
聲音震動刺激對鍾萼豆(跳舞草) 小葉擺動之研究

陳稚勳¹ 林映君² 郭瓊華³ 林獻升^{3*}

¹私立大同大學 電機工程學系

²私立臺北醫學大學 公共衛生學系

³臺北市立麗山高級中學

前言

鍾萼豆 (*Codariocalyx motorius*) 屬多年生木本豆科植物，其特殊之處在於小葉會對外界的聲音有所感應而擺動，故又名「跳舞草」。本實驗以訊號產生器固定聲音強度，發出 2、4、6、8、10 KHz 不同聲頻之聲波刺激鍾萼豆，並以 5 秒為單位紀錄小葉擺動角度之變化，分析其擺動週期、擺動幅度及擺動速率等不同的變化。實驗結果為鍾萼豆小葉之擺動週期、擺動振幅及擺動速率會隨著聲音頻率的增加而呈現「週期性」變化，4 KHz 時週期最大，6 KHz 時震幅最大，8 KHz 時速率最大。

壹、研究動機

在一次偶然的機會下，發現新聞報導了一種會隨著聲音而擺動葉片的神奇植物-跳舞草。經過我們調查，跳舞草較正式的名稱為鍾萼豆 (*Codariocalyx motorius*) (圖 1)，屬多年生木本豆科植物，當植株長到 15 公分以上，葉柄上長出三片葉時，

對聲音刺激敏感並會產生行為反應，如葉片旋轉、擺動等行為。也就是說，只要鍾萼豆身邊有聲音存在，不管是人的聲音或是音樂聲，鍾萼豆的小葉都會產生「擺動」的反應。

在自然環境中，能夠對外界刺激產生行為反應的植物，像捕蟲植物或是含羞草等，高中二年級的生物課程中有提到，含羞草葉片受到外力刺激時，會引起葉枕細胞失水，膨壓下降，使得葉片下垂(圖 2)。相同地，鍾萼豆的葉片也會對環境刺激產生行為反應，但不同之處則是對「聲音」產生反應。這引起我們的好奇，聲音的這種刺激是怎麼樣引起鍾萼豆小葉跳動呢？另外，「聲音」可分為強度與頻率兩種因子，這種差異又對小葉擺動有何影響？

因此我們設計一個實驗，利用不同頻率的聲音去刺激鍾萼豆，來瞭解小葉擺動的狀況，並且試著思考可否利用此實驗成果來設計一簡單的實驗教材，來輔助生物課本中對於植物行為的知識概念，讓高中學生更容易學習植物的「傾性」(nastic)行為。

* 為本文通訊作者



圖 1、鍾萼豆

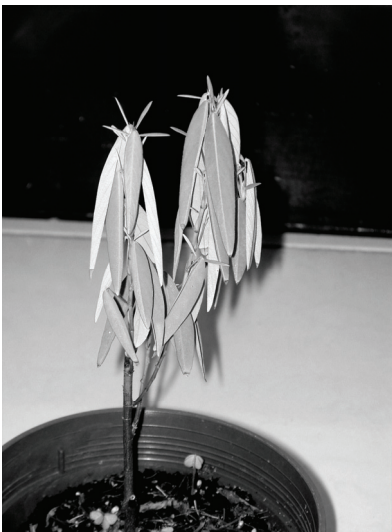


圖 2、鍾萼豆小葉閉合時

貳、研究目的

一、探討問題

- (一) 不同頻率聲音刺激，對鍾萼豆小葉擺動反應影響為何？
- (二) 此行為的反應結果如何應用在高中生物課程的教學上？

二、研究目的

- (一) 瞭解聲頻訊號刺激對鍾萼豆小葉擺動之影響。
- (二) 計算不同頻率刺激下，小葉擺動之週期 (period)、振幅 (amplitude) 及速率 (rotational speed)。
- (三) 將本實驗結果與高中生物課本常介紹的植物膨壓運動作比較，如「聲音」的刺激與「觸碰」的刺激，兩者對引起膨壓運動的差異。
- (四) 應用此實驗結果，可使教師於教學時結合聲音的物理學概念，將植物的膨壓運動作另一番不同的介紹，加深學生學習的印象，並達到跨領域的科學學習。

參、研究設備及器材

一、實驗物種：鍾萼豆

(*Codariocalyx motorius*)

- (一) 分類：多年生豆科植物，又稱跳舞草、情人草、無風自動草、多情草、風流草。
- (二) 分佈：鍾萼豆的分佈範圍，包括福建、江西、廣東、廣西、四川、貴州、雲南及台灣等地區，生於海拔 200—1500 公尺的丘陵山坡或山溝灌叢中。原產地為雲南西雙版納中的原始森林，台灣也有分布，是一種世界上瀕臨絕跡的珍稀植物。
- (三) 特徵：鍾萼豆外形呈蝶形，為直立小灌木，高約 60 厘米左右，各枝葉柄上長有 3 枚葉片，頂生一大葉，側生一對小葉 (圖 3)。

(四) 行為：鍾萼豆的葉片兩側生有大量的線形小葉（圖 4），且對聲波非常敏感，在氣溫不低於 22℃時，特別是在陽光下，受到聲波刺激時會隨之連續不斷地上下擺動（圖 5、6），猶如飛行中輕舞雙翅的蝴蝶，又似舞台上輕舒玉臂的少女，因此而得名。



圖 3、大葉與小葉



圖 4、各枝葉柄



圖 5、擺動差距一



圖 6、擺動差距二

二、實驗器材：

- (一) 培養植物器材：花盆、肥料、泥土、噴霧器
- (二) 聲音刺激實驗器材：頻率產生器（見封底圖 7）、喇叭（見封底圖 8）、DV 攝影機(V8)（見封底圖 10）

肆、研究過程與方法

一、植物取得

自彰化縣植物種植場（康家田莊）取得七株高約 45 公分之植株，以進行實驗。

二、實驗流程

- (一) 將信號產生器之音頻設定在特定的頻率，如 2、4、6、8、10 KHz 等（見封底圖 7）
- (二) 將植株設置在距離發出聲音的音箱 10 公分之處（見封底圖 9）
- (三) 選取大小相同的小葉進行實驗
- (四) 開啓音箱之電源，開始刺激鍾萼豆之小葉
- (五) 以 D V 攝影機記錄小葉擺動情形，本次實驗至少紀錄 3 分鐘（見封底圖 10）
- (六) 將影片轉錄成數位影音檔案(mpg)，利用電腦軟體 E-roller 播放檔案

- (七) 以每五秒為一間距，進行小葉擺動角度的測量，連續紀錄至錄影結束（見封底圖 11）
- (八) 將數據記錄在 Excel 中，進行統計、分析：擺動週期、擺動頻率和擺動速率等資料

三、數據定義

- (一) 小葉擺動週期、擺動頻率和擺動速率的計算方法（圖 12）

1. 擺動週期（period）

- (1) 概念：擺動週期為小葉週期擺動一次之時間值
- (2) 算法：取週期函數上之兩波峰 A、B 點，波峰之間之時間差即為擺動週期
- (3) 單位：秒/次

2. 擺動振幅（amplitude）

- (1) 概念：擺動振幅為小葉之最大擺動角度

- (2) 算法：定位出週期函數之水平軸，波峰或波谷距離水平軸之距離即為擺動振幅

- (3) 單位：度

3. 擺動速率（rotational speed）

- (1) 概念：擺動速率為單位時間內小葉擺動之角度
- (2) 算法：將小葉最大擺動角度除以運動時間即可得知
- (3) 單位：度/秒

四、數據取樣及平均數據

為去除個體差異，每項實驗進行時將選取 3 株不同之鍾萼豆進行實驗；而為了去除小葉之間的差異，一株鍾萼豆隨機選取 3 片長度相同之小葉進行實驗。而總數據便為 3 株鍾萼豆 × 3 片小葉 共 9 筆數據進行統計分析。

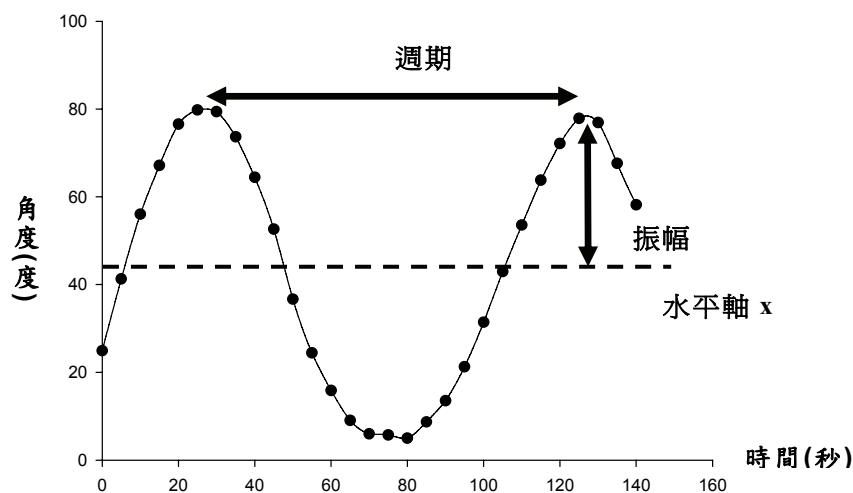


圖 12、鍾萼豆小葉擺動週期與擺動振幅之計算方法示意圖。
圖中的黑點表示小葉擺動時角度測量的紀錄數據。

伍、研究結果

一、不同頻率刺激下鍾萼豆小葉擺動之情形

由圖 13 實驗數據得知不同株鍾萼豆小葉擺動情形：不同頻率的聲音刺激鍾萼豆，小葉擺動的結果曲線非常類似，都會有一個週期性的極大值與極小值。小葉整個擺動過程如下：聲音刺激後，小葉會由起始點往上(下)擺動至最大角度後，會再回復至起始點，接著往下(上)擺動至最大角度，再回復至起始點，週而復始的擺動，直到聲音停止後就停止擺動。由表一實驗數據得知不同株鍾萼豆在不同頻率下的擺動週期：同一次頻率的聲音刺激不同株鍾萼豆，或不同頻率刺激同一株鍾萼豆，小葉擺動週期均有些差異，這些差異可能與植物本身狀況或實驗當時的環境因素有關。

表一、不同頻率的聲音刺激下，不同株鍾萼豆小葉擺動週期（秒/次）之比較表。

植株編號	2KHz	4KHz	6KHz	8KHz	10KHz
1	93	--	85	60	115
2	112	--	--	--	--
3	97	--	--	--	--
4	--	95	115	90	120
5	--	170	155	110	145
6	--	145	130	110	125

表二、不同頻率的聲音刺激下，鍾萼豆小葉擺動週期、振幅與速度之比較表。

頻率	2 KHz	4 KHz	6 KHz	8 KHz	10 KHz
擺動週期 (秒/次)	100.67±10.02	136.67±38.19	121.25±29.26	92.50±23.63	126.25±13.15
擺動振幅 (度)	37.41±0.08	40.18±6.03	45.23±7.26	39.59±3.59	41.60±5.06
擺動速率 (度/秒)	1.487	1.176	1.492	1.712	1.318

二、不同頻率刺激對鍾萼豆小葉擺動週期之影響

由表二實驗數據得知：當頻率為 2KHz 時，平均擺動週期為 100.67±10.02 秒；當頻率為 4KHz 時，平均為 136.67±38.19 秒；當頻率為 6KHz 時，為 121.25±29.26 秒；當頻率為 8KHz 時，為 92.50±23.63 秒；當頻率為 10KHz，為 126.25±13.15 秒。將不同頻率的平均數據繪製成圖 14 得知：小葉的擺動週期會隨著不同頻率刺激而產生週期性的變化，在 4KHz 刺激時，有最大的擺動週期；在 8KHz 刺激時，有最小的擺動週期。

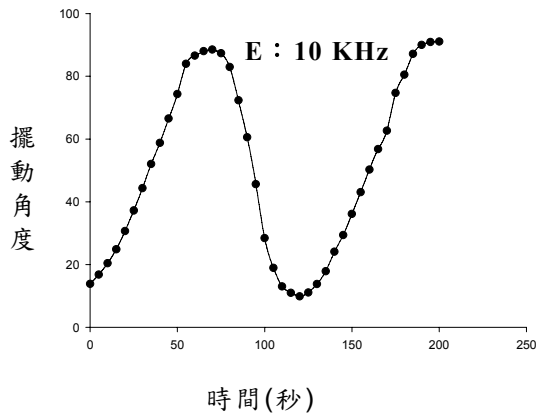
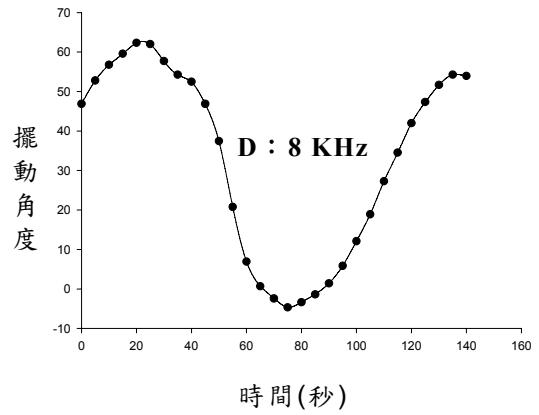
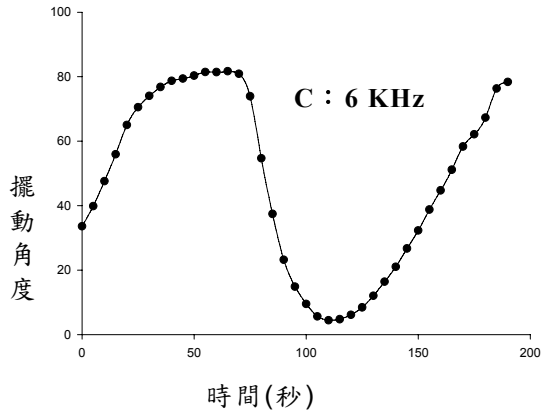
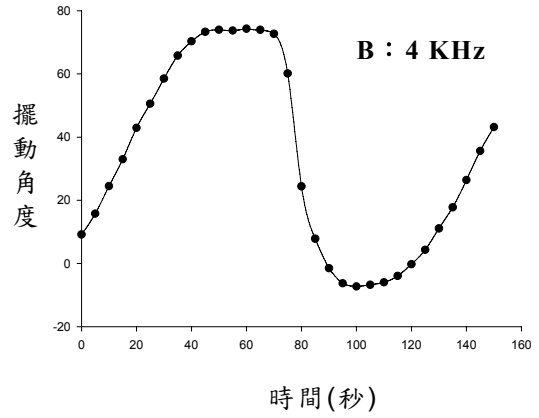
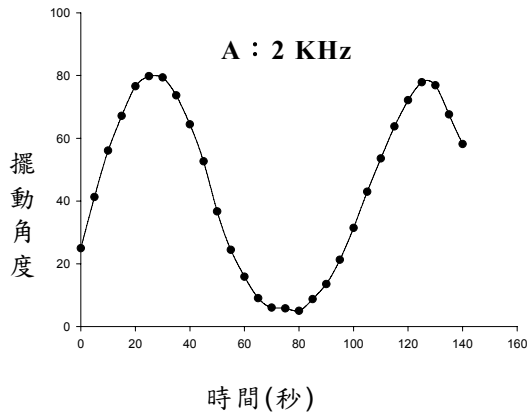


圖 13、不同頻率的聲音刺激下，鍾萼豆小葉擺動角度之比較圖。(A 至 E 圖曲線中的黑點均為實驗數據的平均值)

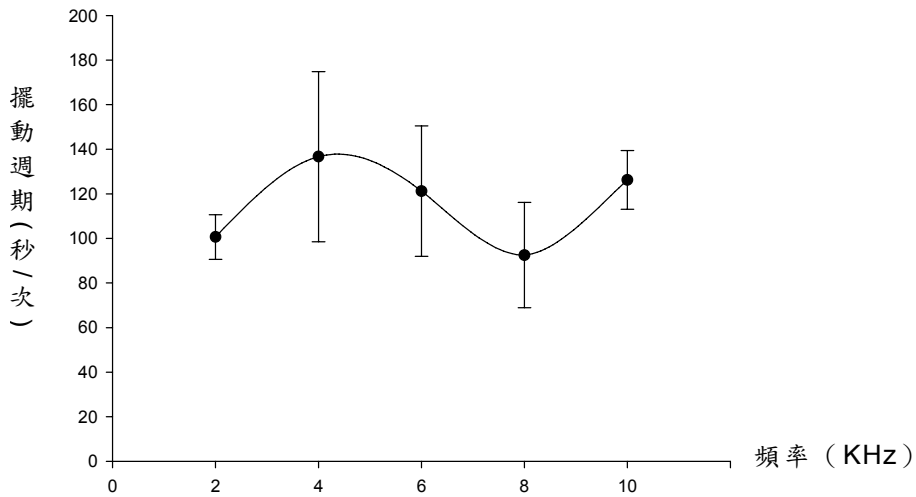


圖 14、不同頻率的聲音刺激下，鍾萼豆小葉擺動週期之變化圖。
數據呈週期性變化，4KHz 刺激時有最大的擺動週期。

三、不同頻率刺激對鍾萼豆小葉擺動振幅之影響

由表二實驗數據得知：當頻率為 2KHz 時，平均擺動振幅為 37.41 ± 0.08 度；當頻率為 4KHz 時，為 40.18 ± 6.03 度；當頻率為 6KHz 時，為 45.23 ± 7.26 度；當頻率為 8KHz 時，為 39.59 ± 3.59 度；當頻率為 10KHz，為 41.60 ± 5.06 度。將不同頻率的平均數據繪製成圖三得知：小葉的擺動震幅會隨著不同頻率刺激而產生週期性的變化，在 6KHz 刺激時，有最大的擺動震幅；在 2KHz 刺激時，有最小的擺動震幅。

四、不同頻率刺激對鍾萼豆小葉擺動速率之影響

由表二實驗數據得知：當頻率為 2KHz 時，平均擺動速率為 1.487 度/秒；

當頻率為 4KHz 時，為 1.176 度/秒；當頻率為 6KHz 時，為 1.492 度/秒；當頻率為 8KHz 時，為 1.712 度/秒；當頻率為 10KHz，為 1.318 度/秒。將不同頻率的平均數據繪製成圖 15 得知：小葉的擺動震幅會隨著不同頻率刺激而產生週期性的變化，在 8KHz 刺激時，有最大的擺動速率；在 4KHz 刺激時，有最小的擺動震幅。

五、不同頻率刺激對鍾萼豆小葉擺動之影響

綜合以上的實驗數據，可知不同頻率的聲音刺激對鍾萼豆小葉擺動之影響：小葉之擺動週期、擺動振幅及擺動速率會隨著聲音頻率的增加而呈現「週期性」變化，4 KHz 時擺動週期最大，6 KHz 時擺動震幅最大，8 KHz 時擺動速率最大。

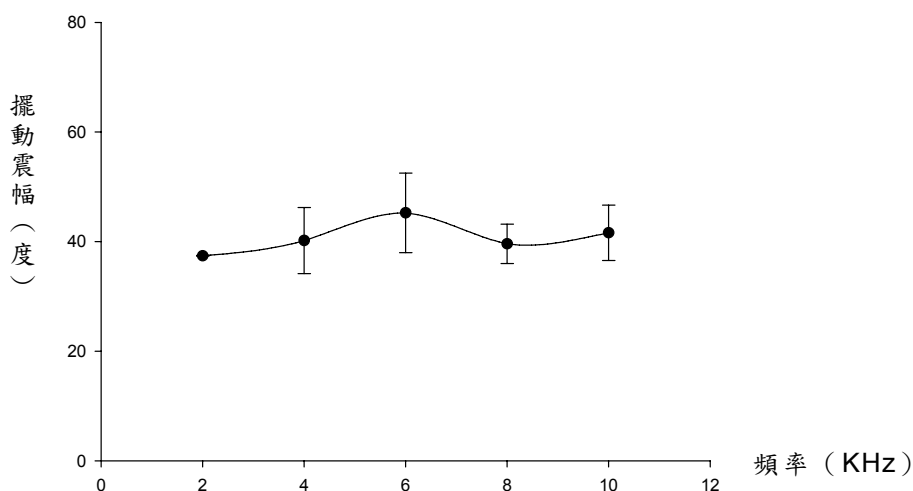


圖 15、不同頻率的聲音刺激下，鍾萼豆小葉擺動震幅(最大角度)之變化圖。
數據呈週期性變化，6KHz 刺激時有最大的擺動震幅。

陸、討論

一、不同頻率的聲音刺激下小葉擺動情形之比較

由圖 13A 至 E 可得知不同聲頻刺激下小葉擺動的情形大致相同，都會擺動至最高點後，再往下擺動至最低點，雖然大致擺動情形類似，但是各頻率之間又有些差異。此外，擺動速率的曲線與擺動週期的曲線呈相反的趨勢，8 KHz 刺激下，擺動速率達最大，擺動週期為最小；而當 4KHz 刺激時，擺動速率最小，但此時擺動週期最大（圖 14、16）。這是由於擺動週期為小葉週期擺動一次之時間值，而擺動速率為單位時間內小葉擺動之角度，所以當擺動速率達最大值時，擺動週期相對就會達到最小值。而擺動震幅雖然也有週期性的變化，但是變化幅度不大，各頻率的平均值相當接近（圖 16），因此不同頻率的聲

音刺激，對於小葉擺動的週期與速率較有影響，而震幅影響則不明顯。

二、小葉反應現象：端點滯留區

以不同音頻刺激鍾萼豆之小葉，觀察擺動的過程之中，發現當小葉擺動至最高點時會有一小段的停滯期，小葉不會隨著時間擺動。比較不同頻率的聲音刺激，發現滯留期有不同的長短時間，但小葉擺動至最低點時並不會有滯留反應。以圖 13C 為樣本觀察後發現，以音頻 6 KHz 去刺激鍾萼豆小葉時，在最高點 73 度時停留了大約 25 秒的時間，而在最低點 -7.29 度時並沒有明顯的滯留現象。也就是說鍾萼豆本身是以「最高點滯留 → 往下擺動 → 最低點 → 往上擺動 → 最高點滯留」這樣的行為模式來進行擺動反應。Engelmann and Antkowiak (1988) 他們在論文中提到，在小葉的上方（上細胞）與下方（下細胞）

各有一群葉枕細胞以進行擺動行為（圖 17），首先上細胞填充鈣離子，直到臨界濃度時，水份開始進入，上細胞膨脹。當上細胞對小葉之壓力大於下細胞對小葉之壓力時（圖 17-1），便將小葉往下壓迫，型成「往下擺動」的動作。往下擺動至最低點後，上細胞產生去極化現象，細胞中的鈣離子釋出，水分隨之流出，膨壓變小，細胞逐漸萎縮；此時下細胞對小葉之壓力大於上細胞對小葉之壓力（圖 17-2），因此小葉便藉由下細胞之壓力逐漸往上擺動。當抵達最高點時，小葉停止擺動，準備進行下一次的週期運動。而所謂的「滯留時間」便是指自小葉停止擺動直到小葉再度開始擺動之經歷時間，其生理反應如下：一開始，鈣離子進入細胞內，當到達臨界濃度時，水份開始進入，細胞逐漸膨脹，直到上細胞的膨壓大於下細胞時，小葉才會開始轉動，在此之前小葉會停滯不動，所以才會有停滯現象的產生 (Engelmann and Antkowiak, 1988)。

三、小葉擺動週期、震幅與速率為何呈現週期性變化？

人類感應聲音刺激主要是聲波震動中耳鼓膜，藉由三小聽骨將波動傳遞耳蝸內的聽覺受器，再轉換成神經訊號傳至大腦聽覺區，產生聽覺。鍾萼豆受到聲音的非接觸性刺激會產生小葉上下擺動現象，但植物怎麼樣感應到聲音的刺激呢？我們推測可能是聲波震動某一特殊感應部位，而產生葉枕細胞膨壓的改變，進而引發小葉擺動現象，這個推論可由小葉受到不同頻率的聲音刺激而產生的擺動，其擺動的

週期、速率都呈現週期性的變化而得到一些佐證（圖 14、15、16）。我們推測這種週期性變化是鍾萼豆體內應有一個聲音接受器或共振體，當刺激的聲音達到某一頻率時，會使得這個接受器產生「共振反應」（類似一個音叉發聲後共振使另一個音叉產生震動），使得鈣離子進入葉枕細胞速度達到最大值，造成擺動速率最大。這個頻率我們由實驗數據表二與圖五推測為 8 KHz 的整數倍（此頻率的聲音刺激小葉造成的擺動速率最快），因此我們實驗未來的延伸為作更多的頻率（16 KHz、24 KHz 等）刺激，若是小葉擺動週期、速率會隨著刺激頻率的增加而反覆出現週期性的變化，則植物體內可能會有一個共振體來感應聲音的刺激。

四、小葉的反應現象：傾性反應

在高中生物課程中有介紹植物對於環境刺激的反應主要有兩大類，一是向性反應（tropism），一是傾性反應（nastic）。向性反應通常會涉及到植物生長方向的改變，與植物激素有關，如向光性、向地性等；而傾性反應是指植物受到外界刺激後，並不表現特定生長方向的改變，如植物的睡眠運動與觸發運動，傾性反應通常與葉柄基部的葉枕細胞膨壓的改變有關。本實驗中鍾萼豆的小葉受到聲音的刺激，會產生週期性的擺動現象，這擺動反應與刺激方向無關，也不涉及到植物的生長，因此我們認為此反應為「傾性反應」。鍾萼豆的小葉傾性反應與一般常見的含羞草的觸發運動等反應又不太相同，小葉的擺動

是受到「非接觸性」的聲音刺激所產生的運動，與觸發運動的「接觸性」觸碰刺激反應不同（「非接觸性」意思是指不用真正接觸到植物體也會刺激葉枕細胞產生膨壓的改變）。此外，含羞草的觸發運動小葉閉合後運動就停止，而跳舞草的小葉只要聲音刺激沒有停止，是可以持續地上、下擺動。因此我們認為「非接觸性」與「持續運動」這兩點是在以往「植物傾性」的生物教材中所沒有提到的。故我們的實驗可以提供生物教師在教導「植物傾性」另一個不錯的教案，其優點如下：（一）跳舞草植株取得相當容易；（二）含羞草小葉閉合後運動即停止，但聲音刺激跳舞草小葉所引發的週期性的上下擺動反應，較容易引起學生的興趣；（三）結合聲音的「物理學」

知識，可以讓學生思考，與課本上的案例比較，訓練學生的跨領域學習與統整的能力。

柒、參考資料

- 王萱、邱邵文、鄭如、盧韻如，2002，樂乎舞雩-音樂與舞草。中華民國第四十二屆中小學科學展覽會高中組生物科。
- 呂光洋、周德源、黃啓欣、林英子、胡苓芝、林聰慧、孫蘭芳，2005、生物。南一書局，P.77-83
- 鄭湧涇、楊榮祥、林金盾、曾哲明、李麗敏、許美蓮、廖達珊、薛如娟，2003，生命科學上冊。康熙書局，p.72-73。
- Engelmann, W. and B. Antkowiak. 1988. Ultradian in Desmodium. Chonobiology International 15:293-307.

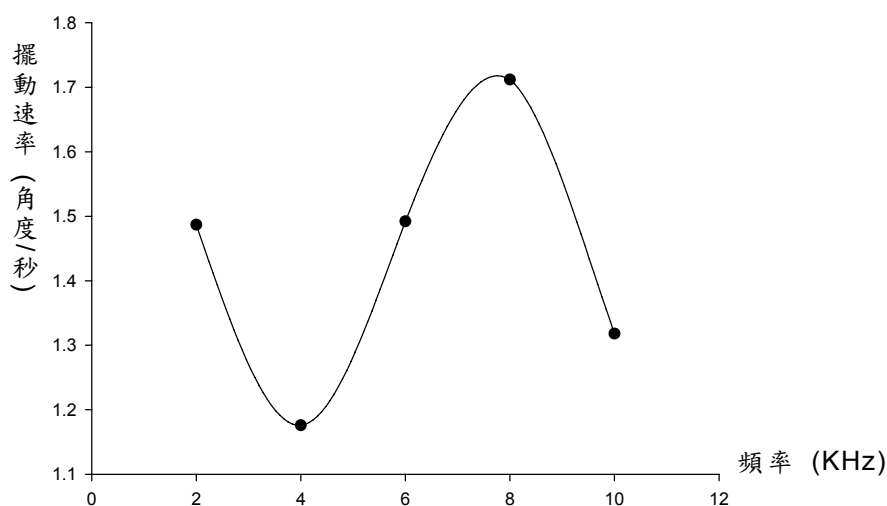
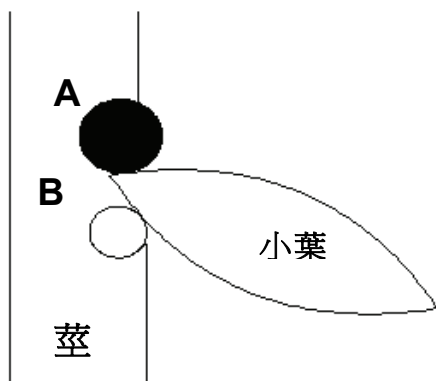


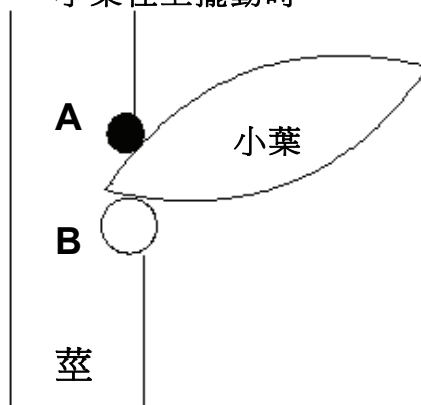
圖 16、不同頻率的聲音刺激下，鍾萼豆小葉擺動速率之變化圖。
數據呈週期性變化，8KHz 時有最大的擺動速率。

小葉往下擺動時



17-1 上方 A 處的葉枕細胞逐漸吸收水分膨脹，對小葉之壓力慢慢大於 B 處的葉枕細胞，最後壓迫小葉而逐漸向下產生擺動。

小葉往上擺動時



17-2 上方 A 處的葉枕細胞逐漸失去水分縮小，對小葉之壓力慢慢小於 B 處的葉枕細胞，最後小葉而逐漸向上產生擺動。

圖 17、鍾萼豆小葉上、下擺動時，上、下葉枕細胞群細胞體積變化示意圖。