

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生物科

佳作

030315

『含流睿智』植物也會算數?~探討含羞草觸發運動其訊息傳遞的奧秘

學校名稱：臺中市立西苑高級中學(附設國中)

作者： 國二 蕭佑安 國二 賴禹圳 國二 黃浩軒	指導老師： 陳鴻明
---	------------------

關鍵詞：觸發運動、電位圖、受器適應(習慣)

摘要

外部刺激含羞草達到一定力道後，含羞草有依序閉合現象。含羞草雖然沒有神經細胞但是仍然可以產生類似的傳遞訊息方式，含羞草運動的膨壓作用啟動訊號之一為電訊號傳遞產生，讓水分往另一側細胞集中，並非水分立即蒸散或是水倒流回根部。當以外部電流、熱源、光線也可引起動作電位產生觸發運動；含羞草觸發運動會因為連續相同程度的刺激而不敏感，類似習慣適應。若在土壤添加乙醚麻醉劑15%，30分鐘之後，含羞草細胞亦會被麻醉而變得反應遲緩或是沒反應。本研究後續發現施予20k流明至40k流明的藍色光線時，有助於含羞草葉片再復原的速率！

壹、研究動機

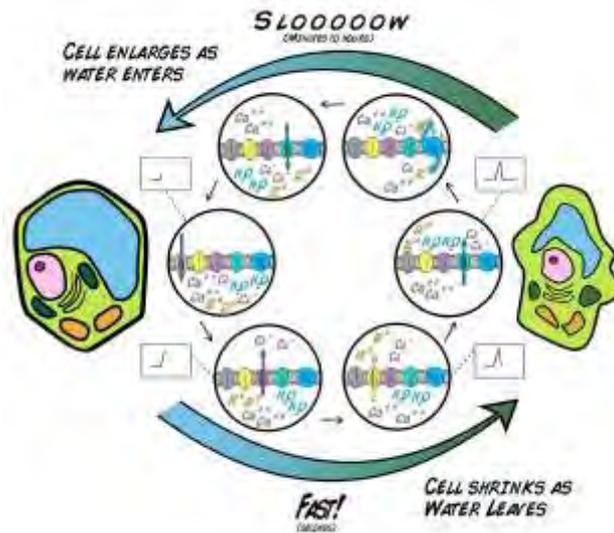
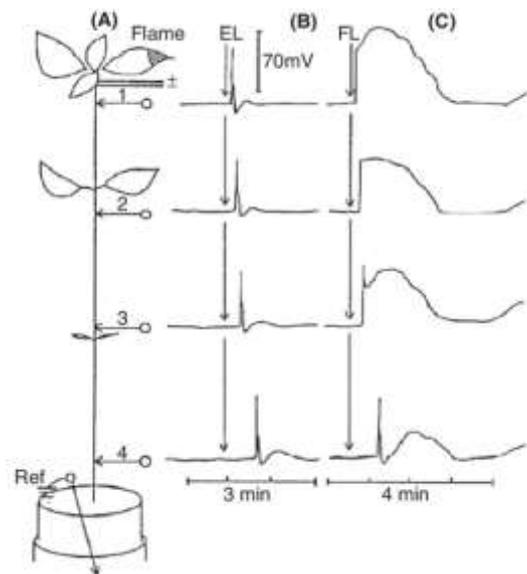
因為我們看到實驗室有擺設含羞草多次不加思索地用手去摸，無意中發現含羞草閉合有方向性，我們也好奇使用帶電的尺以及大聲呼喊方式或手機的藍光來觀察含羞草的觸發運動。含羞草所有人—生物老師鼓勵我們作進一步的探究，探究之初我們先廣泛閱讀捕蟲植物以及膨壓運動的最新研究，也包含我們在國一生物課本學到的知識，如受器感覺疲勞、神經訊息的傳導方式(神經衝動)植物的膨壓細胞膜上的離子通道、學習與本能等等？於是我們的研究，就進一步進行實驗設計及研究。

貳、研究目的與文獻探討

一、文獻探討

1. 植物動作電位:早在 1770 年代，大氣中的電荷就已被假設會影響到植物的生長，這一假說在 1783 年由貝爾托隆(Bertholon)利用實驗得到證實。而第一個研究報導出「植物動作電位」的文章，則是在 1873 年，由桑德森 (Burdon-Sanderson)透過偵測捕蠅草的葉子而發現，此一研究計畫是由達爾文所組織規畫而成。接下來的一個多世紀，科學家發現植物動作電位不只發生在捕蠅草等食蟲植物及含羞草的身上，也出現在一般常見的植物當中，研究紀錄包括蕃茄、玉米、大麥、豌豆、向日葵及阿拉伯芥等等，在被子植物中可說是相當普遍的現象。此後的研究發現，植物除了有一般動物神經的動作電位 (action potential)之外，還擁有所謂的變異電位 (variation potential)。植物的動作電位主要透過篩管組織在傳遞，跟動物神經動作電位一樣遵守「全有全無律」，亦有「自我放大傳遞」、「等速等幅傳遞」的特性。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。不一樣的是，植物的動作電位的去極化過程是透過鈣離子的流入及氯離子的流出所導致，而動物神經則是由於鈉離子的流入，可說是殊途同歸。相較於動作電位，植物的變異電位並不是一種自我放大傳遞的電訊號，它起因於導管內某化學物質的經過或張力的改變而導致的局部膜電位變化，它沿著導管傳遞，並不以等速等幅的方式傳播，因此稱為「變異電位」。除此之外，在 2009 年，一德國研究

團隊亦發現一種新的植物電訊號，是從植物受傷的部位產生並系統性地傳播到整個個體，稱之為「系統性電位 (system potential)」(科技部單位子網頁-專題報導)



圖一:普通刺激會產生AP(動作電位)，火源一閃產生動作電位以及變異電位(AP+VP)

圖一右:葉枕細胞膨壓消失與復原的原理

(https://backyardbrains.com/experiments/Plants_SensitiveMimosaPudica)

2. 膨壓運動和葉枕細胞膜內外離子濃度變化:植物的運動現象，通常是由於細胞內膨壓改變所造成的，大部份成熟的植物細胞，都有一個很大的液泡，當液泡內充滿水份時，就壓迫周圍的細胞質，使它緊緊貼向細胞壁，而給予細胞壁一種壓力，這就是膨壓。膨壓使得細胞壁處於繃緊狀態，像吹滿了氣的氣球一樣。(維基百科:含羞草膨壓與觸發運動)。葉枕細胞的細胞質中高濃度之鈣離子使氯、鉀二離子流出細胞外，導致細胞內膨壓降低，細胞萎縮，造就含羞草的觸發反應。高濃度的鈣離子激發了 Ca^{2+} -dependent anion channels 導致大量的氯離子流出細胞，使細胞去極化。原本在細胞內的鉀離子則會因為去極化的現象激發了鉀離子運輸蛋白的活性，使鉀離子流出細胞外，讓細胞再度極化。由此可知這種動作電位(action potential) 主要是受氯離子及鈣離子的集散而有所改變。

3. 植物水運輸:土壤中的水和礦物質由根毛吸收進入根內，到達維管束之後，由維管束的木質部運送到莖和葉等細胞，故水分的運輸通常由下往上運送。(南一版自然與科技4-1 4-2單元)

4. 受器疲勞:感覺疲勞是因為受器連續接受刺激，造成受器對該刺激產生疲勞或習慣的現象，感覺會產生疲勞現象，是因為感覺該刺激的接受器對該刺激的敏感度降低了，所以原有的刺激強度不再產生相同的反應程度，必須再加強刺激強度，中樞才會重新感覺到。(南一版自然與科技 5-1 單元)

5. 電漿球：電漿球中心是高頻交流電，而且人體又是屬於導體，所以我們如果將手靠近電漿球，會因為手受到交流電的感應，就算隔著玻璃也感應出電流。(感覺就像是交流電通過一個夾有玻璃的電容電板一樣)不過前面有提到，電流控制的很小，所以人體不會有感覺(陳建勳老師專區 <http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=20892>)，本次實驗測得電漿球玻璃罩表面電壓 30-60V，電流約在 0.04-0.09 之間，電流隨接觸體之電阻而異。

6. 麻醉與細胞膜受器：無論是局部麻醉劑或是全身麻醉劑，其作用都是阻止神經訊息傳送到中樞神經系統的痛覺中樞。像奴佛卡因 (Novocain) 之類的局部麻醉劑，會與神經元細胞膜上，負責傳導神經衝動的鈉離子通道結合，而抑制其功能。相對的，全身麻醉劑則會讓整個身體都失去痛覺，其最常見的是吸入型，結構都是由乙醚衍生而來，主要作用目標為中樞神經系統。(科學人雜誌 2005)

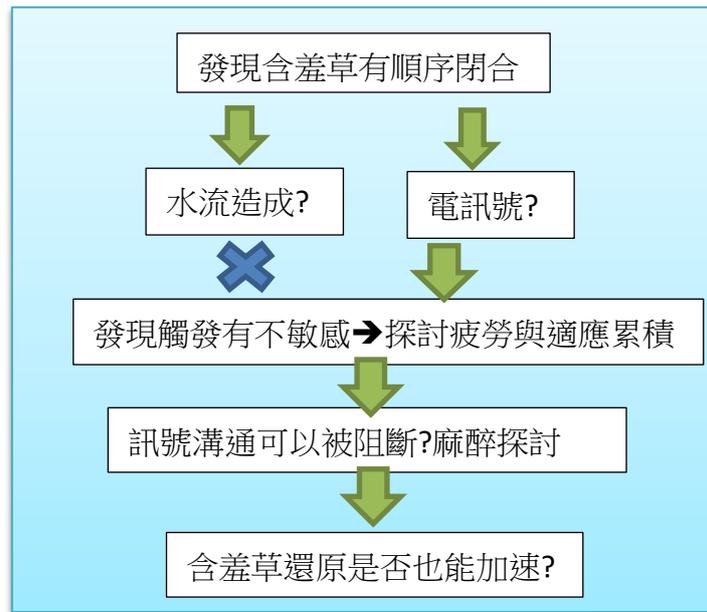
<http://sa.ylib.com/MagArticle.aspx?Unit=columns&id=691>

7. 植物細胞膜電位：

液泡內所含的有機和無機物質，它們的濃度高低，決定滲透壓的高低，而滲透壓的高低可以決定水分擴散的方向。當氯離子向細胞內，陽離子向細胞外運送，使得胞膜和鄰近地區保持一定電位差，叫做靜止電位。當外界刺激超過某一定限度時，這種差異通透性會突然改變，鈣離子大量湧進細胞，鉀離子卻向反方向進行，使膜內電位增高，甚至成為正電位，於是產生了動作電位，這種現象叫做去極化。動作電位會傳遞，當細胞到達動作電位時，也就是產生去極化現象時，胞膜的差異通透性消失，原來蓄存於液泡內之水份遂在瞬間排出，使細胞失去膨壓，變得癱軟。葉柄的數條維管束，在葉枕合成一大管道，便於容納葉枕排出的水份。當我們碰到含羞草的葉子時，葉枕細胞受到刺激，產生去極化作用，細胞立刻失去水份，喪失膨壓，葉枕就變得癱軟，小羽片失去葉枕的支持，依次地合攏起來。

8. 植物也會學習？

澳洲的研究團隊，決定以含羞草 (*Mimosa pudica*, the sensitive plant) 為樣本進行測試。研究團隊做了一個植物的「大怒神」系統，可以讓含羞草在相同的短時間內往下垂直掉落 15 公分。當含羞草坐完「大怒神」以後，它的葉子會閉合一段時間再慢慢打開；等到它的葉子完全打開以後的 5-10 秒，再讓它坐一次「大怒神」。這樣反覆在一天內進行 60 次 (含羞草：我不要坐那麼多次大怒神啦！) 以後，研究團隊發現含羞草的反應變小了。而且，在高光度與低光度下生長的含羞草，對於反覆刺激的反應明顯的不同；在低光度 (每平方公尺每秒照射 90 微莫爾的光子) 下的含羞草，在反覆刺激以後，很明顯的有反應變小的現象。但是，這真的是學習行為嗎？



圖二:本次研究依序發現與探討問題順序

依據以上的研究動機以及文獻探討我們依序設計以下實驗來探討:

- 一、**發現問題之初**: 探討含羞草羽狀複葉接受刺激點與觸發運動的啟動順序是有方向性
- 二、**為何會有順序? 是水的移動引發連鎖反應嗎?** 探討含羞草葉片閉合後膨壓運動之水跑去哪? 是立即蒸散? 還是產生維管束水流? 因此用以推測含羞草訊號傳遞並非透過水流帶動
- 三、**觸發運動的電訊號傳遞**: 探討含羞草觸發運動的電訊號傳遞並透過外部電訊號來引發觸發運動
- 四、**含羞草也會算數? 經驗學習?** 探討刺激達反應產生之頻率不同刺激源之電位圖(累加刺激)、以及受器適應
- 五、**觸發運動能被阻斷?** 透過土壤澆水施以乙醚麻醉劑阻斷含羞草觸發運動的探討
- 六、**加速觸發運動還原?** 探討是否能控制含羞草加速打開的方式(光、電、溫度、生物時鐘)
- 七、本研究的應用探討

八、擬定工作進度表

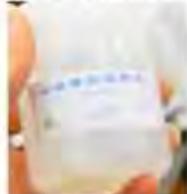
7-8月	尋找材料與器材, 作文獻初步探討
9-10月	制定待答題目與探討順序, 深入文獻探坦尋求問題解釋
11月-12月	整理實驗記錄並完成簡報, 進入實作與可受人檢驗性質
1月	檢討實驗結果與再實驗確認結果
2-3月	整理成書面報告

參、研究設備及器材

1. 研究植物：含羞草(學名：*Mimosa pudica*)，由於其獨特的生理習性有著眾多的別名暱稱，如 CP、感應草、喝呼草、知羞草、怕醜草、怕羞草、夫妻草等。含羞草原產於美洲熱帶地區，是豆科含羞草屬的一種多年生草本植物。在空氣濕度很小時，葉褥的膨壓作用明顯，葉子的閉合與張開速度快；在空氣濕度很大時，葉子的開合速度便慢。所以含羞草葉子開合速度的快慢，間接地反映了空氣中濕度的大小，可以作為天氣預報的參考。

原文網址：<https://kknews.cc/home/8522ggg.html>。

2. 研究器材：表一：本研究所使用的材料與儀器

燒杯 鑷子	塑膠罩	乙醚 15%	乾電池 1, 3, 4 號
三相電表 	含羞草 14 盆 	電極探測固定位置 	照度計(lux) 
溫度計 	溼度計 (如左)	維尼爾 數位檢測器 (如左)	導電凝膠 
電風扇 3 速 	馬達振動器 	自走車 	低速馬達 
起電球 	銅線導線 鱷魚夾 	針灸探針 	 5000-10000LUX
打火機 	探照燈 5000- 10000LUX 	雷射光 100mA-200mA 	

肆、研究過程或方法

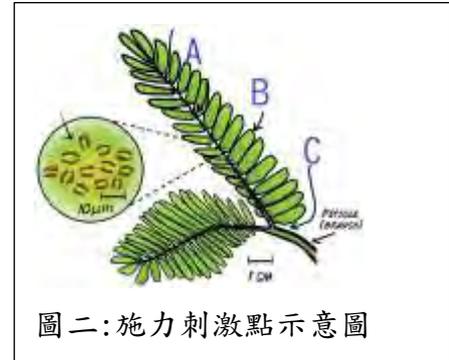
一、**發現問題之初**: 探討含羞草羽狀複葉接受刺激點與觸發運動的啟動順序是有方向性

依據假設: 含羞草羽狀葉受到刺激後將往兩側傳遞此訊息並起動觸發運動

實驗設計:

1. 準備含羞草多盆並隨機挑選羽狀複葉一柄，進行探討
2. 透過鑷子夾擊施壓三個部位(A, B, C)
3. 觀察記錄葉片閉合順序
4. 重複此動作數次，統計分析其閉合順序

	A 點	C 點	B 點
閉合方向			
閉合速率(片/秒)			



圖二: 施力刺激點示意圖

二、**為何會有順序?** 是水的移動引發連鎖反應嗎? 探討含羞草葉片閉合後膨壓運動之水跑去哪? 是順著蒸散流立即蒸散? 還是產生維管束水流?

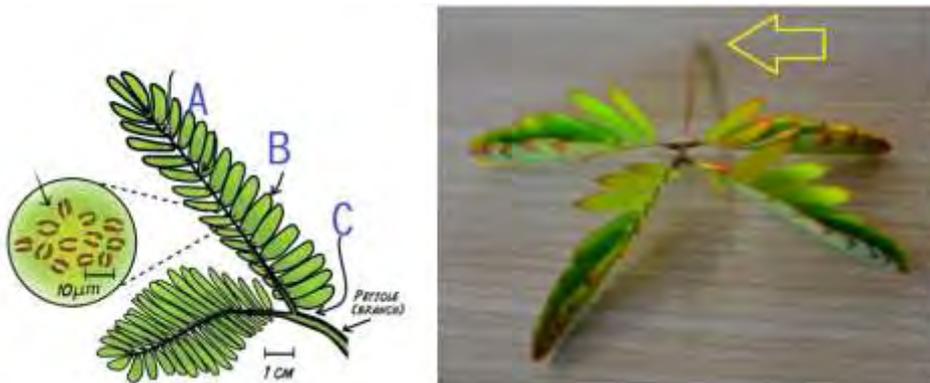
依據假設: 含羞草羽狀葉閉合有順序性可能和木質部水流方向有關係

實驗設計:

1. 針對羽狀複葉不同觸發點探討(參照下圖左)
 - (1) C → A 方向(蒸散流方向): 觀察記錄施力後是否有連續閉合?
 - (2) A → C 方向(蒸散流反方向): 觀察記錄施力後是否有連續閉合?
 - (3) 取下羽狀葉探討; 觀察記錄施力尾端, 啟動觸發反應後, 是否有水珠從箭頭處冒出?

下右圖是取下葉柄培養於試管中, 觀察其觸發運動後水柱是否倒流。如果有維管束水流動而帶動觸發運動閉合訊號, 順向之下垂葉柄勢必有類似泌葉現象。

如果是觸發其低位端, 含羞草如果能向上陸續閉合, 代表水會在維管束逆流而讓土壤中水分增加, 無法觀察土壤記錄此現象, 但是含羞草枝條部分切割下後, 放在水中扦插, 本研究發現也能維持其生命與觀察觸發運動, 意即維管束水逆流後會讓切割基部冒出水珠來。



圖三: 實驗施力點(左圖)以及單獨取下之含葉柄四枝羽狀複葉

2. C→A 方向同時設計水分是否因為密集觸發運動而立即蒸散，進而帶動水流：準備同一盆含羞草並於含羞草葉片下方放置數位濕度資料收集器

(1) 規劃實驗組與對照組如下

	實驗組(同一株植物)	對照組(同一株植物)
地點	實驗室內 (實驗日期之氣候條件盡量一樣)	實驗室內 (實驗日期之氣候條件盡量一樣)
人為碰觸	8-16 點時間每 10 分鐘碰觸一次	無
鄰近葉片下方空氣濕度監測	數位監控儀器每 10 分鐘收集資料一次	數位監控儀器每 10 分鐘收集資料一次

(2) 透過實驗組與對照組統計分析是否有顯著差異。



圖四：收集葉片下濕度示意圖

三、觸發運動的電訊號傳訊探討：探討含羞草觸發運動產生的電位差傳遞，並透過外部電訊號常識來引發觸發運動

實驗假說 1：從網路上找到的資料顯示植物的受到刺激後的反應會產生電位差並向周遭傳遞開來，並且傳遞速率可能是每秒 1-20mm。

實驗假說 2：外部環境電訊號，熱刺激等，包含其他同胞植物刺激後之電位，可以讓含羞草產生觸發運動。

1. 觸發運動心電圖動作電位的測量

(1) 羽狀複葉反應電位以及其閉合速率：利用中醫針灸的微細探針當電極並連接數位檢測器，電極接觸羽狀複葉正下方，觀察其刺激後電位變化，並觀察此電位擴散傳遞是否對其他羽葉細胞產生連坐觸發運動影響。(圖 5-1)



圖五:放置電極測試電位變化示意圖,左至右分別是測量羽狀複葉、主要大葉枕、傷害性刺激。實驗並在接觸點塗抹導電水凝膠協助電位感測。

(2) **葉柄之葉枕下垂電位**:透過數位檢測器並利用中醫針灸的微細探針測量葉枕細胞在經過刺激後的電位變化,並觀察此電位擴散傳遞的距離與**是否對其他葉枕細胞產生連坐影響**。(圖 5-2)

(3) **透過火源刺激後觀察葉柄的電位變化**:透過數位檢測器並利用中醫針灸的微細探針測量羽狀複葉正下方與葉枕細胞正下方的刺激後電位變化,並測量產生反應的時間差。(圖 5-3)

2. 外部電訊號嘗試控制啟動觸發運動

(1) 透過**乾電池與導線**以及**中醫針灸針頭**輸入或觸碰羽狀複葉或是葉枕細胞,觀察記錄是否能產生觸發運動,並探討其限制。(接觸點**亦**透過導電水凝膠接觸方式測驗)

(2) 透過**電漿球與導線**以及**中醫針灸針頭**輸入或觸碰羽狀複葉或是葉枕細胞,觀察記錄是否能產生觸發運動,並探討其限制。(接觸點**亦**透過導電水凝膠接觸方式測驗)



圖六:透過外部電流來引發含羞草反應示意圖

(3)透過同類植物(另一個含羞草之觸發運動)產生之電位來引發:而另一頭導線連接另一盆含羞草葉柄,探討植物間的電訊號傳遞產生引發觸發運動,並探討其限制。(接觸點亦透過導電水凝膠接觸方式測驗)



圖

六:以導線連接觸發運動部位,探討其間訊號是否能互相引起反應

四、含羞草也會算數?經驗學習? 探討刺激頻率、不同刺激源之電位圖(累加刺激)、以及受器適應

1. 實驗假說:輕碰羽狀複葉頻率密集情況下才會啟動處發反應

2. 實驗假說:隨刺激類型不同會讓含羞草有連坐反應

3. 實驗假說:含羞草在演化過程中會適應連續相同的刺激而產生類似受器疲勞現象

1. 刺激頻率與動作電位測量如下圖:

每秒 1-2 次輕觸 A 點	
每秒 2-3 次輕觸 A 點	
每秒 3-5 次輕觸 A 點	
每秒 4-6 刺輕觸 A 點	
→紀錄電位圖以及有產生觸發運動的條件	

2. 刺激類型累積與電位測量

	刺激 1 整片複葉 (用力施力於 A 尾端)	火源刺激 (瞬間點火於 A 尾端)	高電流刺激(0.1A) (施力於 A 尾端)
其他複葉梗是否連坐反應			
葉枕是否收到訊號下垂			

3. 重複類型刺激下，探討含羞草的適應(不反應)情況(是否類似經驗學習與受器疲勞)

(1) 選擇接近閾值之刺激程度，本研究選用 3 類刺激：

刺激種類 1	刺激種類 2	刺激種類 3
震盪器(馬達)	風扇(2 速)風力約 2.4 m/s	自走車上固定後 旋轉

(2) 由於文獻上提出低光與強光的生長環境下之含羞草，可能會有不同速率的不反應時間，因此本研究選擇低光室內培養與戶外培養之兩類含羞草做試驗，如圖七。

(3) 實驗分 3 大組，每組均為每 5 分鐘 1 次，每次 10 秒。

(4) 刺激移除後，觀察葉片沒閉合比例。

(5) 本研究定義一盆含羞草 70%羽狀葉沒有反應即達到習慣適應。

(6) 適應若發生時，立即改其他刺激方式，探討含羞草是否能立即感受其他類型刺激。



圖七：含羞草分兩類進行測試，左圖是室內培養，右圖是戶外培養組。



圖八：尋找 3 種剛好達到含羞草閉合臨界值的外部刺激因素，探討其是否產生受器疲勞現象

五、觸發運動能被阻斷?透過土壤澆水施以乙醚麻醉劑阻斷含羞草觸發運動的探討

實驗假說:植物細胞對麻醉藥的反應類似於動物和動物的方式,由土壤根部吸入式麻醉效果會優於氣孔吸入式。

1. 實驗設計表

	15% 乙醚處理方式
含羞草一盆	噴灑在羽狀複葉, 蓋住 30 分鐘
含羞草一盆	澆灑在土壤中, 蓋住 30 分鐘
含羞草一盆	無

2. 半小時後打開使其通風並測試羽狀複葉與葉枕細胞的觸發反應



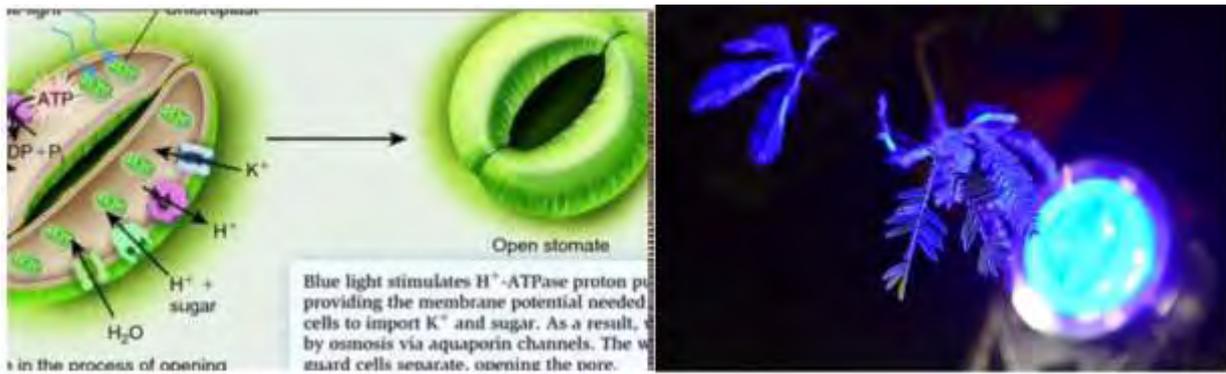
圖九:透過澆灑 15%乙醚於土壤以及噴灑 15%乙醚於葉片周邊方式探討對含羞草觸發運動阻斷的機制

六、加速觸發運動還原?探討是否能控制含羞草加速打開的方式(光、溫度、生物時鐘)

實驗假說:

1. 已知觸發運動產生是膨壓作用造成, 當失去水分的細胞再度回到細胞即可以讓含羞草恢復原來狀態。植物膨壓運動和細胞膜上離子進入調節滲透壓有關(藍光激活藍光受體刺激保衛細胞的細胞膜的質子幫浦作用, 鉀離子進入保衛細胞, 鉀離子堆積於保衛細胞內而使保衛細胞滲透壓上升, 使水進入保衛細胞, 而使氣孔開啟; 因此假設透過照光可以激活此離子通道(提供能量)可能可以增鉀離子回到細胞之通透性。

2. 已知土壤水分充足時, 若環境溫度偏高, 可能會加速氣孔打開增加增散作用, 木質部水柱的運速速率應該會增快, 當水壓提高, 可能對失水之副葉枕細胞有加速還原膨壓的效果。



圖十:植物膨壓消失與復原的離子移動示意圖(恢復膨壓機制是透過將氯離子和鉀離子再移回細胞中使得再次補充膨壓,但這需要能量消耗並且是較慢的過程)而照光以及提高溫度可能有助於離體通道的打開。

*實驗設計：

1. 準備兩類燈光，LED 類型以及探照燈類型以及電暖器，透過不同距離以改變不同的照度值，並準備對照組，觀察比較其觸發運動後的復原時間是否有差異。

*實驗設計表：

	Led 組(藍光) (照度值)流明	探照燈組(光+ 熱)(照度/溫度)	電暖器 (環境/控制 35°C -40°C)	對照組 (實驗室內)
				
恢復時間(平均)	10K: 約?秒 20K: 約?秒 30K: 約?秒 40K: 約?秒	10K/+3°C: 約?秒 20K/+4°C: 約?秒 30K/+6°C: 約?秒 40K/+8°C: 約?秒	30°C: 秒 33°C: 秒 36°C: 秒 39°C: 秒	25-28°C 600-700 流明 平均?秒

2. 試驗 10 次 取平均時間。

*實驗限制→因為含羞草有生物時鐘調節(睡眠運動時葉片也是閉合)，因此要避開睡眠時間

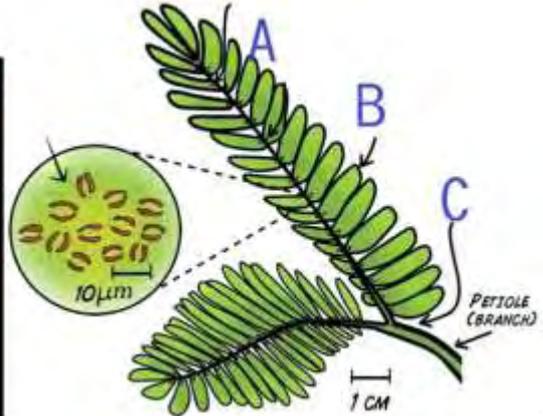
伍、研究結果分析

一、發現問題之初:探討含羞草羽狀複葉接受刺激點與觸發運動的啟動順序是有方向性

依據假設:含羞草羽狀葉受到刺激後將往兩側傳遞此訊息並起動觸發運動

結果1 表一:閉合方向結果紀錄

	A 點	C 點	B 點
閉合方向	向 B → C 閉合	向 B → A 閉合	先上 A 閉合 向 C 閉合 慢約 0.5 秒
閉合速率(片/秒)	約 1.2 秒/片	約 1.2 秒/片	約 1.2 秒/片



結果一:圖 1, 針對 B 點部位施力刺激後, 先向下端產生反應

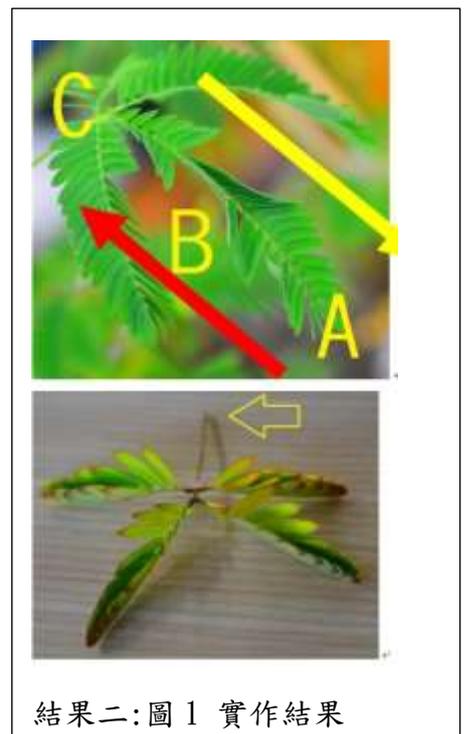
實驗結果與假設:含羞草在刺激點受到外力後, 會由一個開始一連串的連鎖閉合, 從基部施力則造成往葉柄末端方向閉合; 從葉柄末梢施力則造成往葉柄基部方向依序閉合。如果是從中間處 B 點施力(箭頭處), 則羽狀複葉先往葉柄基部閉合, 另一方向在慢 0.5 秒後才開始閉合。**推測可能是**

二、為何會有順序? 是水的移動引發連鎖反應嗎? 探討含羞草葉片閉合後膨壓運動之水跑去哪? 是立即蒸散? 還是產生維管束水流?

結果二 表二:不同觸發點之連續反應

1. 針對羽狀複葉不同觸發點探討

	施力後是連續閉合
(1) C → A 方向(蒸散流方向) → 外加測試水分是否立即蒸散	如右圖黃色箭頭, 重複測試數次均如此
(2) A → C 方向(蒸散流反方向)	如右圖紅色箭頭, 重複測試數次均如此
(3) A → C 方向(蒸散流反方向) → 加測單獨取下測試葉柄尾端是否有水珠冒出堆積	如右圖, 重複測試數次, 箭頭處並沒有發現水珠增大趨勢



結果二:圖 1 實作結果

向上閉合順序不符合木質部運送水分施單向原理；取下一部分含羞草培養後取出燒杯作碰觸使其產生觸發運動，並沒有發現截斷處有水明顯冒出來。

結果二 表三:觸發後水分不是立即蒸散

2. 驗證含羞草觸發運動後，水分離開細胞並沒有直接化做蒸散而散逸

	實驗組(同一株植物)	對照組(同一株植物)
鄰近葉片下方空氣濕度監測	67.03 % (60 次數據平均)	65.69 % (60 次數據平均)

*獨立樣本單因子變異數分析 2 組獨立樣本間是否有平均數差異，在本例中，F 檢定後的結果，顯著性 p 值=0.988>0.05



結果二:圖 2，透過數位數據收集連續性濕度變化數值

實驗與假說對應:含羞草觸發運動的連鎖反應並非由水在木質部流動造成的水流而引發，觸發運動後水的移動是往另一側細胞移動或是進入細胞間隙。含羞草根部分吸收的水分並不是用在觸發運動上，而是生長發育或是蒸散作用。

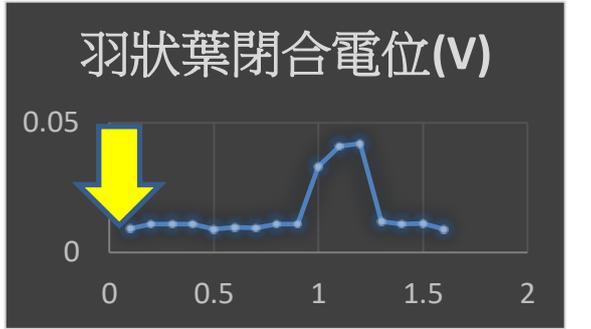
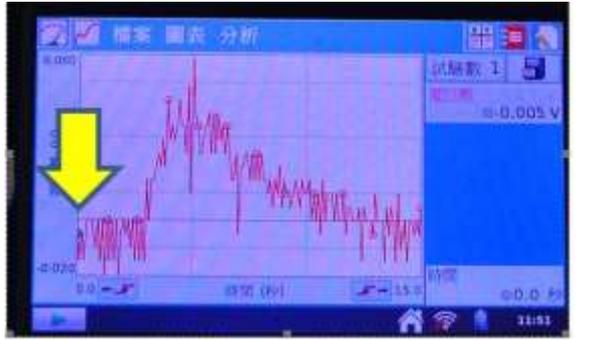


結果二:圖 3:葉片閉合實內側細胞的水並沒有進入維管束，膨壓降低的細胞其消失的水分子，應該是進入葉枕細胞空隙。

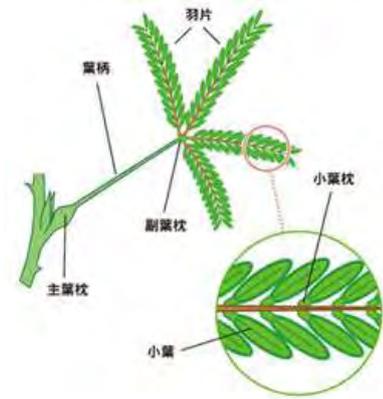
三、找出觸發運動傳訊原理:探討植物心電圖與電訊號傳遞奧秘，並透過外部訊號輸入來控制觸發運動閉合行為(電訊號, 同類植物訊號, 火源, 寒氣)

結果三 表三:不同觸發點之電位差圖

1. 觸發運動心電圖動作電位的測量結果整理(表三)

	 <p>羽狀複葉反應電位圖，箭頭代表觸碰尾端產生閉合現象</p>
	 <p>箭頭代表觸碰葉柄，隨後葉柄葉枕產生下垂現象測得電位差(單一葉枕細胞)</p>
	 <p>羽狀葉柄聚合的點(副葉枕)受到火源(或是低溫噴霧)刺激後訊號往外擴張的測試</p>

實驗結果與假說 1:從網路上找到的資料顯示植物的受到刺激後的反應會產生電位並向周遭傳遞開來，並且傳遞速率可能是每秒 2-3mm!透過以上實驗證實可以採集到固定的動作電位圖，大葉柄葉枕細胞群下垂的電位似乎有累積性，羽狀複葉則是呈現單一去極化的圖形，而用火源於複葉柄下方 5 公分點燃 0.5 秒後，等待了快 12 秒後，葉柄才下垂，這段距離約 7cm，亦即火源訊號傳遞為每秒 0.450mm。用鑷子夾擊羽狀複葉，每個羽狀複葉之閉合速率約為 0.2 秒一組，距離約 1.6mm，依此計算動作電位傳遞速率為每秒 8.0mm。



推論:

1. 長距離傳遞 → 動作電位要夠大(0.06v 以上累積)，但是速率慢。(文獻說是 VP, 是受傷型的訊號, 維持長久)
2. 短距離傳遞 → 動作電位值小(0.005v 左右)，羽狀葉細胞鄰近，因此速率快。
3. 主葉柄下垂 → 動作電位值比單一葉片組大(副葉枕)(0.06V)，但是不會引起鄰近葉柄下垂。

結果三，圖說 1:羽狀葉(小葉枕)、副葉柄(葉枕)與主葉柄(葉枕)

2. 外部電訊號控制觸發運動整理(表四)

結果三之 2 表四:外部輸入電訊號引發觸發運動

乾電池串聯方式	高壓電漿球輸入微電流方式
<p>實驗結果: 單顆 9V 電池 : 有觸發反應 至少 9.0 V 以上</p> <p>*透過導電凝膠協助導電 *電池電流是 0.6345 安培</p>	<p>實驗結果: 含羞草在電漿球電流輸入後，羽狀複葉逐漸發生閉合現象。亦可同時啟動多處的葉枕同時下垂。</p> <p>*透過導電凝膠協助導電 *檢測電漿球表面電壓 30-50v 電漿球輸入電流為 0.06-0.09A</p>
	

同胞植物膨壓運動是否造成電訊號傳遞



實驗結果與假說 2: 外部環境電訊號，包含其他同胞植物刺激後之電位，可以讓含羞草產生觸發運動。本次主題實驗結果只證明：外部電漿球可以成功將電流訊號送到含羞草反映部位反應部位，並引發葉片的觸發運動以及葉枕細胞的下垂。至於使用乾電池串聯，要讓含羞草有反應，我們認為在加強接觸部位導電塗抹導電水凝膠(Hydrogel) 後，至少要 9.0V 串聯(電流 0.6345A) 才有反應，但是含羞草在這麼大的電流之下，容易受到傷害(比起對照組容易枯萎)。推測是含羞草所需之外部電壓需很大，但是通訊時的電流極小，才能由外部電訊號引起其觸發運動反應。

同胞植物葉枕細胞受到刺激後，即使測得出動作電位，但是要將其訊號傳達到另一株含羞草葉片，並不容易，推測需要透過類似心電圖的訊號放大器增大訊號才能使另一盆含羞草葉片有所反應。

實驗結果之同類植物電訊號無法引起觸發運動探討:

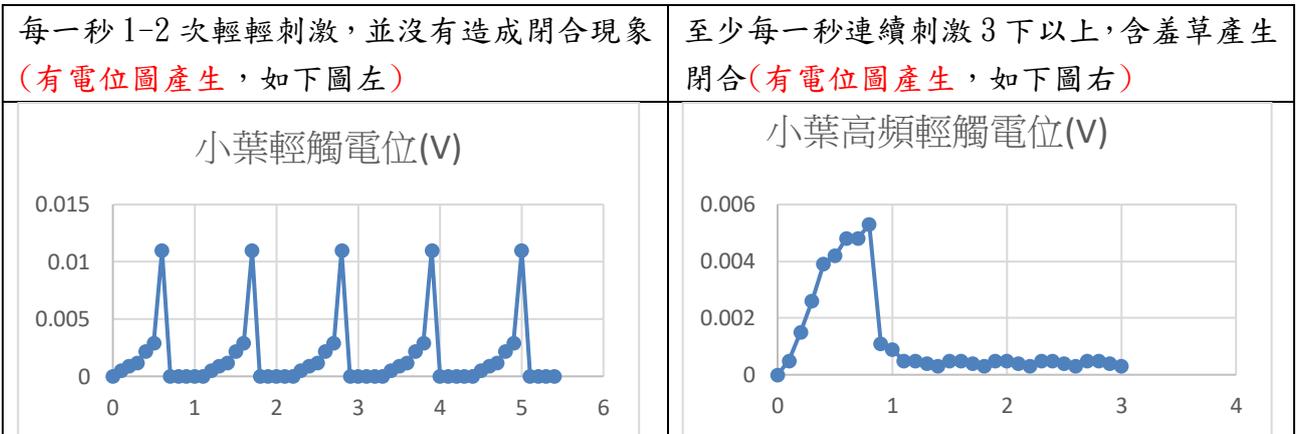


結果三，圖說 2: 科學家 Greg Gage 示範觸碰捕蠅草的毛，來觸發含羞草的行為。我們將會把觸碰一棵植物的資訊傳送到另一棵植物。我們的研究尚無找出這個外部啟動方式。

四、含羞草也會算數?經驗學習? 探討刺激之頻率、刺激種類以及受器適應的結果

結果四之 1 表五:輕觸頻率造成觸發運動之結果

1. 含羞草會算數:實測結果



結果四，圖說 1:末梢 A 點不間斷施力至少 3 次以上，每次低於閾值，始產生羽狀葉閉合，**閾值電位約 0.04V(40mv)**。黃色箭頭代表 1 秒鐘。

實驗假說與結果:輕碰羽狀複葉頻率密集情況下才會啟動處發反應。實驗多次後，輕觸含羞草且低頻條件下，羽狀複葉不會閉合；如果是每秒輕觸 3 下以上，電位可以累加，因而啟動觸發反應。

結果四之 2 表六:不同刺激類型造成之結果

2. 不同刺激種類探討是否產生連坐反應(其他分支羽狀複葉以及主葉柄)

	鑷子施力夾住 羽狀複葉尾端	火源刺激(下方) 羽狀複葉尾端	高電流刺激(0.1A) 羽狀複葉尾端
其他複葉梗是否連坐反應	無	有	有
葉枕是否接受到訊號下垂	無	有	有



結果四，圖說 2:針灸的針是作為收集電位差之電極，外部刺激是火源以及電漿球電流條件下，符合**實驗假說:隨刺激類型不同會讓含羞草有連坐反應。**

結果四之 3 表七:重複低層級刺激之結果

3. 實驗假說:含羞草在演化過程中會適應連續相同的刺激而產生類似受器疲勞現象(重複刺激下類似動物的經驗學習):整理表(表五)

	震盪器(馬達) 水族打器震動幫浦	風扇(2速)風力約 2.4 m/s	自走車上固定後 旋轉
接近閾值刺激：每5分鐘1次 每次10秒			
刺激移除後觀察葉片 閉合比例 (很明顯的有反應變 小的現象)	低光培養的含羞草：約 43-49次後觀測葉柄與 複葉明顯不反應 正常光度培養的含羞 草：約70-76次後觀測 葉柄與複葉明顯不反 應	低光培養的含羞草： 約32-37次後觀測葉柄 與複葉明顯不反應 正常光度培養的含羞 草：約45-54次後觀測 葉柄與複葉明顯不反 應	低光培養的含羞草： 約35-43次後觀測葉柄 與複葉明顯不反應 正常光度培養的含羞 草：約75-82次後觀測 葉柄與複葉明顯不反 應
習慣若發生時立即改 其他刺激方式	改成風速3速 →立即又有閉合反應	改成震盪器(馬達) →立即又有閉合反應	改成風速3速 →立即又有閉合反應



結果四，圖說 3:選擇剛好可以引發含羞草反應的固定刺激外部因素，測試其開始不敏感的次數為多少，接近於反應閾值的刺激大小是受控制的。

實驗結果與假說:選擇非遠大於閾值的外部因素，即，恰好可以引發觸發運動的震動馬達，風速以及迴旋自走車。發現重複刺激達到一定次數後，會造成觸發運動反應程度減緩，但是生長在低光度的含羞草可能不受此限制因為照度不足時，含羞草可能會先以行光合作用優先，閉合保護作用為非優先考量，所以黑暗培養的含羞草比較快進入適應不反應的時期。

本研究亦發現植物發生習慣適應後，並非全部羽狀葉都不反應，而是接近 70%的比率不反應(達到適應刺激情況)

五、觸發運動能被阻斷?透過土壤澆水施以乙醚麻醉劑阻斷含羞草觸發運動的探討

結果五 表八:觸發運動能被麻醉阻斷實作之結果

1. 實驗結果

	15% 乙醚處理方式	反應紀錄
含羞草一盆	噴灑在羽狀複葉，蓋住 30 分鐘	羽狀複葉有 30%無反應
含羞草一盆	澆灑在土壤中，蓋住 30 分鐘	羽狀複葉有 90%無反應
含羞草一盆	對照組	100%有閉合反應

*本次試驗重複驗證，共嘗試 5 次處理，重新操作時，有確認植物受藥性消失，以及植物體是健康狀況下。

實驗結果與實驗假說:植物細胞對麻醉藥的反應類似於動物和動物的方式，由土壤根部吸入式麻醉效果會優於氣孔吸入式。實驗結果顯示用噴灑在葉片方式經過半小時之後，羽狀複葉只有 30%不會有觸發閉合運動。經過澆於土壤吸收的方式，可讓含羞草 90%的羽狀複葉達到所謂不反應。由於含羞草的維管束可以連結葉枕細胞以及羽狀複葉葉柄，透過噴灑於土壤的方式，使乙醚從木質部蒸散作用時一併送往目標部位。噴灑於葉片附近，即使乙醚容易揮發從氣孔進入，推測也只進入到葉肉細胞間隙，因此阻斷觸發運動的成效不佳。

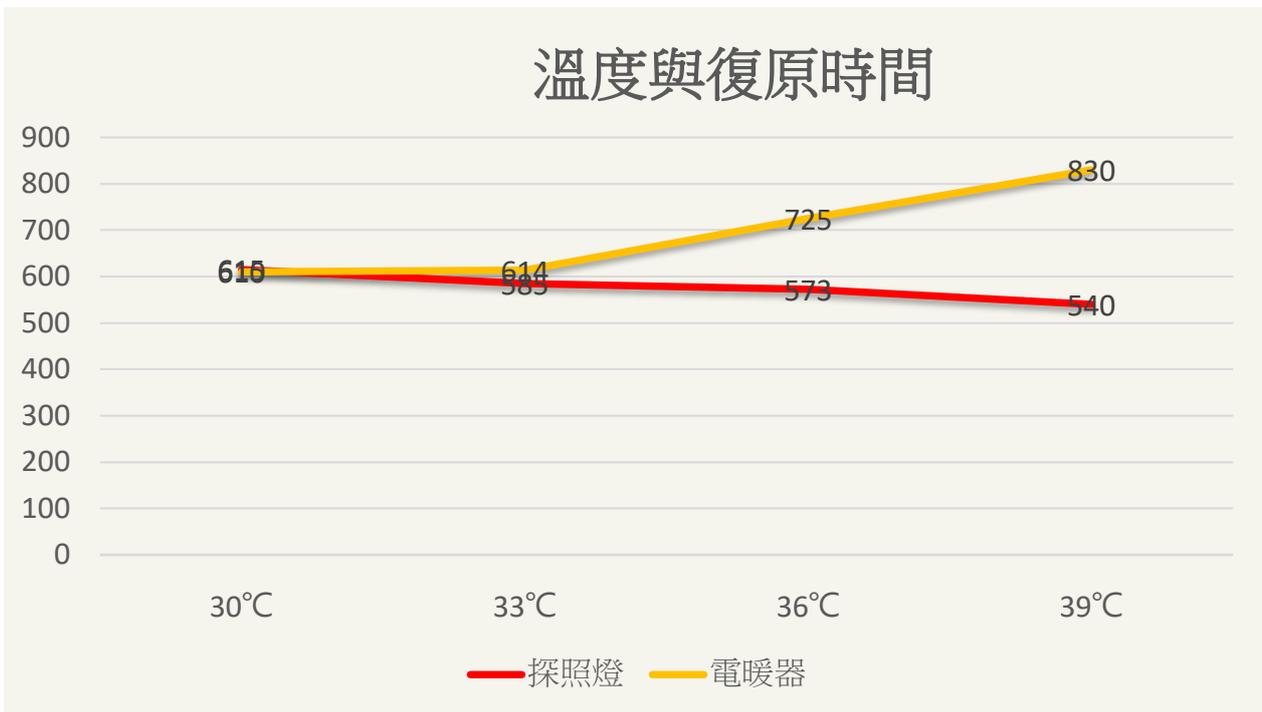
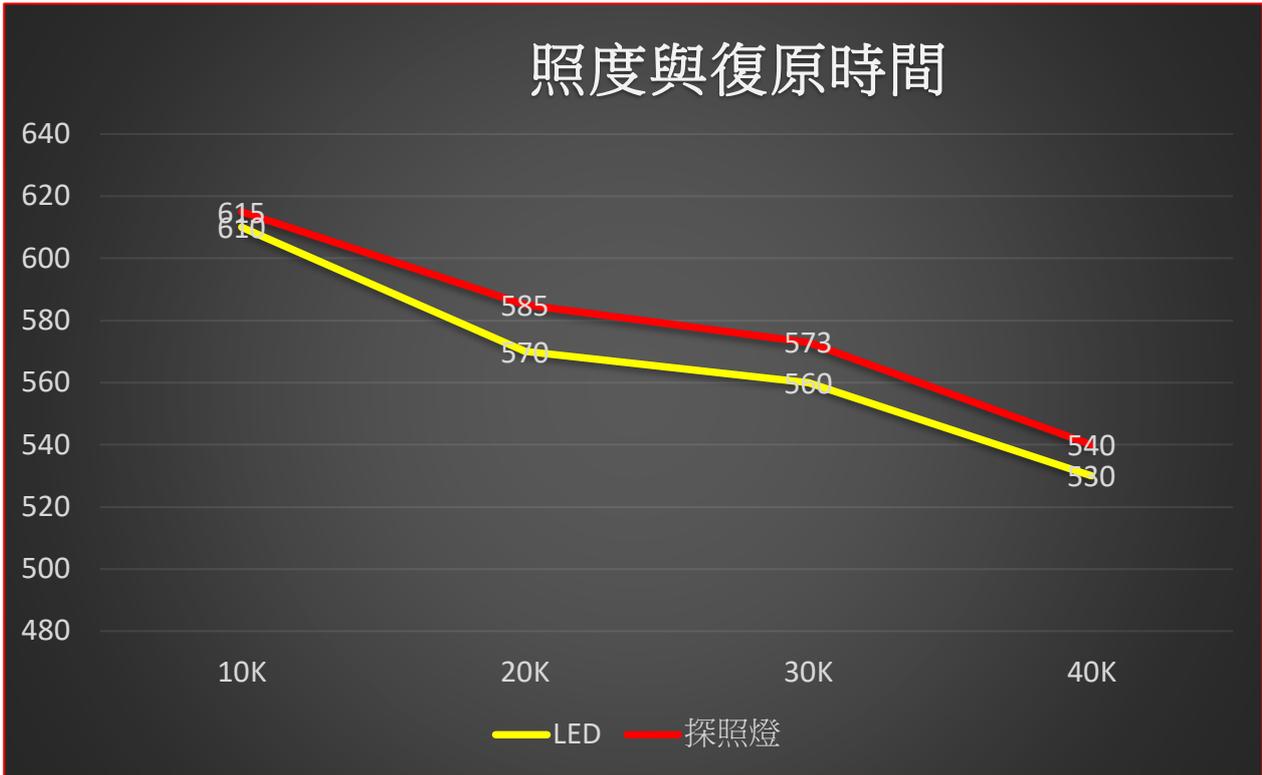


結果五，圖說 1:乙醚施灑以及 30 分鐘後測試，含羞草有 90%達到不反應。



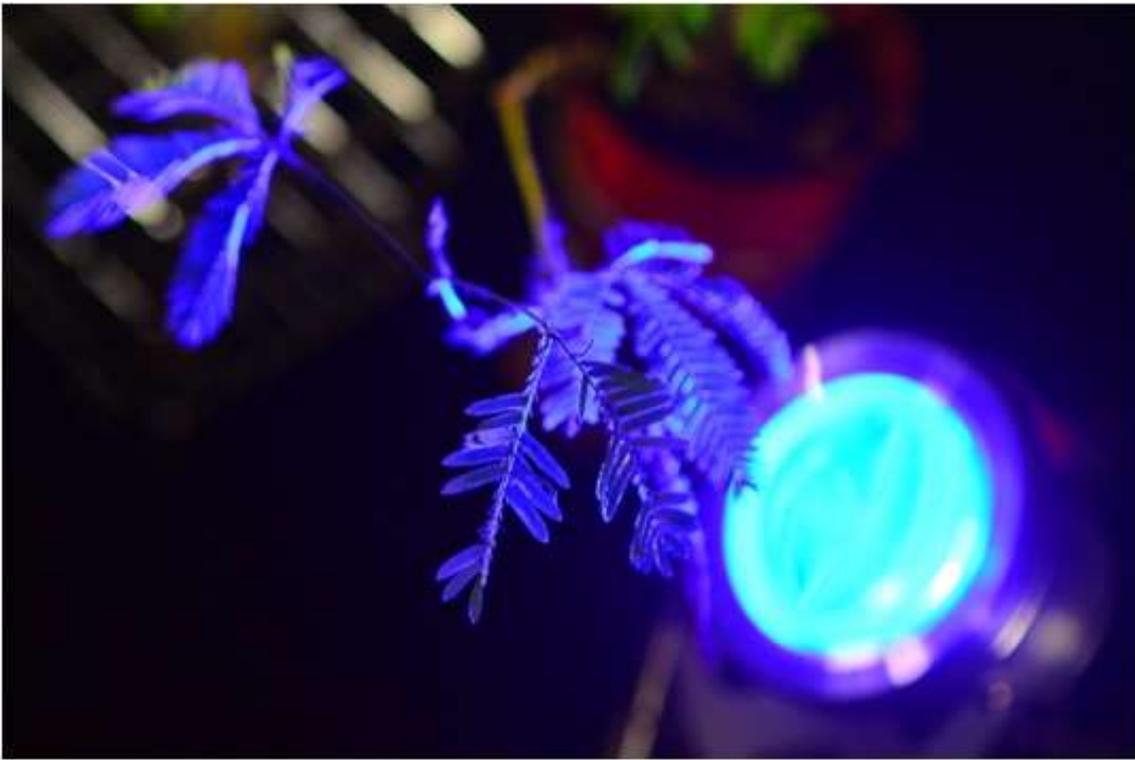
結果五，圖說 2:施灑於葉片上面，30 分鐘後測試，含羞草有 30%達到不反應。

六、加速觸發運動還原?探討是否能控制含羞草加速打開的方式(光、溫度、生物時鐘)



結果六，圖說 1:含羞草復原是整片羽狀複葉由閉合狀態回到全部打開狀態，由副葉柄觸開始延伸復原。

實驗結果與假說:照射藍光或是含有溫度之探照燈 20k 以上，比對照組開始有加速復原的結果，溫度並沒有讓含羞草加速打開得趨勢，而實驗發現溫度高於 35°C，含羞草羽狀複葉反而會延遲打開，推估是含羞草感覺到熱浪傷害而閉合保護(類似遇到火源接近)。



結果六，圖說 2:光線照射葉片處理試驗，照射其正反面都進行分別測試

*實驗限制:另外含羞草約每天17:00左右會有閉合葉片運動,每日清晨約05:40會自動打開,這個現象類似睡眠運動,但是葉柄之葉枕並沒有下垂的現象。

陸、實驗結果與整理表

1. 閉合方式(連鎖)

	尾端	中間施力	葉柄
閉合方向	向葉柄閉合	先向葉柄再向尾短	向 B→A 閉合
閉合速率(片/秒)	約 1.2 秒/片	約 1.2 秒/片	約 1.2 秒/片

2. 含羞草葉片閉合連鎖反應不是由水流動造成

	施力後是連續閉合	蒸散流方向
葉柄到葉尾施力	有	順蒸散流方向, 合理, 可能是水流造成訊息傳遞
葉尾到葉柄	有	逆蒸散流方向, 不合理, 不是由水流造成訊息傳遞
單獨取下培養	有	逆蒸散流方向, 不合理, 不是由水流造成訊息傳遞

說明: 向上閉合順序不符合木質部運送水分施單向原理; 取下一部分含羞草培養後取出燒杯作碰觸使其產生觸發運動, 並沒有發現截斷處有水明顯冒出來。

3. 電位圖測量:

(1) 受傷害時: 長距離傳遞 → 電位要夠大(0.06v 以上累積), 但是速率慢。(文獻說是 VP, 是受傷型的訊號, 維持長久)

(2) 羽狀複葉: 短距離傳遞 → 電位值小(0.005v 左右), 羽狀葉細胞鄰近, 因此速率快。

(3) 主葉柄下垂: 短距離傳遞 → 電位值比單一葉片組大(副葉枕)(0.06V)

(4) 外部控制

乾電池	電漿球	同類植物觸發運動
9V 以上 需要導電凝膠	30-50V 需要導電凝膠	0.04V 需要導電凝膠
可引起羽狀葉片閉合	可以引發多點葉枕以及羽狀複葉閉合	本研究沒有測出引發其他部位觸發運動

4. 適應力累積與類似受器疲勞

(1) 密集連續不間斷且低於閾值電位觸摸可以整合產生反應

(2) 4 分岔之羽狀複葉同時刺激不會造成葉柄下垂, 但是透過電漿球或是火源刺激則可, 意味刺激是傷害性的會引起整體反應, 但是不會引發其他葉柄下垂。

(3) 受器疲勞: 針對同樣刺激(剛好達到閾值的刺激程度)(間斷性)有觀察到不閉合反應, 但是反應變慢之後如果改成其他刺激, 則立即有閉合反應!!

*但是在照度不夠的環境觀察到 → 含羞草選擇降低敏感度 → 可能要先考量光合作用優先

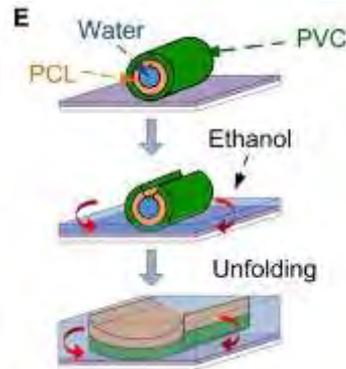
5. 觸發運動能被阻斷: 透過根部澆灑 15% 乙醚半小時後, 透過維管束蒸散流運輸可讓整株含羞草 90% 部位不發聲觸發運動。

6. 促進羽狀葉復原: 藍光或是含有溫度之探照燈 20k 以上, 比對照組開始有加速復原的結果, 溫度並沒有讓含羞草加速打開得趨勢, 而實驗發現溫度高於 35°C, 含羞草羽狀複葉反而會延遲打開

七、本研究的應用探討

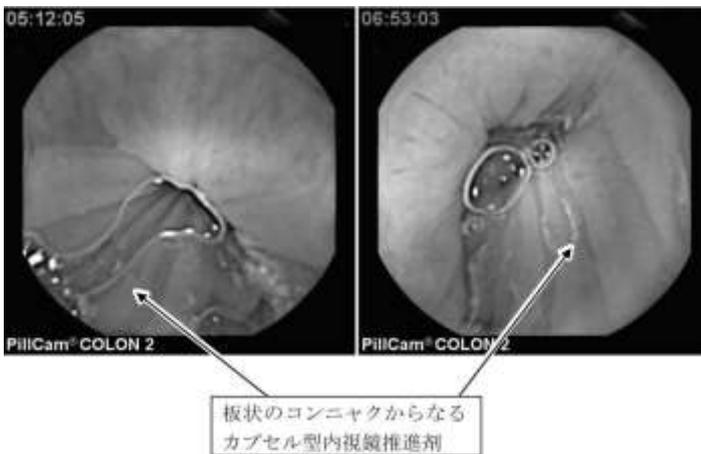
1. 複合材料的研發與應用：**Bionics(仿生物特性)**

(1) 澳大利亞國立大學的 William S.Y. Wong, Antonio Tricoli 副教授與香港城市大學的王鑽開副教授團隊合作，通過雙層結構體的傑納斯 (Janus) 薄膜，發明了一種奇特材料。這材料觸動到水或許其他高表面張力的液體，即時捲起，形成一根微細的管子，同時把液體從滴落的位置急速運輸到特定的終點。



原文網址：<https://knews.cc/science/oyo3e6.html>

(2) 日本奧林巴斯公司的植田康弘研製了一種可以伸到小腸裡的內視鏡，他在內視鏡的筒狀部分使用了一種與含羞草葉片表面結構相似的彈性膜材料，它在腸道流體的壓力下，會沿著軸向自動伸長或彎曲，從而使內視鏡的筒狀部分與腸道保持同一形狀。



<https://astamuse.com/ja/drawing/JP/2014/004/337/A/000002.png>

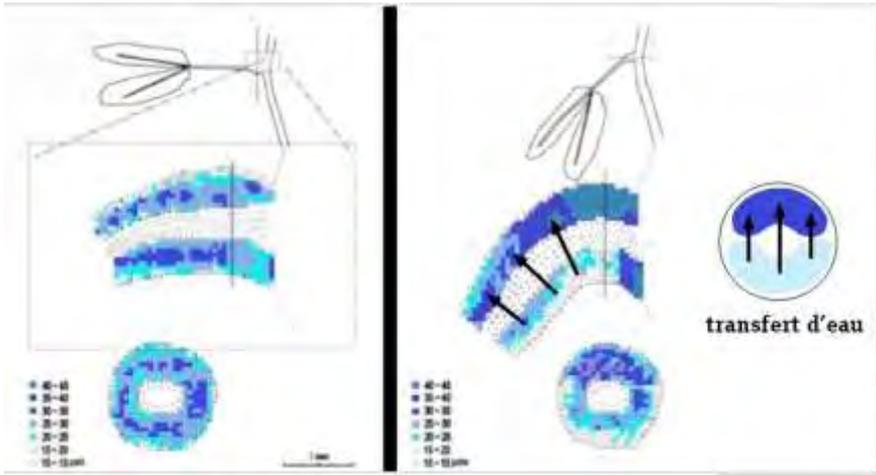
2. 植物對麻醉藥的反應與應用

類似於動物和人類的方式，代表植物將可成為未來測試麻醉藥行為的理想對象。植物細胞可與動物和人類相似的方式對這些化合物作出反應相當有趣，這個結果將顛覆人類在麻藥測試上的既有方法，以往僅能透過動物進行實驗，除了對動物不仁義之外，動物有多變因會導致研究數據不精確，實驗結果產生誤導，未來若可以使用多一種方法，用植物來測試將有機會開發出更好的麻藥。更重要的事，更多動物可以免於麻藥的注射，減少對牠們健康的危害。

柒、實驗討論

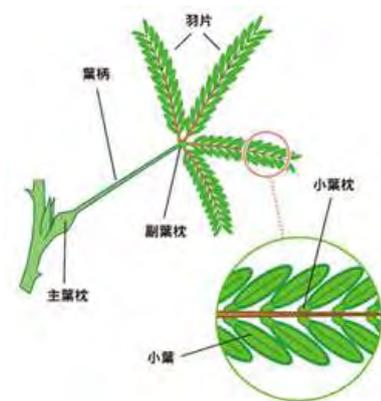
1. **閉合順序與刺激**: 固定刺激點且刺激力道夠大都能產生連續(依序)閉合的現象, 含羞草復原大多從副葉枕端開始。實驗進行至少 20 次以上, 重複測試, 曾發現天氣潮濕或是陰天時, 一樣力道刺激下產生的閉合速率會比較慢。也曾經觀察過下雨天時含羞草受刺激閉合並非一對葉片閉合而是只閉合一邊。

2. **觸發運動後水跑去哪? 水流帶動葉枕細胞依序閉合嗎?** 本研究推論葉枕細胞下方受到刺激後水分不會立即蒸散或是逆流回到木質部或韌皮部。而是進入細胞間隙或是進入另一側的葉枕細胞中。所以不是由水流造成觸發運動訊號傳遞。



3. **電位訊號傳遞與溝通**: 本研究測得含羞草的 AP 以及 VP, 這一類的微弱生物電訊號很容易被外在充滿著 3C 產品的現代化世界所干擾, 通常我們將針灸電極在絕緣輔助架協助, 且不能讓導電電線超過 20cm, 才能收到比較沒受干擾的電位圖。

(1) 在傳導速率方面:



羽狀複葉 依序閉合	短距離傳遞	動作電位值小(0.005v 左右), 羽狀葉細胞鄰近, 因此速率快。
主葉枕 下垂	短距離傳遞	動作電位值比單一葉片組大(副葉枕)(0.06V), 但是不會引起鄰近葉柄下垂。
火源刺激 羽狀葉	長距離傳遞	動作電位要夠大(0.06v 以上累積) 但是速率慢。(文獻說是 VP, 是受傷型的訊號, 維持長久)

(2) **外部輸入電訊號**: 含羞草在這麼大的電流之下, 容易受到傷害(比起對照組容易枯萎)。推測是含羞草所需之外部電壓需很大, 但是通訊時的電流極小, 才能由外部電訊號引起其觸發運動反應。

(3)同類植物的電位引發:同胞植物葉枕細胞受到刺激後，即使測得出動作電位，但是要將其訊號傳達到另一株含羞草葉片，並不容易，推測需要透過類似心電圖的訊號放大器增大訊號才能使另一盆含羞草葉片有所反應。會不會是過多的導電凝膠造成電位被改變？也許是因為導電凝膠含有離子元素並會影響滲透壓？

4. 含羞草也會算數?經驗學習?

(1)有刺激電位不見得會有觸發運動，當刺激未達閾值，有間隔性的機械性施力或是電流，或是溫度刺激，含羞草可能在漫長演化結果中，不做反應，且當連續不間斷低於閾值的輕微刺激5次，含羞草才會有閉合反應。

(2)稍微閾值的刺激或是剛好是閾值的刺激，含羞草是可以做到習慣性的適應而慢慢將葉片再度完全打開，通常需要60-70次的習慣，以時間換算通常是要6-7小時。

(3)為何黑暗中培養的含羞草盆栽(放了2週)對刺激反應比較快適應? 低光度時，可能植物會先考慮到因為光合作用的產物優先，所以對於環境的刺激，不予理會，先以葉片張開進行光合作用，對自己的生存比較有利。

(4)感覺疲勞:受器適應 (receptor adaptation)，相同強度的刺激並非一直可以在同一個受器上產生相同的受氣電位，這是神經生理學上受器的整合 (integration) 能力，視週邊環境的刺激情形，整合後再告知中樞，



5. 含羞草對乙醚的反應:

維管束植物麻醉試驗代替動物:

(1)本研究驗證經過澆於土壤吸收的方式，可讓含羞草90%的羽狀複葉柄達到所謂不反應。由於含羞草的維管束可以連結葉枕細胞以及羽狀複葉葉柄，透過噴灑於土壤的方式，使乙醚從木質部蒸散作用時一併送往目標部位。噴灑於葉片附近，即使乙醚容易揮發從氣孔進入，推測也只進入到葉肉細胞間隙，因此阻斷觸發運動的成效不佳。

(2)葉枕細胞之細胞膜上離子通道: 乙醚會使其通道蛋白失去活性而致使離子流停止，導致細胞膜內外無法形成濃度梯度差，造成水分子在膜內外形成一個進出的動態平衡而無大量流出或流入的現象。

(3)查到的文獻顯示:觸發運動的發生和維管束中的蔗糖有關係，外界刺激會使韌皮部的蔗糖突然快速存放到葉枕細胞附近，使葉枕細胞外蔗糖的濃度劇烈增加，造成水分溢出，導致觸發運動的發生。而當神經阻斷物質被施加於葉片時，可能讓蔗糖的釋放被限制，而使細胞膜內外的濃度沒有差異，因此不會有膨壓變化的發生。(Trees, March 1988, Volume 2, Issue 1, pp 7-17 | Cite as)

(4) 植物和動物對麻醉劑化合物的反應之間的相似之處可能導致未來的研究，在這些研究中，植物可以作為替代模型或測試系統來探索人體麻醉 - 科學家們仍然相當不確定。

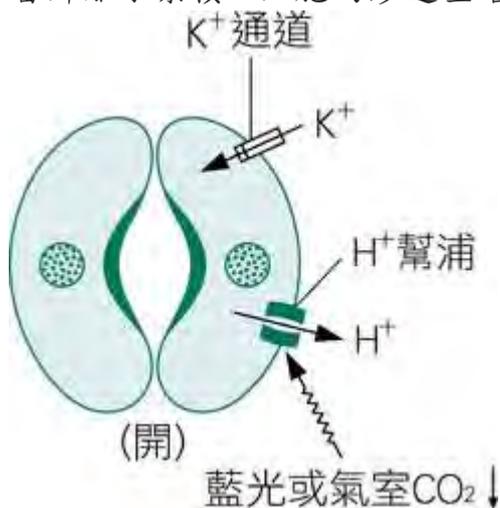
原文網址：<https://kknews.cc/zh-tw/science/nebook2.html>

6. 加速含羞草羽狀葉片還原再打開的藍光：

(1) 含羞草復原是由副葉柄觸開始延伸復原。本實驗復原時間是指羽狀葉又回到原來全開狀態之時間。本實驗透過由距離光源遠近來控制照度值，透過照度計檢測

(2) 照射藍光或是含有溫度之探照燈 20k 以上，比對照組開始有加速復原的結果，溫度並沒有讓含羞草加速打開的趨勢，而實驗發現溫度高於 35°C，含羞草羽狀複葉反而會延遲打開，推估是含羞草感覺到熱浪傷害而閉合保護(類似遇到火源接近)。

(3) 光線刺激保衛細胞：會活化膜上的鉀離子幫浦，使細胞外的鉀離子進入細胞內；當鉀離子累積，細胞的滲透壓增加，於是水分進入保衛細胞內，造成細胞的膨脹。



捌、結論與建議

繼續研究建議：

1. 生物間微弱電流如何有效引起含羞草或是捕蟲植物的反應？
2. 植物的記憶力要如何設計實驗探索之？
3. 加速含羞草打開除了施以照射有暖度的光之外，如果能研發增加根壓的方式，可能也可以加速含羞草再度復原之速率。
4. 捕蠅草的電訊號要如何處理才能有效引發其他膨壓植物的連作運動？
5. 含羞草可以預測地震嗎？土耳其的一位地震學家曾經提出，由於含羞草的感震性比較強，在強烈地震發生幾小時之前，含羞草的葉子會突然萎縮，然後枯萎
6. 植物膨壓運動會產生電訊號，電訊號是否為唯一引發其他鄰近部位產生膨壓反應之方式？

玖、參考資料及其他

壹、中文部分

- 一、劉弘章等(2006)，病是自家生，(2006)，頁數：462，出版地：中國友誼出版公司。
- 二、司特凡諾·曼庫索、阿歷珊德拉·維歐拉，原文作者：Stefano Mancuso、Alessandra Viola(2016)。植物比你想的更聰明。植物智能的探索之旅。出版地：商周出版。
- 三、李家維(2014)。基礎生物(上)。台灣：龍騰文化事業股份有限公司。

貳、網路資源

1. 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
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%86%A8%E5%A3%93%E9%81%8B%E5%8B%95>
2. Gagliano M. et. al., (2014). Experience teaches plants to learn faster and forget slower in environments where it matters. *Oecologia*. 175:63-72
3. Jörg Fromm, Walter Eschrich(March 1988).Transport processes in stimulated and non-stimulated leaves of *Mimosa pudica.*, Volume 2(1), 7-17.
4. www.e-biolearning.com (E-流生化教育網版權所有), www.e-biolearning.com

【評語】 030315

實驗設計發想能妥善運用上課所學，結合實際生活中求證；在實驗結果的分析討論上，能適時與文獻資料相提並論。這是一個有趣的觀察與驗證，同學們針對含羞草遇到刺激所產生的閉合現象，利用電刺激，麻醉，以及光刺激等方式調控含羞草的膨壓作用，看含羞草的閉合訊息是否算是一種經驗學習行為。題目訂得很有趣，另外利用含羞草當作麻醉藥測試的對象是一個有趣的概念，不過(1)需討論植物對於麻醉藥的反應是否可以對應到動物反應，亦即含羞草不產生閉合的反應是否與動物被麻醉因而不會有痛感之間是否有作用機制的相同性，需要進一步探討。(2)在結果部分，資料呈現部份建議需要初步統計呈現其標準差，實驗次數 60 次平均，為可信資料數量，惟資料呈現宜有統計支持。

摘要

KEY WORDS

觸發運動(膨壓)、刺激後電位圖、受器適應(習慣)

Why does a 'Touch Me Not' plant close?



植物有心機？會算數？



含羞草是能被測得類似動物神經細胞傳訊方式(動作電位)的生物!含羞草雖然沒有神經細胞但是仍然可以產生類似的傳遞訊息方式，含羞草運動的膨壓作用啟動訊號之一為電訊號傳遞產生，讓水分往另一側細胞集中，並非水分立即蒸散或是水倒流回根部。外部刺激含羞草達到一定力道後，這個碰觸點會造成羽狀葉片不同的閉合順序。當以外部電流、熱源、led光線以及另一株含羞草都可引起含羞草的閉合或是葉柄下垂反應，在土壤添加乙醚麻醉劑30分鐘之後，含羞草細胞亦會被麻醉而變得反應遲緩或是沒反應，研究後續發現施予20k流明至40k流明的藍色光線時，有助於含羞草葉片加速打開!!

壹、研究動機

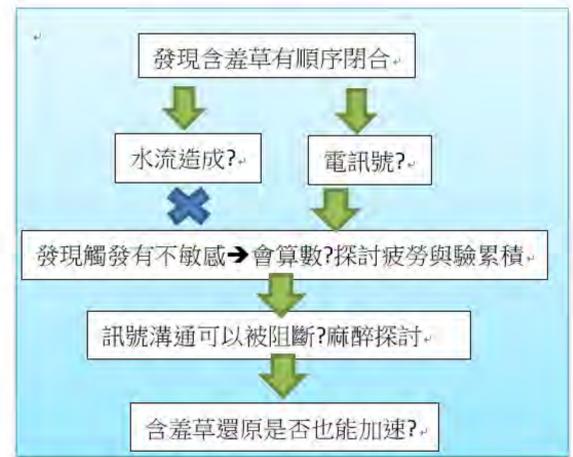
無意中發現含羞草閉合有方向性，我們也好奇使用帶電的尺以及大聲呼喊方式或手機的藍光來觀察含羞草的觸發運動。含羞草所有人一生物老師鼓勵我們作進一步的探究，探究之初我們先廣泛閱讀捕蟲植物以及膨壓運動的最新研究，也包含我們在國一生物課本學到的知識，如受器感覺疲勞、神經訊息的傳導方式(神經衝動)植物的膨壓細胞膜上的離子通道、學習與本能等等？於是我們的研究，就進一步進行實驗設計及研究。

貳、研究目的及文獻探討

一、研究目的

1. 發現問題之初:探討含羞草羽狀複葉觸發運動的啟動順序是有方向性
2. 為何會有順序? 是水的移動引發連鎖反應嗎?
3. 找出觸發運動傳訊原理:探討植物電位變化(心電圖)以及透過外部訊號輸入如何影響(控制)觸發運動
4. 含羞草也會算數?經驗學習? 探討觸發運動之刺激頻率、刺激種類以及受器適應的結果
5. 觸發運動能被阻斷?探搗施以乙醚麻醉劑阻斷含羞草觸發運動
6. 加速觸發運動還原?探討是否能控制含羞草加速打開的方式(光、電、溫度、生物時鐘)
7. 本研究的應用探討

研究順序



二、文獻探討

1. 植物動作電位:科學家發現植物動作電位不只發生在捕蠅草等食蟲植物及含羞草的身上，也出現在一般常見的植物當中，研究紀錄包括蕃茄、玉米、大麥、豌豆、向日葵及阿拉伯芥等等，在被子植物中可說是相當普遍的現象。
2. 葉枕細胞的細胞質中高濃度之鈣離子使氯、鉀二離子流出細胞外，導致細胞內膨壓降低，細胞萎縮，造就含羞草的觸發反應。高濃度的鈣離子激發了 Ca^{2+} -dependent anion channels 導致大量的氯離子流出細胞，使細胞去極化。
3. 植物水運輸:蒸散流在植物體內的運輸方向為單向(南一版自然與科技4-1 4-2單元)
4. 受器疲勞:感覺疲勞是因為受器連續接受刺激，造成受器對該刺激產生疲勞或習慣的現象。(南一版自然與科技5-1單元)
5. 電漿球:實驗測得電漿球玻璃罩表面電壓30-60V，電流約在0.04-0.09之間，具有高電壓以及微弱電流之特色設備。
6. 麻醉與細胞膜受器:無論是局部麻醉劑或是全身麻醉劑，其作用都是阻止神經訊息傳送到中樞神經系統的痛覺中樞。
7. 植物細胞膜電位:液泡內所含的有機和無機物質，它們的濃度高低，決定滲透壓的高低，而滲透壓的高低可以決定水分擴散的方向。當氯離子向細胞內，陽離子向細胞外運送，使得胞膜和鄰近地區保持一定電位差，叫做靜止電位。
8. 植物也會學習? 澳洲的研究團隊做了一個植物的「大怒神」系統，可以讓含羞草在相同的短時間內往下垂直掉落15公分。當含羞草坐完「大怒神」以後，它的葉子會閉合一段時間再慢慢打開；等到它的葉子完全打開以後的5-10秒，再讓它坐一次「大怒神」。期刊上顯示植物會習慣適應環境!!

參、研究材料及設備

2. 研究器材:

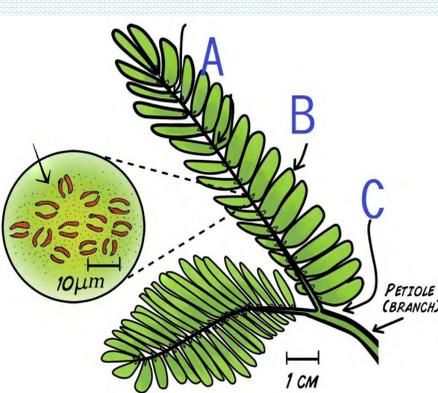
燒杯 鑷子	塑膠罩	乙醚15%	乾電池1, 3, 4號
三相電表	含羞草14盆	電極探測固定位置	照度計(lux)
溫度計	濕度計(如左)	維尼爾數位檢測器(如左)	導電凝膠

電風扇3速	馬達振動器	自走車	低速馬達
起電球	銅線導線 鱷魚夾	針灸探針	
打火機	探照燈5000-10000LUX	雷射光 100mA-200mA	5000-10000LUX

肆、研究方法

實驗一:觸發運動的啟動順序是有方向性。

1. 依據假設:含羞草羽狀葉受到刺激後，將往兩側傳遞此訊息並起動觸發運動。
2. 實驗設計:
 - (1)準備含羞草多盆並隨機挑選羽狀複葉一柄，進行探討
 - (2)透過鑷子夾擊施壓三個部位(A, B, C)
 - (3)觀察記錄葉片閉合順序，並記錄閉合速率
3. 重複此動作數次，歸納分析其閉合順序與方向



實驗二:為何會有順序? 是水的移動引發連鎖反應嗎?

1. 依據假設:蒸散流方向可能是引起閉合順序之原因。
 - 2-1 針對羽狀複葉不同觸發點探討
 - (1)A→C方向(蒸散流方向): 觀察記錄施力後是否有連續閉合? *若順蒸散流連坐反應，水分是否立即蒸散?
 - (2)C→A方向(蒸散流反方向): 觀察記錄施力後是否有連續閉合? *如果有維管束水流動而帶動觸發運動閉合訊號，順向之下垂葉柄勢必有類似泌葉現象?
 - 2-2 順蒸散方向 水會立即蒸散?
 - (1)透過數位檢測器監控頻繁觸發運動後，羽狀葉下方濕度是否與對照組有顯著差異。
 - (2)收集100次數值作分析。

四、研究過程與說明

實驗三：
探討含羞草觸發運動的電訊號傳遞並透過外部電訊號來引發觸發運動

- 實驗假說1:從網路上找到的資料顯示植物的受到刺激後的反應會產生電位並向周遭傳遞開來，並且傳遞速率可能是每秒1-20mm。
- 實驗假說2:外部環境電訊號，熱刺激等，包含其他同胞植物刺激後之電位，可以讓含羞草產生觸發運動。

實驗三-1 刺激與電位圖
1. 安置電極並連接數位檢測儀器
2. 用以下刺激後收集其電位圖
3. 重複試驗檢測是否結果一致



實驗三-2 外部電訊號輸入
1. 安置電極並連接含羞草(葉柄&羽葉)
2. 用電池 電漿球羽同類植物處發電位刺激後收集其電位圖，重複試驗檢測是否結果一致



實驗四：含羞草也會算數?經驗學習? 探討刺激達反應產生之頻率不同刺激源之電位圖(累加刺激)、以及受器適應

- 實驗假說:輕碰羽狀複葉頻率密集情況下才會啟動處發反應
- 實驗假說:隨刺激程度不同會讓含羞草有連坐反應
- 實驗假說:含羞草在演化過程中會適應連續相同的刺激而產生類似受器疲勞現象

- 四之1
- 每秒1-2次輕觸A點
 - 每秒2-3次輕觸A點
 - 每秒3-5次輕觸A點
 - 每秒4-6刺輕觸A點
- 紀錄電位圖以及有產生觸發運動的條件



- 四之2
- 刺激1整片複葉(用力捏於A尾端)
 - 火源刺激(瞬間點火於A尾端)
 - 高電流刺激(0.1A)(施力於A尾端)



- 四之3 重複類型刺激下含羞草的經驗學習:
- 接近閾值刺激，每5分鐘1次，每次10秒。激移除後，觀察葉片沒閉合比例。
 - 適應若發生時立即改其他刺激方式。
 - 分正常光組與低光培養組

*本研究定義一盆含羞草70%羽狀葉沒有反應即達到習慣適應。

刺激種類1	刺激種類2	刺激種類3
震盪器(馬達)	風扇(2速)風力約2.4 m/s	自走車上固定後旋轉

實驗五:觸發運動能被阻斷?透過土壤澆水施以乙醚麻醉劑阻斷含羞草觸發運動

實驗假說:植物細胞對麻醉藥的反應類似於動物和動物的方式，由土壤根部吸入式麻醉效果會優於氣孔吸入式。

	15% 乙醚處理方式
含羞草一盆	噴灑在羽狀複葉，蓋住30分鐘，再觸碰測試
含羞草一盆	澆灑在土壤中，蓋住30分鐘，再觸碰測試
含羞草一盆	無，此為對照組，30分鐘後，再觸碰測試

- 半小時後打開使其通風並測試羽狀複葉與葉枕細胞的反應
- 重複實驗5次驗證是否一樣的結果。
- 藥物處理前需確保含羞草並沒有先因為外力而閉合!!



實驗六:加速觸發運動還原?探討是否能控制含羞草加速打開的方式

- 實驗假說:
- 植物膨壓運動和細胞膜上離子進入調節滲透壓有關；因此假設透過照光可以激活此離子通道(提供能量)可能可以增鉀離子回到細胞之通透性。
 - 已知環境溫度偏高，可能會加速氣孔打開增加蒸散作用，木質部水柱的運速率應該會增快，當水壓提高，可能對失水之副葉枕細胞有加速還原膨壓的效果。

對照組(實驗室內)	Led組(藍光)(照度值)流明(冷光)	探照燈組(光+熱)(照度/溫度)	電暖器(環境/控制35°C-40°C)
照度600-700流明	照度10K	10K/29°C	30°C
室溫25-28度	照度20K	20K/33°C	33°C
氣候=春季	照度30K	30K/36°C	36°C
	照度40K	40K/39°C	39°C



伍、研究結果

實驗一 結果1

	A點	C點	B點
閉合方向	向B →C 閉合	向B→A閉合	先上A閉合向C閉合慢約0.3秒
閉合速率(片/秒)	約1.2秒/片	約1.2秒/片	約1.2秒/片



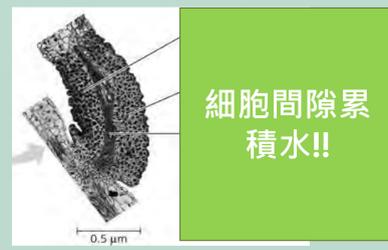
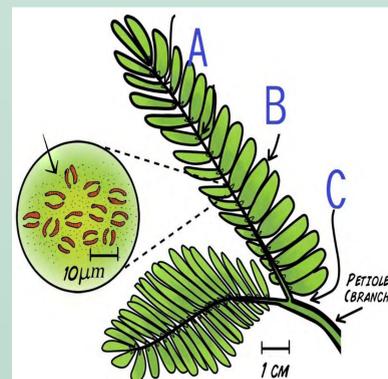
B點觸發後，並沒等速往兩側連鎖反應!

實驗二 結果1

1. C→A方向(蒸散流方向):這依序閉合與蒸散流同向，可能是木質部水流引發→加測水分是否立即蒸散(見實驗2-2)。

2. A→C方向(蒸散流反方向):這也可依序閉合，不過木質部水流方向不會這樣流。

→單獨取下培養，測試觸發後葉柄尾端沒有水珠冒出堆積→因此否決水流是引起羽狀葉依序閉合之原因。



細胞間隙累積水!!

實驗二 結果2

2. 觸發運動後，水分並沒有顯著從蒸散而散逸消失，可能是轉移到細胞間隙。

	實驗組(同一株植物)*連續兩日實驗氣候相似	對照組(同一株植物)*連續兩日實驗氣候相似
鄰近葉片下方空氣濕度監測	67.03 % (60次數據平均)	65.69 % (60次數據平均)

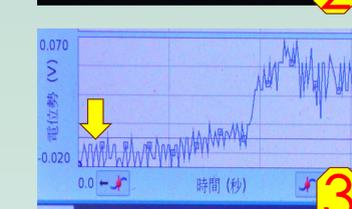
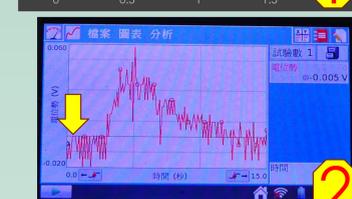
*獨立樣本單因子變異數分析2組獨立樣本間是否有平均數差異，在本例中，F檢定後的結果，顯著性p值=0.988>0.05

實驗三 結果1

收集含羞草受刺激後之電位變化圖，主要測得有三類:

- 單組羽狀小葉柄 輕觸羽狀葉後，收得之電位圖
- 主葉柄葉枕細胞(產生下垂反應時) 刺激觸碰葉柄後，葉柄下垂之電位圖
- 火源刺激羽葉尾端(羽狀葉閉合加上8秒後葉柄下垂) 從羽狀葉受刺激傳來的變異電位圖

*黃色箭頭代表施予刺激，X軸代表時間
*每一類實驗重複5次，發現電位圖均類似。



實驗三 結果2

3-2 外部電訊號輸入啟動觸發運動反應

1. 串聯乾電池(只能引發2-3葉柄觸發)
2. 電漿球(能引發6以上葉柄觸發運動)
3. 同類植物產生之電位(無反應)

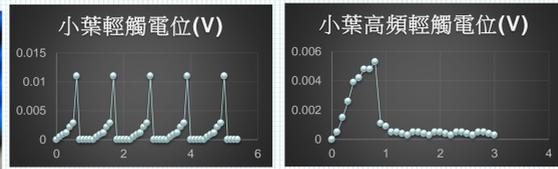


實驗四 結果1

會算數的條件:

每一秒1次輕輕刺激，並沒有造成閉合現象(有電位圖產生，如下圖左)

每一秒連續刺激2-3下，含羞草產生閉合(有電位圖產生，如下圖右)，超過此頻率皆同



實驗四 結果2

不同類型刺激:

	鏢子施力	火源刺激	電流刺激 (0.1A)
是否連坐	無	有	有
葉枕下垂	無	有	有

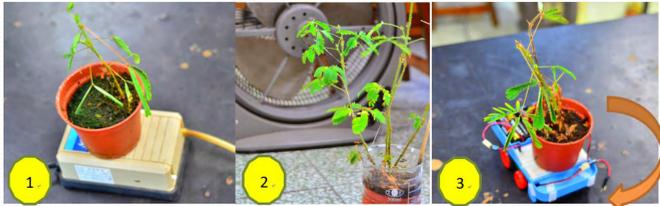


實驗四 結果3

會適應習慣(類似疲勞):

	震盪器	風扇(2速)	自走車旋轉
刺激移除後觀察葉片閉合比例	正常光→約70-76次 低光培養→約43-49次	正常光→第45-54次 低光培養→約32-37次	正常光→第75-82次 低光培養→約35-43次
適應若發生時立即改其他刺激	改成風速→立即又有反應	改成震盪器→立即又有反應	改成風速→立即又有反應

*每5分鐘刺激10秒觀察，70%無閉合即判斷適應
*持續做5天 取平均數值。



實驗五 結果

觸發運動能被阻斷?

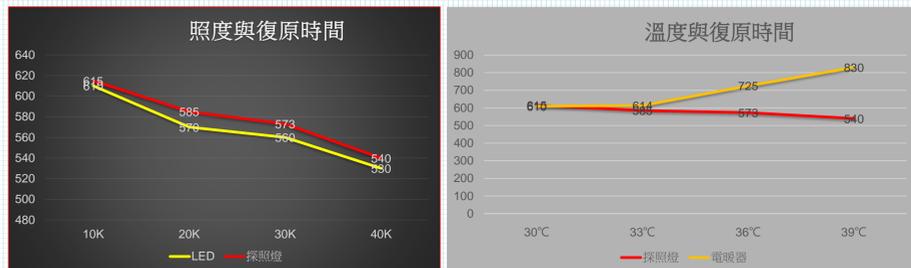
	15% 乙醚處理方式	反應紀錄
含羞草一盆	噴灑在羽狀複葉，蓋住30分鐘	羽狀複葉有30%阻斷效果
含羞草一盆	澆灑在土壤中，蓋住30分鐘	羽狀複葉有90%阻斷效果
含羞草一盆	對照組	都有閉合反應

*在含羞草復原後重複實驗5次，取平均值。



實驗六 結果

含羞草閉合後能加速還原嗎?



含羞草約每天17:00左右會有閉合葉片運動(生物鐘)

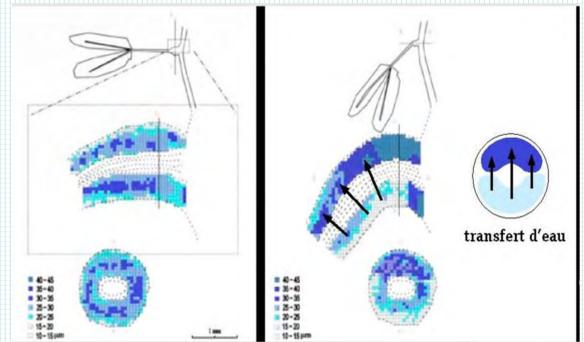
陸、討論

討論一

閉合順序與刺激: 固定刺激點且刺激力道夠大都能產生連續(依序)閉合的現象，含羞草復原大多從副葉枕端開始。實驗進行至少20次以上，重複測試，曾發現天氣潮濕或是陰天時，一樣力道刺激下產生的閉合速率會比較慢。也曾經觀察過下雨天時含羞草受刺激閉合並非一對葉片閉合而是只閉合一邊。

討論二

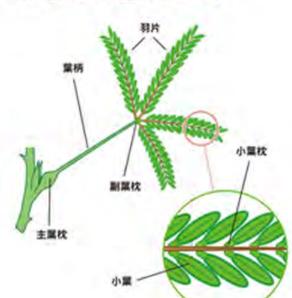
觸發運動後水跑去哪?水流帶動葉枕細胞依序閉合嗎? 本研究推論葉枕細胞下方受到刺激後水分不會立即蒸散或是逆流回到木質部或韌皮部。而是進入細胞間隙或是進入另一側的葉枕細胞中。所以不是由水流造成觸發運動訊號傳遞。



討論三

3. 電位訊號傳遞與溝通: 本研究測得含羞草的 AP 以及 VP，這一類的微弱生物電訊號很容易被外在充滿著 3C 產品的現代化世界所干擾，通常我們將針灸電極在絕緣輔助架協助，且不能讓導電電線超過 20cm，才能收到比較沒受干擾的電位圖。

(1) 在傳導速率方面:



羽狀複葉依序閉合。	短距離傳遞。	動作電位值小(0.005v 左右)，羽狀葉細胞鄰近，因此速率快。
主葉枕下垂。	短距離傳遞。	動作電位值比單一葉片組大(副葉枕)(0.06V)，但是不會引起鄰近葉柄下垂。
火源刺激羽狀葉。	長距離傳遞。	動作電位要夠大(0.06v 以上累積)但是速率慢。(文獻說是 VP，是受傷型的訊號，維持長久)。

討論四

1. 有刺激電位不見得會有觸發運動，當刺激未達閾值，有間隔性的機械性施力或是電流，或是溫度刺激，含羞草可能在漫長演化結果中，不做反應，且當連續不間斷低於閾值的輕微刺激4-5次(每秒)，含羞草才會有閉合反應。
2. 接近閾值的刺激或是剛好是閾值的刺激，含羞草是可以做到習慣性的適應而慢慢將葉片再度完全打開，通常需要60-70次的習慣，以時間換算通常是要6-7小時。
3. 為何黑暗中培養的含羞草盆栽(放了2週)對刺激反應比較快適應? 低光度時，可能植物會先考慮到因為1光合作用的產物優先，所以對於環境的刺激，不予理會，先以葉片張開進行光合作用，對自己的生存比較有利。

討論五

葉枕細胞之細胞膜上離子通道: 乙醚會使其通道蛋白失去活性而致使離子流停止，導致細胞膜內外無法形成濃度梯度差，造成水分子在膜內外形成一個進出的動態平衡而無大量流出或流入的現象。

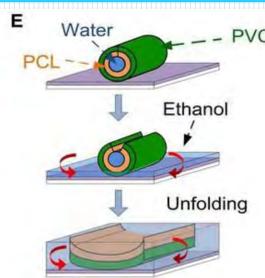
討論六

光線刺激保衛細胞原理: 會活化膜上的鉀離子幫浦，使細胞外的鉀離子進入細胞內；當鉀離子累積，細胞的滲透壓增加，於是水分進入保衛細胞內，造成細胞的膨脹。

討論七

本研究的應用探討:

1. 含羞草效應之科技管發明
2. 植物對麻醉藥的反應與應用(減少殺害動物)



柒、研究結論與建議

結 論

建 議

1. 含羞草有依序閉合現象。可以產生類似的傳遞訊息方式
2. 含羞草運動的膨脹作用啟動訊號之一為電訊號傳遞產生，讓水分往另一側細胞集中
3. 外部電流、熱源、光線也可引起電位圖產生觸發運動；含羞草觸發運動會因為連續相同程度的刺激而不敏感，類似習慣適應。
4. 若在土壤添加乙醚麻醉劑15%，30分鐘之後，含羞草細胞亦會被麻醉而變得反應遲緩或是沒反應。
5. 施予20k流明至40k流明的藍色光線時，有助於含羞草葉片再復原的速率!

1. 生物間微弱電流如何有效引起含羞草或是捕蟲植物的反應?
2. 植物比較像是機器人—它們不能從經驗中吸取教訓或者改變行為(即記憶力)，植物習慣適應可能是演化的結果，此論點可以繼續探討!!
3. 加速含羞草打開除了施以照射有暖度的光之外，如果能研發增加根壓的方式，可能也可以加速含羞草再度復原之速率。
4. 捕蠅草的電訊號要如何處理才能有效引發其他膨脹植物的連作運動?
5. 含羞草可以預測地震嗎?土耳其的一位地震學家曾經提出，由於含羞草的感震性比較強，在強烈地震發生幾小時之前，含羞草的葉子會突然萎縮，然後枯萎...

捌、參考資料

壹、中文部分

一、劉弘章等(2006)，病是自家生，(2006)，頁數：462，出版地：中國友誼出版公司。

二、司特凡諾·曼庫索、阿歷珊德拉·維歐拉，原文作者：Stefano Mancuso、Alessandra Viola(2016)。植物比你想的更聰明。植物智能的探索之旅。出版地：商周出版。

三、李家維(2014)。基礎生物(上)。台灣：龍騰文化事業股份有限公司。