠅草能夠捕食昆蟲的行為感到好奇，並想更進一步去研究其原理與觸發機制。我們在網路上找了些相關的文獻，其中有份科展報告主要是在討論消化和閉合，但是在文獻中稍微提到了電刺激以及化學物質影響閉合的相關文獻與機制，這些引起了我們的興趣。後來再更進一步的查詢資料後發現了與捕蠅草有類似機制的含羞草，因此我們決定研究與這兩樣植物相關的觸發運動。

貳、研究目的

- 一、探討捕蠅草及含羞草之電訊傳導機制及麻醉藥劑對其傳導之影響
- 二、測量出捕蠅草及含羞草閉合瞬間的膜電位變化
- 三、探討外部提供之電訊是否能觸發其閉合
- 四、探討含羞草之閉合疲乏現象
- 五、探討麻醉物質的傳遞途徑
- 六、探討暗箱環境中的睡眠運動

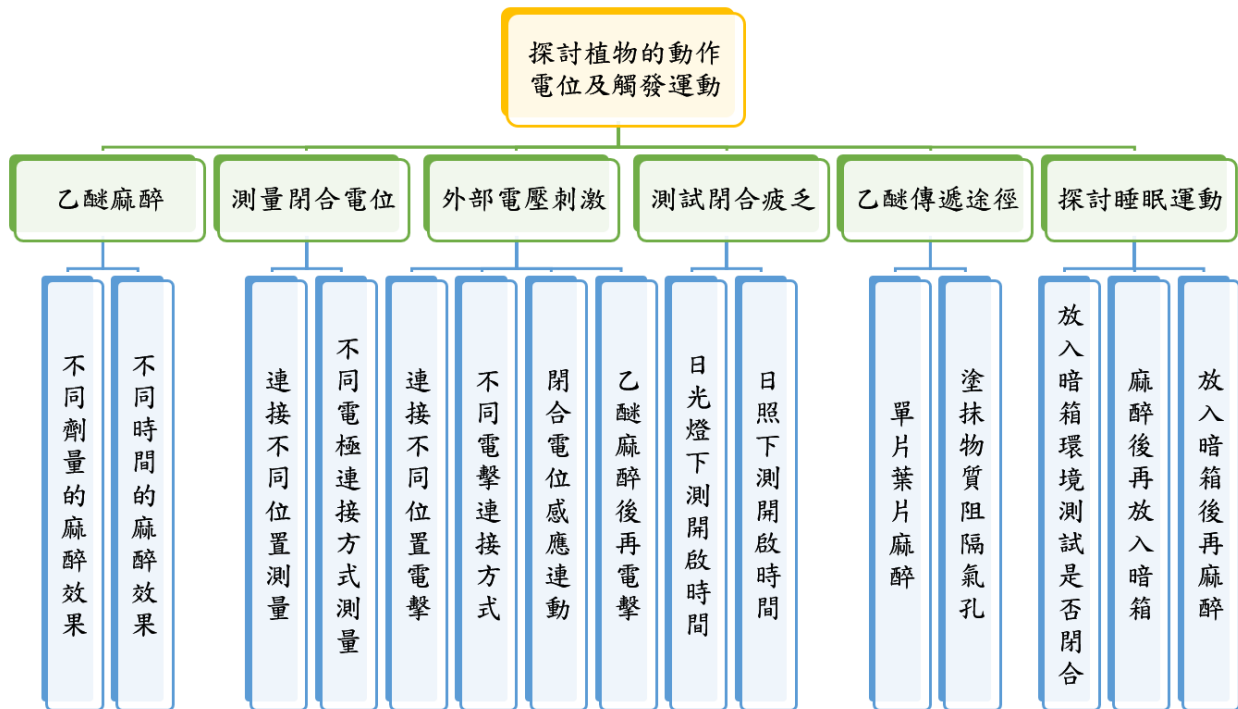
參、研究設備及器材

			
含羞草	捕蠅草	保鮮膜	乙醚
			
漆包線和珠針	導電膠	透明塑膠盒與棉花	三用電表
			
滴管和量筒	示波器	電壓供應器	發光二極體(腳)

【圖 3-1】研究設備與器材說明圖

肆、研究過程與方法

一、研究流程圖：



【圖 4-1】研究流程圖

二、實驗流程方法：

【實驗 1】：利用乙醚麻醉捕蠅草以及含羞草

1. 實驗目的：觀察乙醚對植物的麻醉效果

2. 實驗步驟：

(1) 將植物放入透明盒之中。

(2) 用滴管與量筒量測定量乙醚，並倒入透明盒中的棉花。

(3) 用保鮮膜完整封住盒蓋縫隙以及頂端開口。

(4) 紀錄開啟後再觸碰的不閉合率(含羞草取 10 片小葉之平均，捕蠅草取 5 片平均)



【圖 4-2-1】放置透明盒中



【圖 4-2-2】量測定量乙醚



【圖 4-2-3】保鮮膜封膜

【實驗 2-1】：測量植物閉合時的電位變化(改變觸碰位置)

1. 實驗目的：量化植物反應時發出的電訊大小與持續時間

2. 實驗步驟：

(1) 將示波器一端導線塗上導電膠，另一端接地。

(2) 將示波器導線觸碰捕蠅草的葉脈/捕蟲葉兩側/捕蟲葉基部/葉柄基部、含羞草的主葉枕/次葉枕/莖部。

(3) 以竹籤來回撥動捕蠅草感覺毛/含羞草葉面直到閉合。

(4) 紀錄閉合時植物發出的電訊。



【圖 4-2-4】含羞草構造圖



【圖 4-2-5】捕蠅草構造圖

【實驗 2-2】：測量植物閉合時的電位變化(改變含羞草電極連接方式)

1. 實驗目的：找出最能夠測量出閉合所產生電位的位置及方式

2. 實驗步驟：

(1) 同【實驗 2-1】，僅改變連接電極方式為針插/二極體金屬腳觸碰/漆包線觸碰。



【圖 4-2-6】針插



【圖 4-2-7】漆包線觸碰



【圖 4-2-8】二極體金屬腳觸碰

【實驗 3-1】：利用外接電壓刺激植物(改變觸碰位置)

1. 實驗目的：測量外接電訊是否能觸發植物閉合與電擊位置對閉合的影響
2. 實驗步驟：
 - (1) 將電壓供應器的一端導線塗上導電膠，另一端接地。
 - (2) 將電壓供應器的一端觸碰捕蠅草的葉脈/捕蟲葉兩側/捕蟲葉基部/葉柄基部，含羞草的主葉枕/次葉枕/莖部。
 - (3) 紀錄不同觸碰的位置組別之閉合情況。



【圖 4-2-9】捕蠅草電擊裝置



【圖 4-2-10】含羞草電擊裝置

【實驗 3-2】：利用外接電壓刺激植物(改變含羞草電極連接方式)

1. 實驗目的：找出最能夠使植物透過外接電壓觸發閉合的方式
2. 實驗步驟：
 - (1) 同【實驗 3-1】僅改變連接電極方式為針插/二極體金屬腳觸碰/漆包線觸碰。

【實驗 3-3】：觀察植物串聯後的觸發運動之感應連動情形

1. 實驗目的：觀察植物受機械刺激而感應的電訊能否用以觸發其他株植物
2. 實驗步驟：
 - (1) 將漆包線用砂紙磨去外層。
 - (2) 將漆包線的兩端分別連接 A 與 B 株含羞草的主葉枕。
 - (3) 以竹籤來回撥動 A 植物葉面直到閉合。
 - (4) 觀察記錄當 A 植物發生觸發運動時，B 植物受感應連動之閉合情形。



【圖 4-2-11】感應連動裝置(以漆包線連接)

【實驗 3-4】：乙醚麻醉含羞草後再透過外界電壓刺激的結果

1. 實驗目的：了解被乙醚麻醉的植物是否能透過外接電訊使其發生觸發運動
2. 實驗步驟：
 - (1) 含羞草放置滴有 4ml 乙醚的密閉箱中 20 分鐘。
 - (2) 完成麻醉後以針插方式並接觸主葉枕電擊含羞草。
 - (3) 觀察記錄其是否能夠閉合。



【圖 4-2-12】麻醉後以針插連接電極

【實驗 4-1】：探討含羞草在日光燈情況下的開啟時間

1. 實驗目的：了解含羞草之閉合疲乏情形
2. 實驗步驟：
 - (1) 將含羞草放置在日光燈下。
 - (2) 觸碰含羞草葉面使其閉合。
 - (3) 待到其再次開啟並記錄時間。
 - (4) 重複步驟(1)到(3)並觀察開啟時間的變化。

【實驗 4-2】：探討含羞草在日照情況下的開啟時間

1. 實驗目的：了解含羞草之閉合疲乏情形
2. 實驗步驟：
 - (1) 同【實驗 4-1】，僅改變光源為日照。



【圖 4-2-13】日照環境下連續觸碰含羞草

【實驗 5-1】：單片含羞草葉片麻醉對其他葉片的影響

1. 實驗目的：探討乙醚是否能透過傳遞使葉片麻醉

2. 實驗步驟：

- (1) 將含羞草放入透明盒之中。
- (2) 將穿過洞的保鮮膜套過含羞草最頂端的葉片，與其他葉片分開。
- (3) 在保鮮膜上放上棉花，並滴上 4ml 乙醚，放置 20 分鐘。
- (4) 觀察並記錄其他葉片能否被觸發。



【圖 4-2-14】單片葉片麻醉裝置

【實驗 5-2】利用物質阻隔葉表皮氣孔接觸乙醚對葉片閉合影響

1. 實驗目的：了解乙醚是否透過氣孔吸收。

2. 實驗步驟：

- (1) 將含羞草麻醉避免因接觸而閉合。
- (2) 使用棉花或刷子將精華油、芥花油、透明指甲油、麥克筆，覆蓋含羞草下表皮。
- (3) 等含羞草恢復後再次進行麻醉，並觀察結果。

【實驗 6-1】：探討暗箱環境對含羞草閉合影響

1. 實驗目的：了解含羞草之睡眠運動與光照關係。

2. 實驗步驟：

- (1) 將葉片開啟的含羞草放入無光照的暗箱中。
- (2) 間隔三分鐘觀察記錄葉片是否閉合。

【實驗 6-2】：探討麻醉後再放入暗箱是否能使其閉合

1. 實驗目的：了解含羞草麻醉後與睡眠運動關係。

2. 實驗步驟：

- (1) 將含羞草以乙醚進行麻醉。
- (2) 將麻醉後的含羞草放入暗箱中。
- (3) 觀察並記錄含羞草是否能閉合。

【實驗 6-3】：探討放入暗箱後再麻醉是否能使其閉合

1. 實驗目的：了解暗箱能否使氣孔閉合並阻止乙醚進入。

2. 實驗步驟：

- (1) 將含羞草放入暗箱中等待葉片閉合。
- (2) 將閉合後的含羞草以乙醚進行麻醉。
- (3) 觀察並記錄含羞草是否受到麻醉。

伍、研究結果

一、利用乙醚麻醉捕蠅草以及含羞草

【實驗 1-1】：不同量之乙醚對含羞草及捕蠅草的閉合影響

結果：根據實驗結果【表 5-1-1】【表 5-1-2】我們發現乙醚在密閉空間揮發後再讓含羞草及捕蠅草吸收，確實能有效達到麻醉的效果。

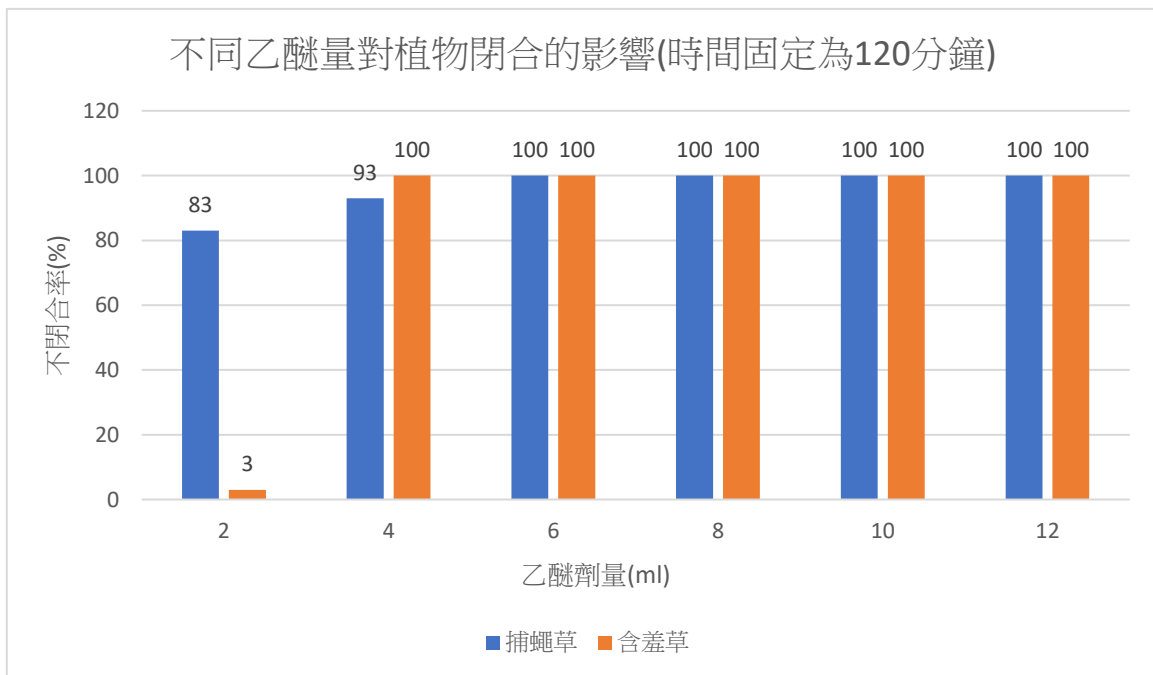
並且我們發現只需 4 毫升左右的乙醚量就可以使大部分的植物麻醉，如【圖 5-1-2】，圖中少量閉合的葉子為麻醉前就已閉合且在麻醉後未開啟的部分。



【圖 5-1-1】 2ml 120 分鐘 大部分閉合



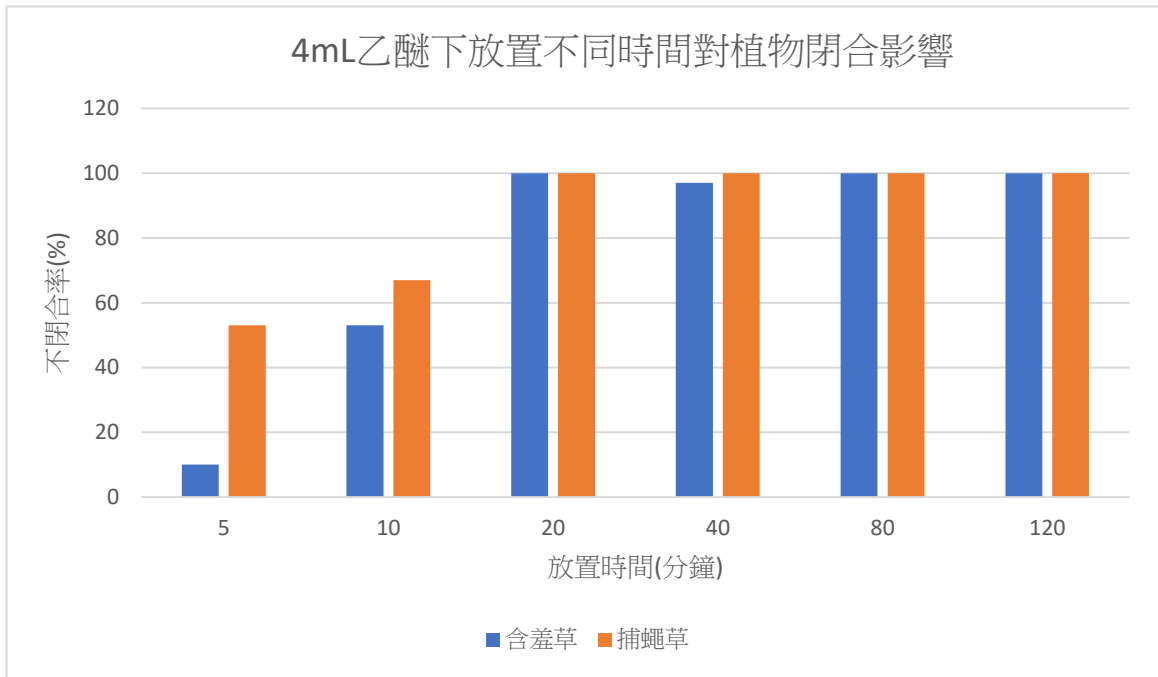
【圖 5-1-2】 4ml 120 分鐘 不閉合



【圖 5-1-3】 不同乙醚量的植物閉合結果圖

【實驗 1-2】：放置不同時間對含羞草及捕蠅草的閉合影響

結果:根據實驗結果【表 5-1-3】【表 5-1-4】我們發現以 4 毫升乙醚在密閉空間揮發後，不論捕蠅草或是含羞草放置約 20 分鐘均可以吸收。因只需 4 毫升就可達到麻醉效果且 20 分鐘即可吸收完全，所以就不再做 6、8、10、12 毫升的實驗。我們最終得到的結論為：僅需 4ml 的乙醚放置 20 分鐘即可達到麻醉的效果



【圖 5-1-4】在乙醚中放置不同時間的植物閉合結果圖

二、測量植物發生觸發運動時細胞產生的電位差

【實驗 2-1-1】：測量捕蠅草閉合時的電位變化(改變不同接觸位置)

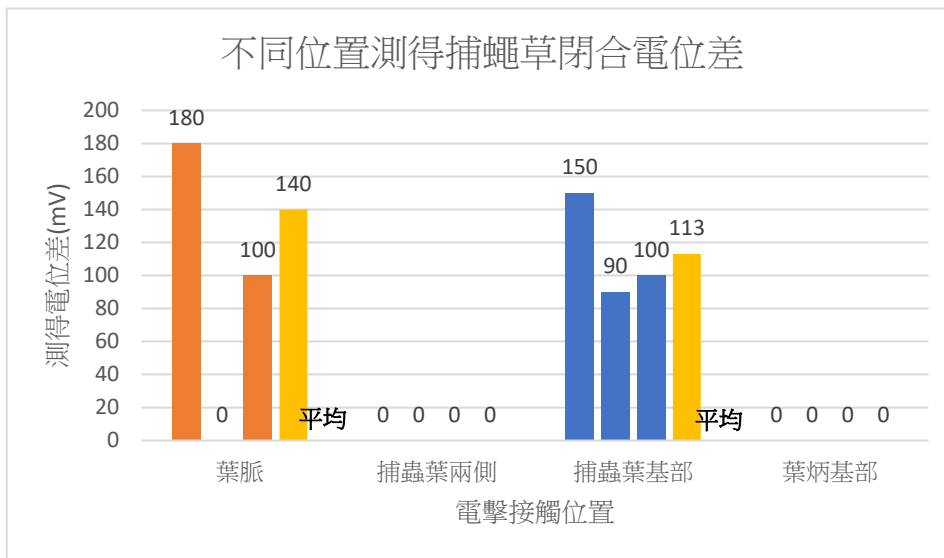
結果：利用示波器【圖 5-2-1】測量出捕蠅草閉合時之細胞瞬間膜電位變化，其中以電極接觸在捕蟲葉基部及葉脈中之組別最能穩定測得數據，平均分別為 113mV 及 160mV。傳送的電訊號需要通過控制閉合的部位，所以在其路徑上才容易測得。



【圖 5-2-1】示波器測得捕蠅草產生之電位差

【表 5-2-1】接觸不同位置捕蠅草閉合電位差結果表

不同位置捕蠅草閉合電位差測量結果				
	葉脈	捕蟲葉兩側	捕蟲葉基部	葉柄基部
第一次測得電位差	180mV	無法測得	150mV	無法測得
第二次測得電位差	無法測得	無法測得	90mV	無法測得
第三次測得電位差	100mV	無法測得	100mV	無法測得
平均	140mV	X	113mV	X



【圖 5-2-2】捕蠅草產生之電位差結果圖

【實驗 2-1-2】：測量含羞草閉合時的電位變化(改變不同接觸位置)

結果：利用示波器【圖 5-2-3】測量含羞草閉合時產生的電位差。採用發光二極體之金屬腳作為電極並接觸不同位置的情況，幾乎無法測出含羞草閉合產生之電位，僅在主葉枕部分測得一次 230mV 的電位差。因此接下來的實驗我們會改變電極連接的方式，並接在主葉枕的位置進行實驗，觀察是否能接收到含羞草閉合之電訊。



【圖 5-2-3】示波器測得含羞草產生之電位差

【表 5-2-2】接觸不同位置含羞草閉合電位差結果表

不同位置含羞草閉合電位差測量結果(二極體金屬腳接觸)			
	莖部	主葉枕	次葉枕
第一次測得電位差	無法測得	230mV	無法測得
第二次測得電位差	無法測得	無法測得	無法測得
第三次測得電位差	無法測得	無法測得	無法測得
平均	X	230mV	X

【實驗 2-2】：測量含羞草閉合時的電位變化(改變電極連接方式)

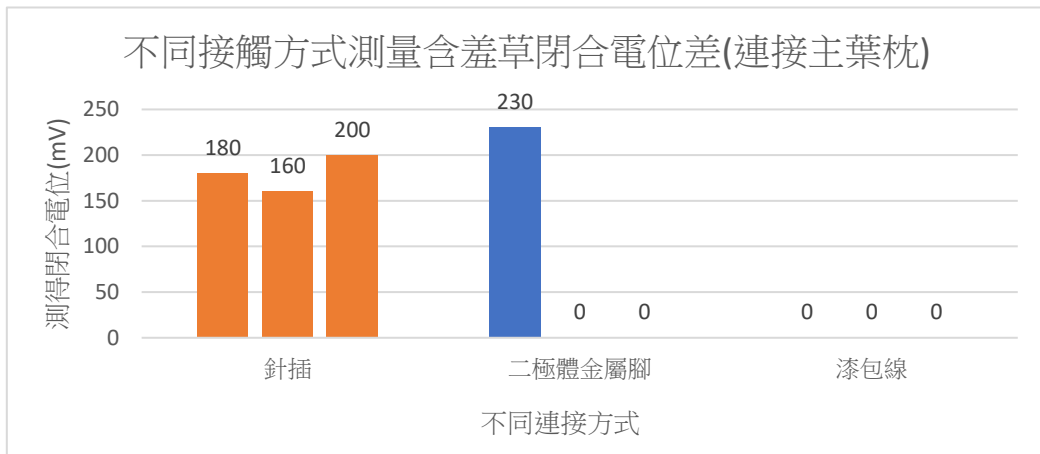
結果：利用示波器【圖 5-2-4】測量含羞草閉合時細胞之瞬間膜電位變化。發現以針插在含羞草的主葉枕處可較穩定測量出含羞草閉合時產生的電位變化大小，其平均值為 180mV。我們推測原因為含羞草莖部所含角質層的電阻較大，因此只觸碰植物表面無法測得其內部的變化。

【圖 5-2-4】 示波器測得含羞草產生之電位差



【表 5-2-3】 不同電極連接方式含羞草閉合電位差結果表

不同電極連接方式含羞草閉合電位差測量結果(接觸主葉枕)			
	針插	二極體金屬腳接觸	漆包線接觸
第一次測得電位差	180mV	230mV	無法測得
第二次測得電位差	160mV	無法測得	無法測得
第三次測得電位差	200mV	無法測得	無法測得
平均	180mV	230mV	X

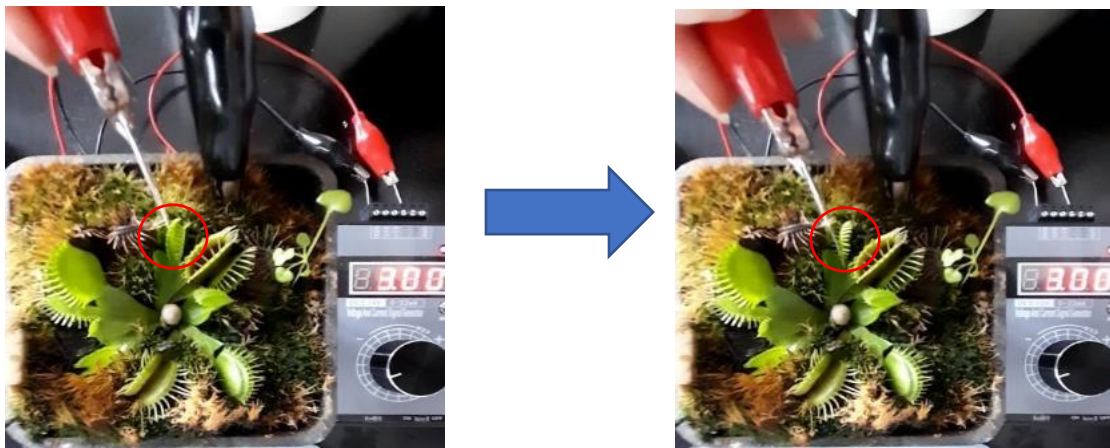


【圖 5-2-5】 含羞草產生之電位差結果圖

三、觀察外接電訊刺激對植物觸發運動的影響

【實驗 3-1-1】：利用外接電壓在不同位置電擊刺激捕蠅草

結果：根據【表 5-3-1】的結果，我們在不同的位置放置電極，發現在葉脈、捕蟲葉兩側及捕蟲葉基部可發生閉合。其中放置在葉脈的電極在第二次實驗時就無法使捕蠅草閉合，我們推測是在第一次實驗中觸碰到了葉內的感觉毛才讓捕蠅草產生閉合。連接在捕蟲葉兩側的電極不管是否通電都會觸發捕蠅草的閉合，推測其原因為我們在觸碰捕蟲葉兩側的時候擠壓到內部的感觉毛而使其閉合。因此實際上最能穩定透過外接電壓觸發其閉合的位置為捕蟲葉基部。



【圖 5-3-1】捕蠅草在受到外界電壓刺激(電極放置於捕蟲葉基部)後閉合



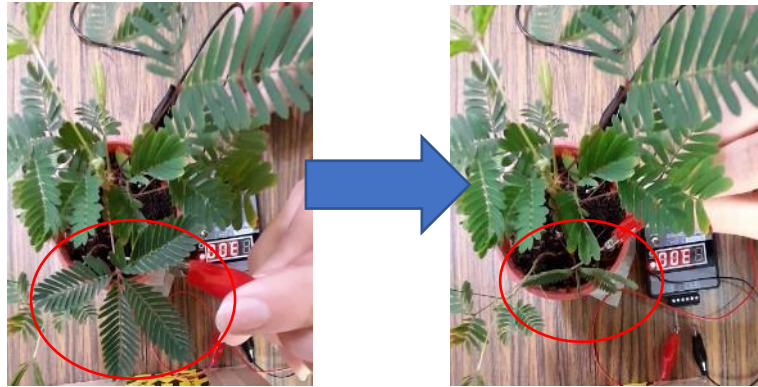
【圖 5-3-2】示波器測量到電擊瞬間所產生的電位波型

【表 5-3-1】不同位置電擊捕蠅草的閉合結果表

不同位置電擊刺激捕蠅草結果(二極體金屬腳接觸)				
	葉脈	捕蟲葉兩側	捕蟲葉基部	葉柄基部
對照組(不通電)	閉合失敗	閉合成功	閉合失敗	閉合失敗
第一次接上電極 3V	閉合成功	閉合成功	閉合成功	閉合失敗
第二次接上電極 3V	閉合失敗	閉合失敗	閉合成功	閉合失敗

【實驗 3-1-2】：利用外接電壓在不同位置電擊刺激含羞草

結果：根據【表 5-3-2】的結果，電極接觸在主葉枕及次葉枕的位置皆有成功觸發其閉合的紀錄，但穩定度不高。根據【實驗 2-2】的結果，採用針插的方式理論上是最能將電訊傳遞給植物的方式，因此我們接下來的實驗會改變電極連接的方式去刺激含羞草閉合。因為次葉枕的部位太細，以致無法將珠針扎入莖中，我們最後選擇的接觸部位為主葉枕。



【圖 5-3-3】含羞草在受到外界電壓刺激(電極放置於次葉枕)後閉合

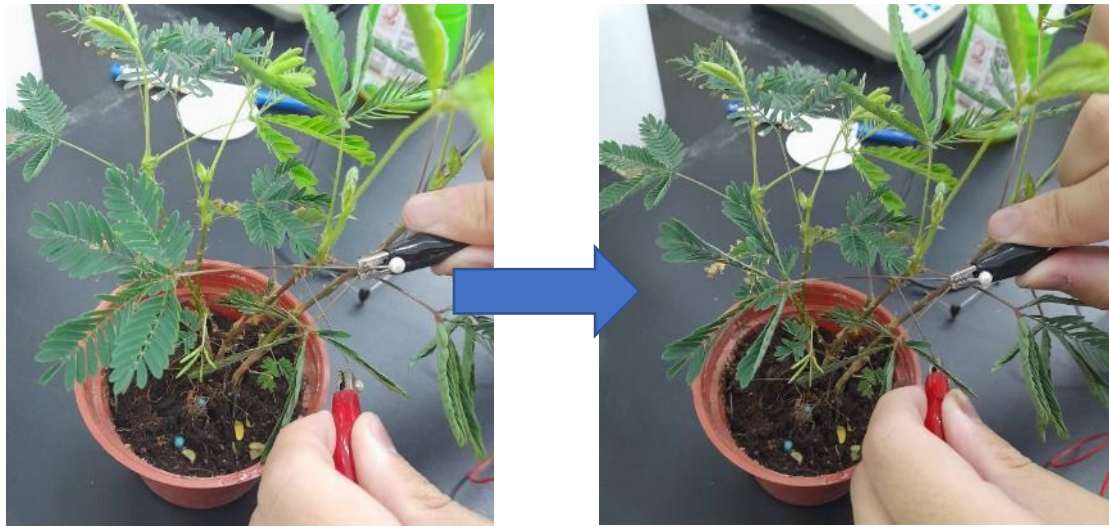
【表 5-3-2】不同位置電擊含羞草的閉合結果表

不同位置電擊刺激含羞草結果(二極體金屬腳接觸)			
	莖部	主葉枕	次葉枕
對照組(不通電)	閉合失敗	閉合失敗	閉合失敗
第一次接上電極 3V	閉合失敗	閉合成功	閉合成功
第二次接上電極 3V	閉合失敗	閉合失敗	閉合失敗

【實驗 3-2】：利用外接電壓以不同連接方式電擊刺激含羞草

結果：根據【表 5-3-3】的結果，我們證實了以針插的方式可成功將電訊傳送給含羞草使其閉合，而在表格中提到不通電的情況插針後也會造成其閉合的主要因為，在插針的瞬間會造成含羞草的水分短暫流失，並導致其膨壓改變而產生閉合，因此在後續的電擊實驗中，我們先插入珠針，待其再次開啟後才電擊。

最終我們得到最能穩定電擊觸發閉合的條件為：捕蠅草以二極體金屬腳連接捕蟲葉基部、含羞草以針插方式連接主葉枕。



【圖 5-3-4】含羞草以針插方式電擊主葉枕後閉合

【表 5-3-3】不同連接方式電擊含羞草的閉合結果表

不同連接方式電擊刺激含羞草結果(接觸主葉枕)			
	針插	二極體金屬腳接觸	漆包線接觸
對照組(不通電)	閉合成功	閉合失敗	閉合失敗
第一次接上電極 3V	閉合成功	閉合成功	閉合失敗
第二次接上電極 3V	閉合成功	閉合失敗	閉合失敗

【實驗 3-3】：利用含羞草閉合產生的電位使另一株閉合

結果：我們的實驗最初採用漆包線直接連接在含羞草的主葉枕，嘗試了多次實驗均無法成功。後來我們將連動裝置加以改良，先以針插在主葉枕後再連接漆包線，然後實驗還是未能達到我們預期的目標，我們推測原因為含羞草閉合產生的電壓太微弱且在傳送的途中又會有電壓的消耗，因此無法觸發另一株植物的閉合。如何將 A 植物產生的電壓放大後再傳遞給 B 植物，是我們之後實驗可進一步改良的目標。

【表 5-3-4】含羞草感應連動閉合結果表

含羞草閉合感應連動結果		
	漆包線直接連接	針插再以漆包線串聯
第一次觸發	閉合失敗	閉合失敗
第二次觸發	閉合失敗	閉合失敗
第三次觸發	閉合失敗	閉合失敗



【圖 5-3-5】改良版裝置圖

【實驗 3-4】：乙醚麻醉含羞草後再透過外界電壓刺激的結果

結果：如【表 5-3-5】的結果，經麻醉後的含羞草就算再經由外界電壓的電擊也無法使其閉合。所以我們可以推測乙醚的麻醉機制為，在細胞膜上有可與乙醚結合之受器而影響通道蛋白的活性，進而使得傳入的電訊無法正常的讓鈣離子通道被激活。

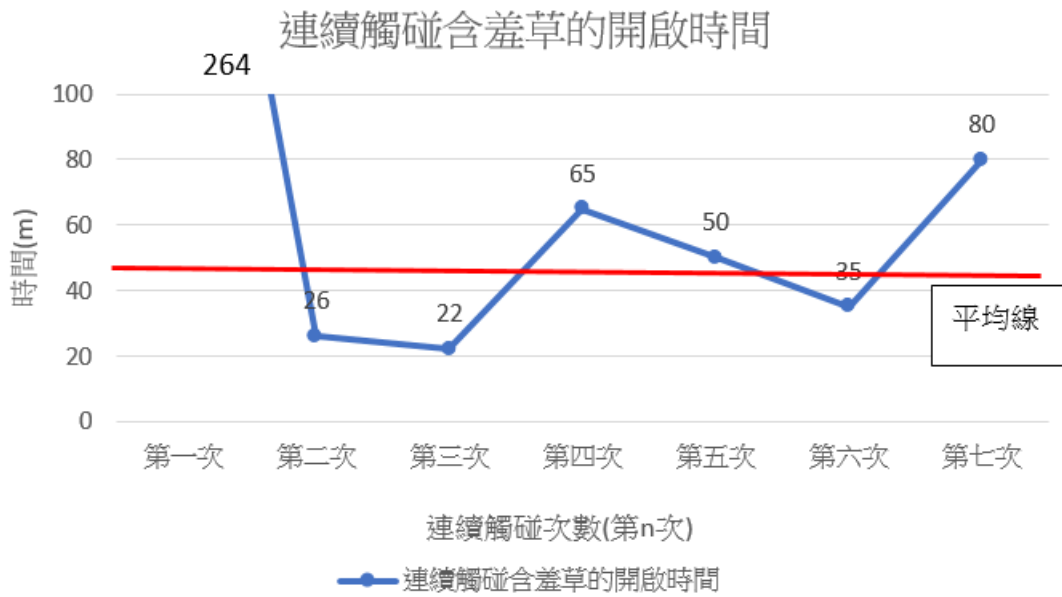
【表 5-3-5】含羞草麻醉後再電擊結果表

含羞草麻醉後再電擊結果	
	麻醉後再針插連接
第一次電擊	閉合失敗
第二次電擊	閉合失敗
第三次電擊	閉合失敗

四、測試含羞草的開啟機制

【實驗 4-1】：探討含羞草在日光燈情況下的開啟時間

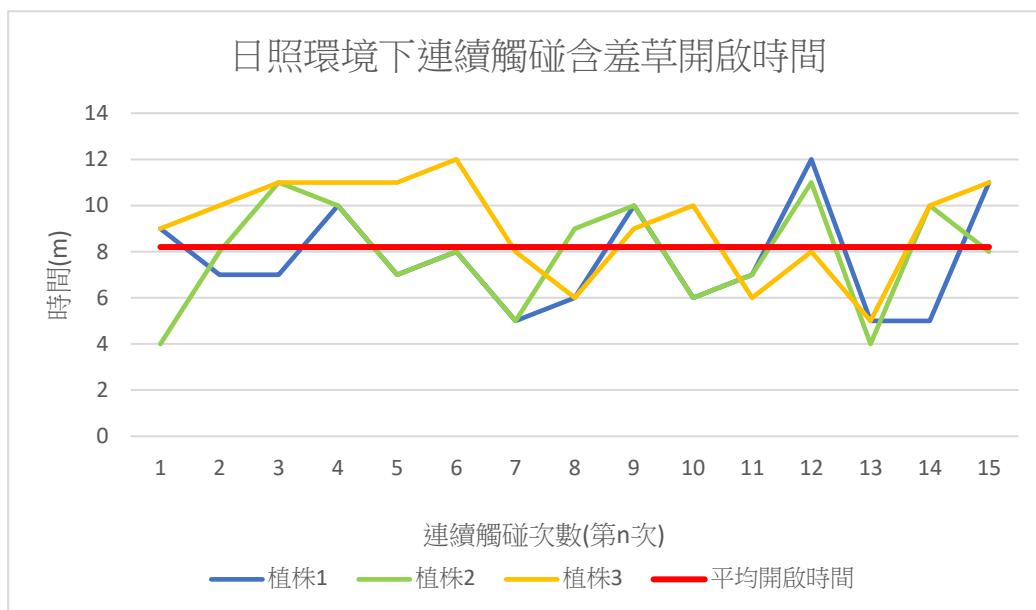
結果：根據【圖 5-4-1】的結果，第一次觸碰後的開啟時間長達 264 分鐘，推測其原因為第一次觸發其閉合後未將含羞草放置於有光照的地方，而影響其開啟的時間。其餘的六次實驗均在日光燈照射環境進行，我們發現大約每經歷兩次較短的開啟時間，下一次開啟就得花較長的時間，大約為 60 分鐘以上，推測其原因為經歷過兩次快速的水分流失後，含羞草需要一段時間來補充失去的水分才能夠再次打開。



【圖 5-4-1】連續觸碰之開啟時間折線圖

【實驗 4-2】：探討含羞草在日照情況下的開啟時間

結果：由於在【實驗 4-1】中發現每經歷兩次較短的開啟時間，下一次開啟就得花較長的時間的現象，但我們覺得數據不足，且也好奇是否與光源強度有關係，因此設計了此實驗。發現在穩定日照的情況下，含羞草的開啟時間並無明顯趨勢，其平均閉合時間為 8.2 ± 2.3 分鐘。我們也發現在有穩定太陽光照射的條件下，含羞草每次閉合後的開啟時間較在室內日光燈照射的組別短很多，且開啟時間較為穩定。造成此現象的原因我們推測是因為太陽光線較強，含羞草減少閉合時間換取更多光合作用時間，以及因為蒸散作用較強烈，所以植物更能汲取水分，不需要一段時間才能恢復膨壓。



【圖 5-4-2】日照環境下連續觸碰之開啟時間折線圖

五、探討麻醉物質的傳遞途徑

【實驗 5-1】單片含羞草葉片麻醉對其他葉片的影響

結果：透過乙醚麻醉含羞草的單片葉片，僅能使獨立出來的葉片受到麻醉，而無法阻斷底下其他葉片的觸發運動。我們也藉由在下方空間放置一株小含羞草，來確定下方沒有受到乙醚影響。因此我們推測乙醚由葉片上的氣孔吸收，並直接作用於該葉片，而不會藉由維管束傳遞到其他部位。

【表 5-5-1】單片含羞草葉片麻醉結果表

單片含羞草葉片麻醉對其他葉片的影響表			
	受麻醉之獨立葉片	箱內同植株但不受麻醉	箱內不同植株(對照組)
含羞草閉合結果(第一次)	無法閉合	可閉合	可閉合
含羞草閉合結果(第二次)	無法閉合	可閉合	可閉合
含羞草閉合結果(第三次)	無法閉合	可閉合	可閉合

【實驗 5-2】利用物質阻隔葉表皮氣孔接觸乙醚對葉片閉合影響

結果：在第一次的實驗中發現直接上油會導致葉片黏住，且無法張開，因此我們嘗試了先用乙醚麻醉再進行塗抹。但在塗上所使用的物質後，皆因各種情況讓葉片不能再次開啟，無法進行下一步實驗。最終我們想到利用植物氣孔在暗箱環境中會閉合的特性設計了暗箱麻醉的實驗。



【圖 5-5-1】葉片塗抹物質後軟化

【表 5-5-2】物質阻隔葉表皮氣孔接觸乙醚對葉片閉合結果表

物質阻隔葉表皮氣孔接觸乙醚對葉片閉合結果	
塗抹物質	乙醚麻醉結果
芥花油	實驗失敗 / 原因：葉片軟化
油性麥克筆墨水	實驗失敗 / 原因：葉片萎縮
指甲油	實驗失敗 / 原因：葉片無法動作
精華油	實驗失敗 / 原因：葉片軟化

六、探討含羞草之睡眠運動

【實驗 6-1】探討暗箱環境對含羞草閉合影響

結果：從【表 6-1-1】的結果中可以看到，將含羞草放到暗箱中大約 10 分鐘就會閉合，以此可以證實在暗箱環境中可觸發含羞草的睡眠運動並推測造成睡眠運動的主因為暗處中的植物無法行光合作用，所以含羞草傾向於閉合葉片與氣孔以減少水分散失和不必要的表面積來保護自己。

【表 6-1-1】暗箱環境影響葉片閉合時間結果表

暗箱環境影響葉片閉合時間結果表		
	對照組(陽光充足)	放置暗箱內
含羞草閉合結果(第一次)	未閉合	9 分鐘時閉合
含羞草閉合結果(第二次)	未閉合	9 分鐘時閉合
含羞草閉合結果(第三次)	未閉合	12 分鐘時閉合
平均閉合時間	X	10 分鐘

【實驗 6-2】：探討麻醉後再放入暗箱是否能使其閉合

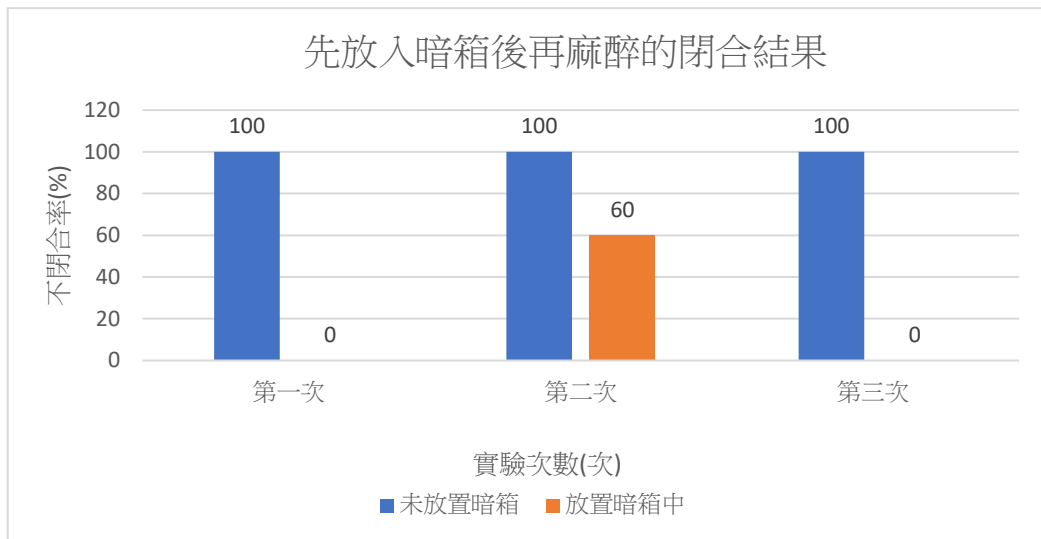
結果：將麻醉過後的含羞草再放入暗箱中，在密閉(箱子未打開)的條件下，含羞草過了 120 分鐘也不會閉合，因此更能證實了乙醚麻醉的途徑是打亂負責運輸鈣離子的通道蛋白，離子無法正常進出細胞，無法調整細胞內外的滲透壓差，水分也因此不在膜內外間流動，就不會有膨壓運動，葉片便不會因為處於暗箱而閉合。

【表 6-2-1】麻醉後暗箱環境中閉合結果表

麻醉後暗箱環境中閉合結果表		
	對照組(未麻醉)	實驗組(麻醉後)
含羞草閉合時間(第一次)	9 分鐘時閉合	120 分鐘+
含羞草閉合時間(第二次)	9 分鐘時閉合	120 分鐘+
含羞草閉合時間(第三次)	12 分鐘時閉合	120 分鐘+
平均閉合時間	10 分鐘	未閉合

【實驗 6-3】：探討放入暗箱後再麻醉是否能使其閉合

結果：根據文獻發現含羞草在暗箱環境中氣孔會閉合的特性我們設計了此一實驗，來探討麻醉物質是否由植物的氣孔吸收。根據【圖 6-3-1】的結果我們發現在暗箱環境中的含羞草無法確實吸收乙醚達到麻醉效果，在三次實驗中僅有一次成功，不閉合率也不如未放置暗箱環境中的組別，因此我們可以得出植物吸收麻醉物質的途徑確實是透過氣孔吸收。



【圖 6-3-1】先放入暗箱後再麻醉的閉合結果圖

陸、結論

- 一、乙醚可成功對植物進行麻醉，其最低用量及最有效率的時間為 4ml 乙醚放置 20 分鐘，可使捕蠅草及含羞草無法觸發閉合。
- 二、測量出植物閉合所產生的動作電位大小，捕蠅草 120mV、含羞草 180mV。
- 三、最能穩定測得閉合產生電位差或是以外接電壓使其閉合的位置及方法為：捕蠅草使用發光二極體之金屬腳連接在捕蟲葉基部、含羞草採用珠針插在其主葉枕的位置，均能得到最穩定的實驗結果。
- 四、植物在被乙醚麻醉後無法再透過機械觸發，也無法經由外接電壓刺激使其閉合。
- 五、含羞草串聯感應連動之實驗僅利用導線連接，無法成功使另一株植物閉合，其電壓在經過導線傳輸(電壓損耗)後，已經小於另一株含羞草觸發動作電位的閾值。
- 六、含羞草連續閉合的開啟時間，每經歷兩次較短的開啟時間(60 分鐘以下，平均是 33 分鐘)，下一次開啟就得花較長的時間，大約為 60 分鐘以上。
- 七、利用乙醚麻醉單片含羞草葉片，僅能麻醉該葉片，無法使該株其他葉片受到麻醉影響。
- 八、含羞草在暗處會自行閉合，且事先被乙醚麻醉的含羞草不會因為處於暗處而自動閉合，先放置在暗處使氣孔閉合後的含羞草也無法被乙醚麻醉。

柒、討論

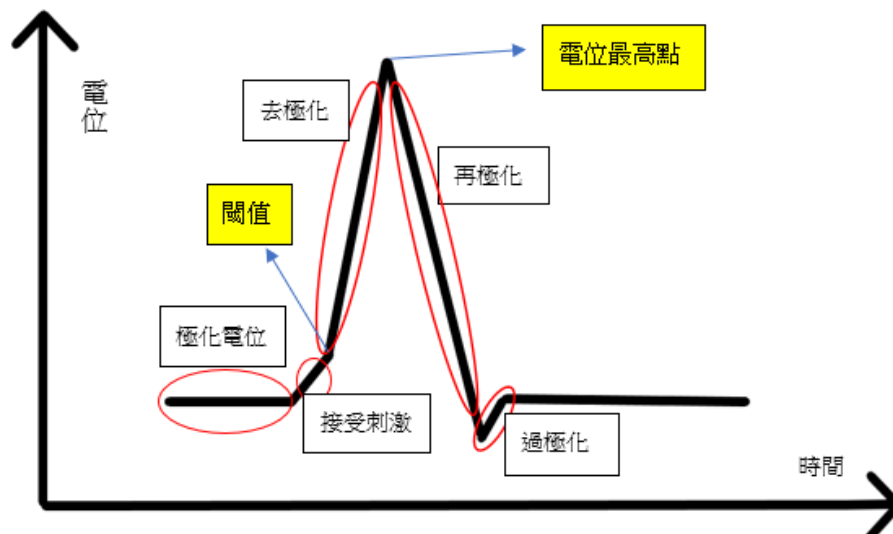
- 一、了解乙醚對植物的麻醉機制及效果：
 - (一)透過實驗我們首先確定乙醚可以對植物產生麻醉效果使其無法閉合，並找出其能夠麻醉植物的最低用量及最有效率的時間為 4ml 乙醚放置於密閉空間 20 分鐘。
 - (二)根據電擊麻醉後的含羞草無法閉合的實驗結果，我們得出乙醚阻斷植物的神經傳導方法並非阻止植物產生最初始電訊，而是阻斷初始電訊在植物細胞間傳遞的通路，進而影響其閉合。
- 二、量測捕蠅草觸發時產生的電位：
 - (一)透過示波器測量出捕蠅草閉合產生的電位在葉脈測得 160mV，在捕蟲葉基部為 113mV，而其他部位無法測得電位差。我們可以推測在觸發運動時的重點部位(負責

開合的葉脈如同人體的關節，是運動時負責拉伸與開合部位)，應演化出更高密度的鈣離子通道蛋白，而其他細胞如葉的兩側，在整個過程中與周邊細胞不必要有相對運動與拉伸或膨壓運動，所以演化出的離子通道較少，因而無電位變化或電位起伏較小。

三、量測含羞草觸發時產生的電位：

(一)透過示波器可以偵測到含羞草閉合時，會產生約為 **180mV** 的電位差。

(二)在含羞草串聯感應連動的實驗中，含羞草閉合所發出的電壓在去極化與再極化的交界為最高點，但經過導線傳輸(電壓損耗)後，已經小於另一株含羞草觸發動作電位的閾值。由於金屬導線的電阻小，損失的電壓微小，所以推測含羞草的閾值電位與去極化最高電位相差不大。



【圖 7-1】動作電位發生時細胞膜電位對時間的變化圖

四、外接電壓使捕蠅草及含羞草閉合：

(一)我們找出能夠穩定發送電壓使捕蠅草閉合的方式為，電壓供應器(固定為 **3V**)連接發光二極體的金屬腳，接觸捕蠅草的捕蟲葉基部，可使其閉合。

(二)含羞草則是將珠針插入含羞草的主葉枕後，以鱷魚夾連接電壓供應器(固定為 **3V**)，輸入電訊可使含羞草閉合。

(三)捕蠅草有短時間內連續觸碰感覺毛兩次才閉合的機制來節省能量損耗，而含羞草並無。結合實驗結果我們得出以下推論：

含羞草的對電最敏感位置是主葉枕，符合討論二的演化理論，但捕蠅草的最敏感部位並非負責拉伸閉合的葉脈，而是捕蟲葉基部。綜合前述的捕蠅草閉合特有判斷機制，我們推測捕蠅草葉脈細胞上的電壓感應通道，開放的條件除了受電訊外還另須受化學刺激(通道蛋白上應有受體能與 **A** 物質結合，結合時又有電訊才會感應開啟)，此 **A** 物質由捕蟲葉基部細胞受電訊而分泌。

五、測試含羞草的閉合疲乏：

在環境相同的情況下，我們發現大約每經歷兩次較短的開啟時間(**60** 分鐘以下，平均是 **33** 分鐘)，下一次開啟就需花較長的時間，大約為 **60** 分鐘以上，推測其原因為經歷過兩次快速的水分流失後，含羞草需要一段時間來補充失去的水分才能夠再次打開。

六、探討麻醉物質的傳遞途徑：

在確認下方空間沒有乙醚的情況下，我們發現僅有暴露在乙醚氣體下的葉片才能被麻醉。我們推測植物吸收乙醚之途徑為氣孔吸收且不能藉由維管束傳遞到其他葉片麻醉。

七、含羞草的睡眠運動：

(一) 含羞草為了避免被其他動物攝食，因此演化出了閉合來減少表面積以避免吸引動物注意的能力。而含羞草在暗處中無法行光合作用，沒有增加表面積的必要，所以會自動閉合葉片。

(二) 受乙醚麻醉的含羞草即使處於暗箱內仍然不會自動閉合，而事先放置於暗處的含羞草不會被乙醚麻醉。乙醚與暗箱的效果互斥，原因為，乙醚阻斷了植物進行膨壓運動，而暗箱使植物氣孔閉合而無法吸入乙醚。

【表 7-1】實驗總結論表

實驗總結論表				
測量閉合電位差	化學物質麻醉	麻醉物質傳遞途徑	外部電壓刺激閉合	閉合電位感應連動
捕蠅草 120mV 含羞草 180mV	4 毫升乙醚 20 分鐘有效麻醉	由氣孔吸收，並不會藉由維管束傳遞	捕蠅草捕蟲葉基部 電擊可閉合 含羞草主葉枕針插 電擊可閉合	最高電位與閾值相 差不大，經耗損後 無法閉合

捌、參考資料

- 一、廖仁滄(2019)· 捕蠅草與閉合型捕蟲植物· 國立自然科學博物館，取自
<https://www.nmns.edu.tw/ch/exhibitions/galleries/botanical-garden/flowers/Theme-F00759/>
- 二、行政院-農業知識入口網，取自
https://kmweb.coa.gov.tw/theme_data.php?theme=plant_illustration&id=35Plant *Mimosa pudica* L. · National Library of Medicine.
- 四、Sönke Scherzer, Shouguang Huang, Anda Iosip, Ines Kreuzer, Ken Yokawa, Khaled A. S. AL-Rasheid, Manfred Heckmann & Rainer Hedrich.2022. Ether anest prevents touch-induced trigger hair calcium-electrical signals excite the Venus flytrap. · National Library of Medicine.
- 五、Alexander G Volkov, Justin C Foster, Talitha A Ashby, Ronald K Walker, Jon A Johnson, Vladislav S Markin.2010. *Mimosa pudica*: Electrical and mechanical stimulation of plant movements.·Weily Online Library.
- 六、劉宇晴、劉筱君、林燈烟、楊勝惠(2018)· 王牌捕手· 中華民國第 58 屆中小學科學展覽會高中組植物學科