

第四屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA4-009

作品名稱：

聲音震動刺激對鍾萼豆側生小葉擺動之影響

作者姓名：陳稚勳

關鍵字：鍾萼豆、聲音、傾性

聲音震動刺激對鍾萼豆(*Codariocalyx motorius*) 側生小葉擺動之影響

中文摘要

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，進行擺動。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是隨著聲音頻率的增加而呈現週期性變化。

Abstract

Desmodium gyrans (Leguminosae) is a perennial woody plant. Acoustic waves can stimulate stipules and cause to oscillation. This experiment used the coroma to immobilize strength, emitted the frequency of 2, 4, 6, 8, 10 KHz acoustic wave to stimulate stipules and recorded the changes of oscillation angle every five seconds. We calculated the oscillation cycle、oscillation span, and analyzed experiment data. The most importance result is that the experiment graphs of oscillation angle and oscillation span with different frequency of acoustic waves display sin function metamorphic diagram.

壹、研究動機

一、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，跳舞草正式的學名為**鍾萼豆** (*Codariocalyx motorius*) (彩圖一)，屬多年生木本豆科植物，小葉灌木，喜陽光，生於海拔 200 至 1500 公尺的丘陵山坡或山溝灌叢中。當植株長到 15 公分以上，葉柄上長出三片葉時，氣溫達到 24 度以上時，對聲音敏感並會產生反應，產生葉片旋轉、擺動等行為。也就是說，只要鍾萼豆身邊有聲音存在，不管是人的聲音或著是樂音，鍾萼豆的小葉都會產生「擺動」的反應。

在日常生活之中，能夠對外界刺激產生反應的植物，其實不多，像是捕蠅草，含羞草之類的。而在高二生命科學課程中提到，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。相同地，鍾萼豆的葉片也會對環境刺激產生反應，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」可分為強度與頻率聲音兩種因子，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輔助課本中的實驗，讓我們更容易學習植物的「傾性」(nastic)行為。

二、文獻探討

(一) 報章雜誌

1. 鍾萼豆因為具有活性因子，受到聲音的影響，會產生膨脹收縮，才會出現跳舞現象。在 25 到 60 分貝的聲響震動下，就會產生膨脹收縮現象，看起來就像在跳舞，有時還可以做 360 度的旋轉，這植物是目前世界上被發現唯一會自行運動的植物。
(2003-09-25 民視新聞報導)
2. 鍾萼豆雖具有隨音樂起舞的特性，但是遇到下雨或是天黑，它受到聲波感應的感官就會消失，天黑後，鍾萼豆的大葉片全部下垂(彩圖二)。鍾萼豆在台灣也可以看到的，是從熱帶地區引進台灣，要度過台灣的冬天相當有挑戰性，冬天要將鍾萼豆移到溫室或室內，讓它不要接觸寒冷的空氣，如此順利過冬後，可以繼續存活數年。
(2002-05-31 中國時報)

(二) 文獻資料

1. Phase Respons Curve for the Ultradian Rhythm of the Lateral Leaflet of *Desmodium gyrans* Using DC Current Pulses
(作者：vijay Kumar Sharma, Christer Jensen and Anders Johnson)
2. Ultradian in *Desmodium*. *Chronobiology International* 15, 293-307 (1988)
(作者：Engelmann, W. and B Antkowiak)

(三) 網路資料

1. 鍾萼豆學名 *Codariocalyx motorius*，英文名 *YoYo Magic*，屬多年生木本豆科植物，花莢紅，莢果。其葉片長年不斷左右擺動，上下彈跳，又叫情人草或多情草。株高 60 厘米，當苗高達 25 厘米以上，葉柄上長出三片葉時，就可以開始觀賞。氣溫達到 24 度 C 以上且無風雨時，其葉片變自行交叉轉動。當氣溫達到 28 至 34 度 C 之間，尤其上午 8-11 點和下午 3-6 點，特別是雨過天晴、陰天擺動更具戲劇性。
(資料來源：http://www.168tfg.com.tw/flower/news/2003_10/dance.htm)
2. 鍾萼豆喜陽光，其體內某些部位(例如葉柄細胞)細胞內壓強弱不一致，因此在鍾萼豆旁邊唱歌或撥放音樂時，聲波震動空氣傳遞到鍾萼豆葉柄，引起葉柄細胞壓變化，葉片就會上下擺動；含羞科的含羞草同樣是這個原因，只要你用手或其它物體碰觸它們的枝葉，它們伸展的羽狀複葉的小葉片在瞬間就會合攏。
(資料來源：<http://www.yn.xinhuanet.com/green/tree/twc.htm> - 10k)
3. 鍾萼豆的各小葉片因陽光、溫度和聲音的影響，而有各種不同的舞蹈律動，運動時有快有慢，時而上下來回擺動，時而前後左右旋轉

(資料來源：<http://www.kjchina.com/xxzy01.htm>)。

4. 鍾萼豆對外界環境變化的反應能力很強，對一定頻率(節奏、節律)、強度的聲波極有感應性。(資料來源：<http://www.flowers.net.cn/flowers/hhpj/tiaowc1.htm>)

5. 鍾萼豆是在雲南西雙版納的原始森林中發現的，是一種世界上頻臨絕跡的珍稀植物。

鍾萼豆產於福建、江西、廣東、廣西、四川、貴州、雲南及台灣等省區，生於海拔200-1500米的丘陵或山溝灌叢中。印度、尼泊爾、不丹、斯里蘭卡、泰國、緬甸、印尼、馬來西亞等也有分布(資料來源：

<http://159.226.2.589/gate/big5/www.kepu.net.cn/gb/lives/banna/banyanblossom/ blo01.html>)。

6. 葉片向日是為了捕捉陽光，行光合作用，現代研究更深入發現，主要由葉柄的構造及生理變化在控制葉片的面向。日光中的短波，特別是藍光，會刺激葉柄基步特化膨大的葉枕構造內的細胞膨壓改變，也就能輕易操控著葉面朝向的方位，因此植物的葉片日出而作、迎光而舞的道理就淺而易懂了。

(資料來源：<http://e-info.org.tw/topic/fspecies/2002/fs02031901.htm>)

貳、研究目的

一、探討問題

不同頻率聲音刺激，對鍾萼豆小葉擺動反應影響為何？

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) 。

參、研究設備及器材

一、實驗物種

(一) 實驗生物介紹

鍾萼豆 (*Codariocalyx motorius*)

- 1.分類：多年生豆科舞草，屬於木本植物，學名 *Codariocalyx motorius* (Telegraphcloner)，又稱跳舞草、情人草、無風自動草、多情草、風流草、求偶草、舞草。
- 2.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，是一種世界上瀕臨絕跡的珍稀植物。於民國 92 年 9 月於南投山區發現了屬於台灣原生種的鍾萼豆。
- 3.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 (彩圖三)。
- 4.行為：鍾萼豆的葉片兩側生有大量的線形小葉 (彩圖四)，且對聲波非常敏感，在氣溫不低於 22°C 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 (彩圖五、六)，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。

二、實驗器材

器材	用途	數量
花盆 (半徑 8 公分)	種植用	30 個
肥料	植物營養用	1 包
泥土	種植用	1 包
噴霧器	澆水用	1 個
頻率產生器 (彩圖七)	發出頻率的儀器	1 臺
喇叭 (彩圖七)	音源輸出	1 個
DV 攝影機	記錄用	1 臺

肆、研究過程或方法

一、實驗植物取得

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需要測量之頻率（彩圖八）
- (二) 記錄鐘萼豆小葉之長度
- (三) 將鐘萼豆設置在距離音箱 10 公分之處（彩圖九）
- (四) 開啟音箱之電源，開始刺激鐘萼豆之小葉
- (五) 以 DV 攝影機記錄鐘萼豆之反應情形（彩圖十）
- (六) 以每五秒為一間距，利用電腦軟體 E-roller 進行角度測量（彩圖十一）
- (七) 將數據記錄在 Excel 中，進行統計分析
- (八) 計算週期、頻率和擺動速率的方法（附圖一）

1. 週期 (period)

概念：週期為小葉週期擺動一次之時間值

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週期

單位：秒/次

2. 振幅 (amplitude)

概念：振幅為小葉之最大擺動角度

算法：定位出週期函數之水平軸，則波峰或波谷距離水平軸之距離即為振幅

單位：度/次

3. 擺動速率 (rotational speed)

概念：擺動速率為單位時間內小葉擺動之角度

算法：將小葉最大擺動角度除以運動時間即可得知

單位：度/秒

三、測量內容

- (一) 小葉擺動週期 (單位： 秒/次)
- (二) 小葉擺動振幅 (單位： 度/次)
- (三) 小葉擺動速率 (單位： 度/秒)

四、紀錄鍾萼豆之反應行為與程度

- (一) 使用 DV 錄影機錄製整個反應過程
- (二) 在一小葉上做上標記，測量葉片擺動時間與角度的關係。
- (三) 由葉片擺動時間與角度關係的數據中，計算反應中的葉片擺動週期、擺動振幅及擺動速率， 並以不同頻率之數據相互比較。

五、數據取樣及平均數據 (附圖二)

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測量；而為了去除小葉之間的差異，一株鍾萼豆將隨機選取 3 片長度相近之小葉進行測量。而總數據便為 3 株鍾萼豆 × 3 片小葉 共 9 筆數據進行平均之結果。

六、資料整理

實驗之原始資料記錄於自製表格，並以 Microsoft Excel 建檔，對葉片擺動週期、葉片擺動幅度之實驗結果進行統計分析，再利用 Sigma Plot (9.0 版) 繪圖軟體繪製成實驗圖形。

伍、研究結果

一、聲音刺激下鍾萼豆小葉擺動角度與時間的關係

由初步實驗（音頻為 2KHz）後，將數據由 Excel 畫出角度與時間關係圖（圖一）發現，鍾萼豆的擺動角度與時間呈現週期性變化圖，如此可推算出其擺動週期和振幅。

二、不同頻率刺激下鍾萼豆小葉擺動的週期變化

由實驗數據得知：

（一）頻率 2 KHz 刺激鍾萼豆（表一、圖一）

第一株鍾萼豆週期為 93 秒/次（表一）；第二株鍾萼豆週期為 112 秒/次（表一）；第三株鍾萼豆週期為 97 秒/次（表一），由三株週期可得當頻率為 2 KHz 時，週期平均為 100.67 ± 10.02 秒/次（表二、圖二）。

（二）頻率 4 KHz 刺激鍾萼豆（表一、圖三）

第五株鍾萼豆週期為 95 秒/次（表一），第六株鍾萼豆週期為 170 秒/次（表一），第七株鍾萼豆週期為 145 秒/次（表一），由此三株週期可得當頻率為 4 KHz 時，週期平均為 136.67 ± 38.19 秒/次（表二、圖四）。

（三）頻率 6 KHz 刺激鍾萼豆（表一、圖五）

第一株鍾萼豆週期為 85 秒/次（表一），第五株鍾萼豆週期為 115 秒/次（表一），第六株鍾萼豆週期為 155 秒/次（表一），第七株鍾萼豆週期為 130 秒/次（表一），由此四株週期得當頻率為 6 KHz 時，週期平均為 121.25 ± 29.26 秒/次（表二、圖六）。

（四）頻率 8 KHz 刺激鍾萼豆（表一、圖七）

第一株鍾萼豆週期為 60 秒/次（表一），第五株鍾萼豆週期為 90 秒/次（表一），第六株鍾萼豆週期為 110 秒/次（表一），第七株鍾萼豆週期為 110 秒/次（表一），由此四株週期可得當頻率為 8 KHz 時，週期平均為 92.50 ± 23.63 秒/次（表二、圖八）。

（五）頻率 10 KHz 刺激鍾萼豆（表一、圖九）

第一株鍾萼豆週期為 115 秒/次（表一），第五株鍾萼豆週期為 120 秒/次（表一），第六株鍾萼豆週期為 145 秒/次（表一），第七株鍾萼豆週期為 125 秒/次（表一），由此四株週期可得當 10 KHz 時，週期平均為 126.25 ± 13.15 秒/次（表二、圖十）。

三、不同頻率對鍾萼豆小葉擺動周期之影響 (表二)

由實驗數據得知，當頻率為 2KHz 時，鍾萼豆的週期為 100.67 ± 10.02 秒；當頻率為 4KHz 時，鍾萼豆週期 136.67 ± 38.19 秒；當頻率為 6KHz 時，鍾萼豆週期 121.25 ± 29.26 秒；當頻率為 8KHz 時，鍾萼豆週期 92.50 ± 23.63 秒；當頻率為 10KHz，鍾萼豆週期 126.25 ± 13.15 秒。

將所得之數據會製成圖，即可形成 (圖十一) 不同頻率對鍾萼豆小葉擺動周期之影響。

四、不同頻率影響下鍾萼豆的擺動振幅變化 (表二)

由實驗數據得知，當頻率為 2KHz 時，鍾萼豆的振幅為 37.41 ± 0.08 度；當頻率為 4KHz 時，鍾萼豆振幅 40.18 ± 6.03 度；當頻率為 6KHz 時，鍾萼豆振幅 45.23 ± 7.26 度；當頻率為 8KHz 時，鍾萼豆振幅 39.59 ± 3.59 度；當頻率為 10KHz，鍾萼豆振幅 41.60 ± 5.06 度。

將所得之數據會製成圖，即形成 (圖十二) 不同頻率對鍾萼豆小葉最大擺動角度之影響。

五、不同頻率影響下鍾萼豆的擺動速率變化 (表二)

由實驗數據得知，當頻率為 2KHz 時，鍾萼豆的擺動速率為 1.487 度/秒；當頻率為 4KHz 時，鍾萼豆擺動速率 1.176 度/秒；當頻率為 6KHz 時，鍾萼豆擺動速率 1.492 度/秒；當頻率為 8KHz 時，鍾萼豆擺動速率 1.712 度/秒；當頻率為 10KHz，鍾萼豆擺動速率 1.318 度/秒。

將所得之數據會製成圖，即可形成 (圖十三) 不同頻率對鍾萼豆小葉擺動速率之影響。

陸、討論

一、實驗誤差原因探討

- (一) 實驗過程中鍾萼豆小葉擺動狀況有時不甚理想，可能因為天氣因素，因文獻曾提到在陰天時鍾萼豆小葉擺動會不明顯或影響到鍾萼豆的正常擺動。所以實驗時的天氣必須控制在相同的光照環境中，以去除日照的影響因素。
- (二) 實驗是非完全靜音的實驗室中，有可能會受到其他低頻或高頻聲音的干擾，而使實驗出現誤差。
- (三) 實驗本身每一株的小葉在選定時，是隨機抽取三片小葉，這三片小葉有可能本身細胞環境的差異，造成刺激時表現不同的擺動狀況，因此要減低此誤差，必須多選取小葉，求平均來消除誤差。
- (四) 鍾萼豆小葉擺動不完全是平面擺動，有些小葉擺動是三度空間擺動，形成轉動現象。所以當我們用攝影機錄製時，也許會因為拍攝角度和小葉擺動軸的位置沒有達到完全的平行，所以會產生誤差。故往後要再詳細分析時，必須將這現象的誤差考慮進去。

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，依據不同程度音頻刺激，滯留時間分別呈現不同的秒數；並且，在最低點時並不會有滯留反應。以圖六為樣本觀察後發現，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。在先前的參考資料中有提到「日光中的短波，特別是藍光，會刺激葉柄基步特化膨大的葉枕構造內的細胞膨壓改變，也就能輕易操控著葉面朝向的方位」。而在 Engelmann, W. and B. Antkowiak 的論文中提到，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（附圖三）。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（附圖四），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（附圖五），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。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，細胞膨脹，直到其壓力大於下細胞時，才會開始轉動。

※端點:小葉擺動的最高點

※滯留區:小葉擺動至最高點後，會有一小段時間停止擺動

三、週期

如圖十一所示，測量頻率以 2000 赫茲為間距，在 2 KHz~10 KHz 的範圍之中，其週期成現週期性變化，在 4 KHz 與 10 KHz 時有較大之週期，而在 2 KHz 與 8 KHz 時有較小之週期，全部的週期變化呈現週期性函數變化，就波形演變趨勢來看，預計在 0 KHz 時週期應接近 4 KHz 週期與 10 KHz 週期之值。由於本次實驗並無測量音頻在 0 KHz 時對鐘萼豆小葉之刺激反應，無法得知真正之情況。

柒、結論

鍾萼豆在音頻範圍 2 KHz 到 10 KHz 刺激下：

- 一、小葉擺動週期為音頻 4 KHz 刺激時有最大值，且擺動週期與頻率的關係圖形呈現週期性變化。
- 二、小葉擺動振幅為音頻 6 KHz 刺激時有最大值，且擺動振幅與頻率的關係圖形呈現週期性變化。
- 三、小葉擺動速率為音頻 8 KHz 刺激時有最大值，且擺動速率與頻率的關係圖形呈現週期性變化。

捌、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。

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。

呂光洋、周德源、黃啟欣、林英子、胡苓芝、林聰慧、孫蘭芳，2005、生物。南一書局，P.77-83

Phase Respons Curve for the Ultradian Rhythm of the Lateral Leaflet of *Desmodium gyrans* Using DC Current Pulses

(作者：vijay Kumar Sharma, Christer Jensen and Anders Johnson)

Ultradian in *Desmodium*. *Chronobiology International* 15, 293-307 (1988)

(作者：Engelmann, W. and B Antkowiak)

網路資料，無作者，資料來源：http://www.168tfg.com.tw/flower/news/2003_10/dance.htm

網路資料，無作者，資料來源：<http://www.yn.xinhuanet.com/green/tree/twc.htm> - 10k

網路資料，無作者，資料來源：<http://www.kjchina.com/xxzy01.htm>

網路資料，無作者，資料來源：<http://www.flowers.net.cn/flowers/hhpj/tiaowc1.htm>

網路資料，無作者，資料來源：

<http://159.226.2.589/gate/big5/www.kepu.net.cn/gb/lives/banna/banyanblossom/blo01.htm>

網路資料，無作者，資料來源：<http://e-info.org.tw/topic/fspecies/2002/fs02031901.htm>

無作者，2003/09/25，民視新聞報導

無作者，2002/05/31，中國時報

表一、不同頻率對所有鍾萼豆小葉擺動週期之值。

	2KHz	4KHz	6KHz	8KHz	10KHz
第一株	93		85	60	115
第二株	112				
第三株	97				
第四株					
第五株		95	115	90	120
第六株		170	155	110	145
第七株		145	130	110	125

※週期為葉片完整擺動一圈之秒數

※振幅為週期函數之振幅

※空白處為未進行實驗者

※單位為 秒/次

※KHz 為 千赫茲

表二、不同頻率對鍾萼豆小葉擺動週期與振幅之平均值。

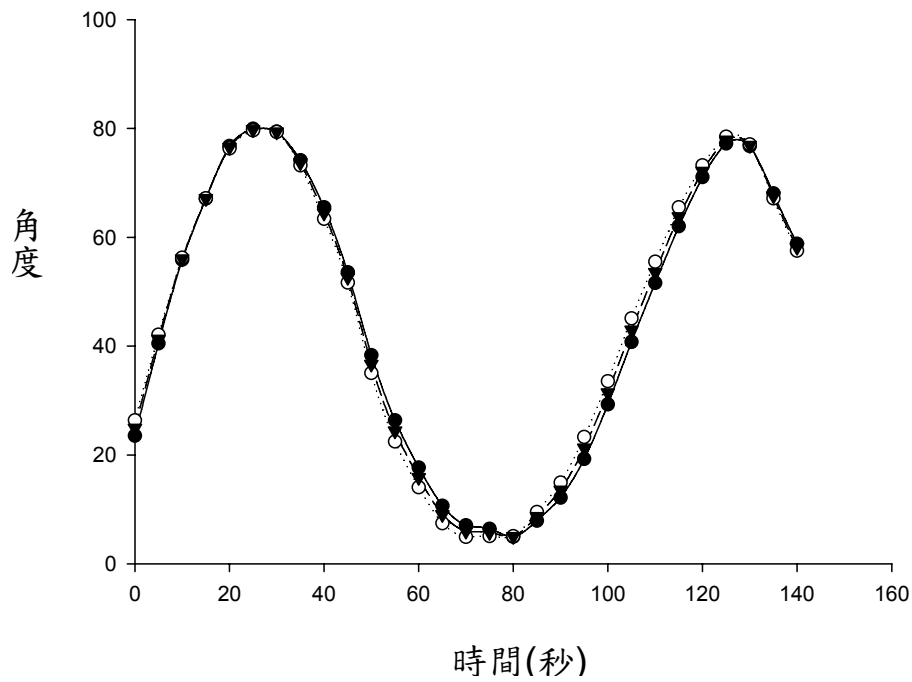
頻率	2 KHz	4 KHz	6 KHz	8 KHz	10 KHz
擺動週期 (秒)	100.67±10.02	136.67±38.19	121.25±29.26	92.50±23.63	126.25±13.15
擺動振幅 (度)	37.41±0.08	40.18±6.03	45.23±7.26	39.59±3.59	41.60±5.06
擺動速度 (度/秒)	1.487	1.176	1.492	1.712	1.318

※週期為小葉完整擺動一次之時間值

※振幅為小葉之最大擺動角度

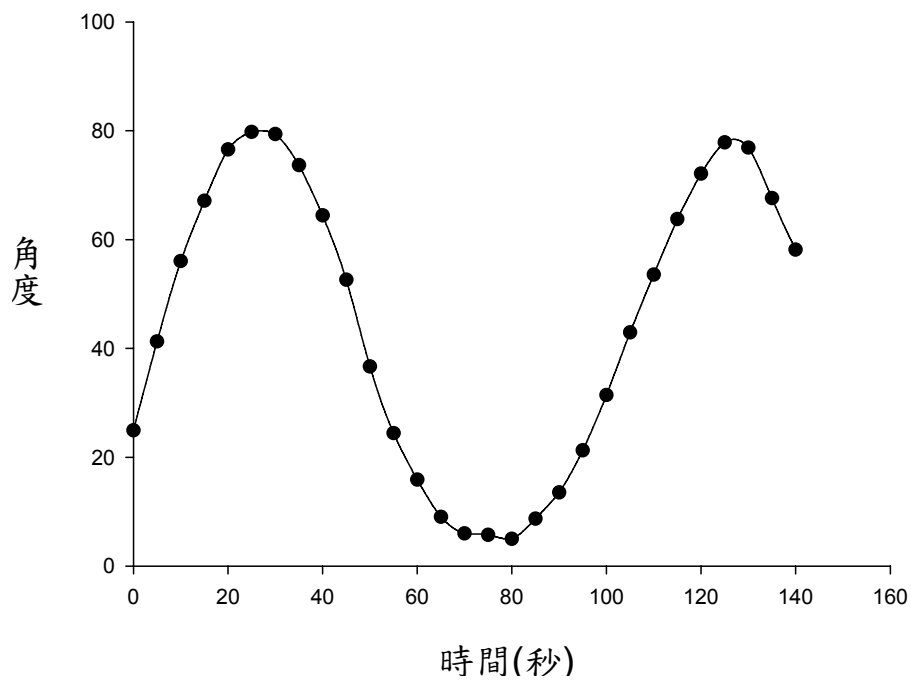
※擺動速率為小葉擺動之速率

※數據均為平均值±標準差



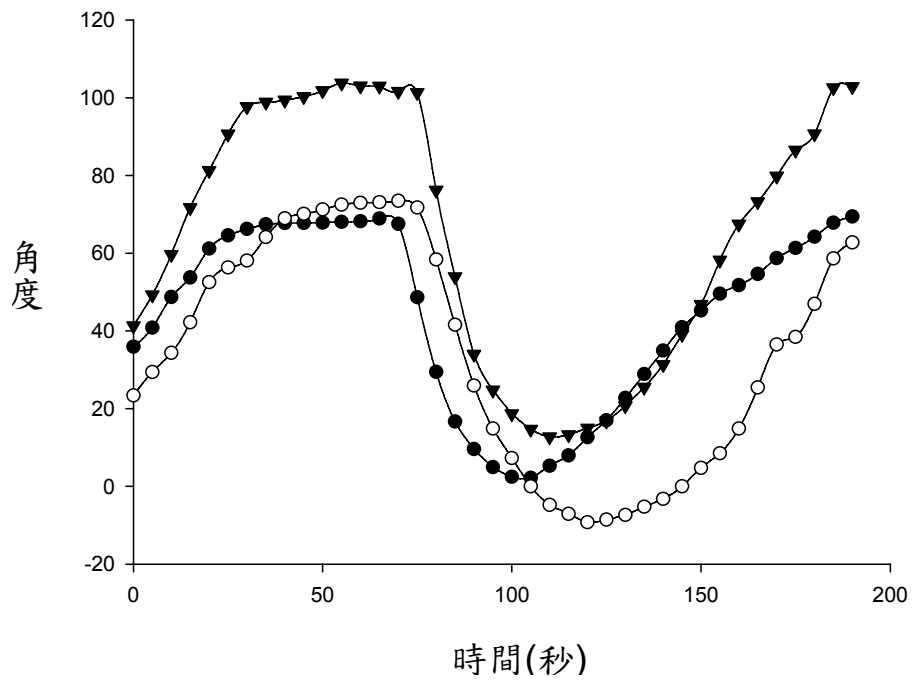
圖一、音頻 2 KHz 刺激鍾萼豆小葉擺動之角度變化圖。

此三個曲線為同一株鍾萼豆不同三小葉實驗之測量值。(此三曲線幾乎疊合)



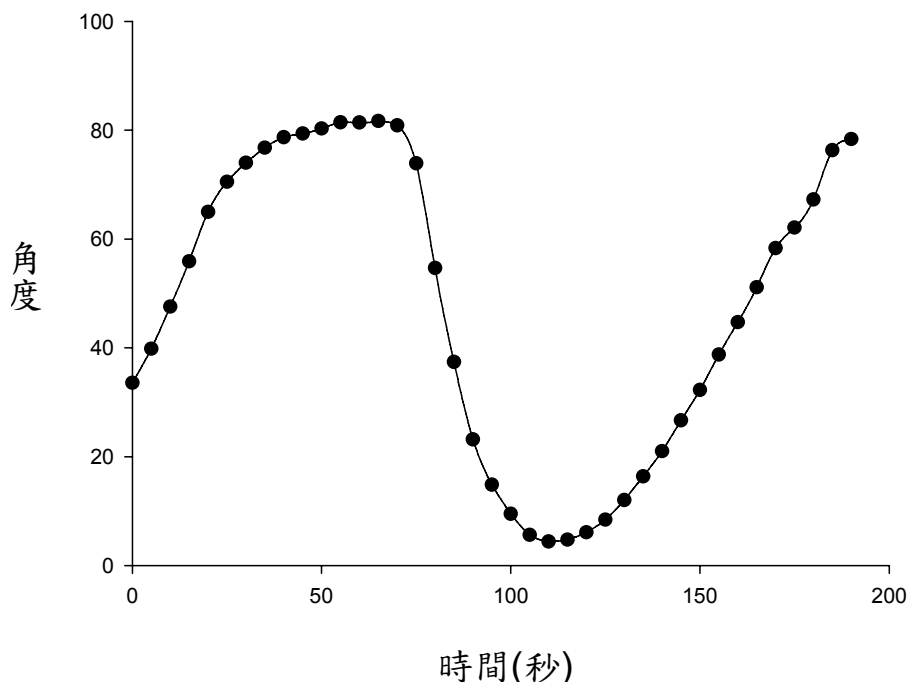
圖二、音頻 2 KHz 刺激鍾萼豆小葉擺動之角度變化圖。

此曲線為三株鍾萼豆實驗之測量平均值。



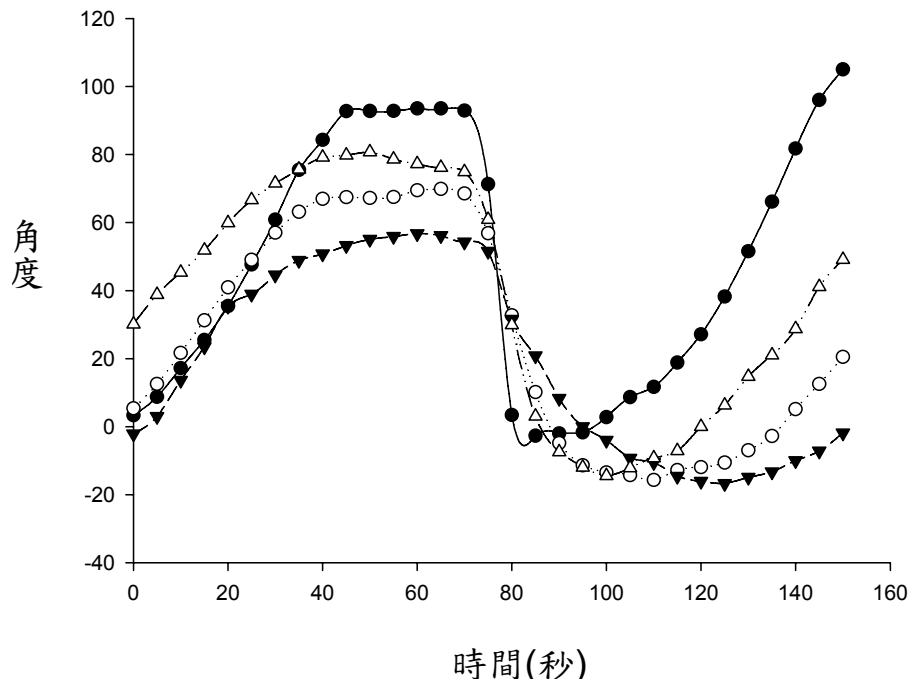
圖三、音頻 4 KHz 刺激鍾萼豆小葉擺動之角度變化圖。

此三個曲線為第五株 A 小葉(實心三角點), 第六株 A 小葉(空心圓點)與第七株 A 小葉(實心圓點)實驗之測量值。



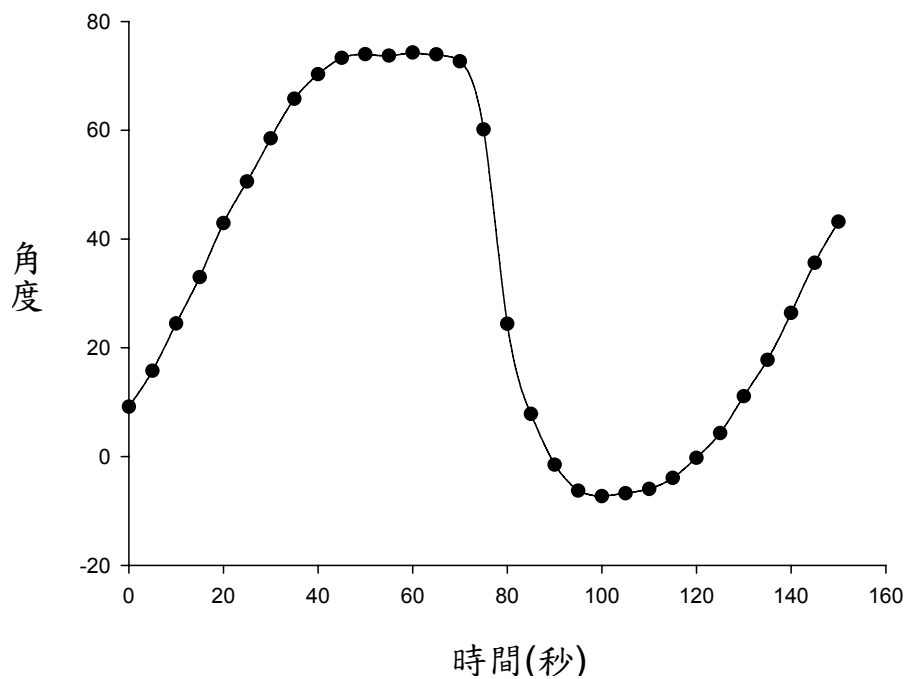
圖四、音頻 4 KHz 刺激鍾萼豆小葉擺動之角度變化圖。

此曲線為第五株 A 小葉, 第六株 A 小葉與第七株 A 小葉實驗之測量平均值。



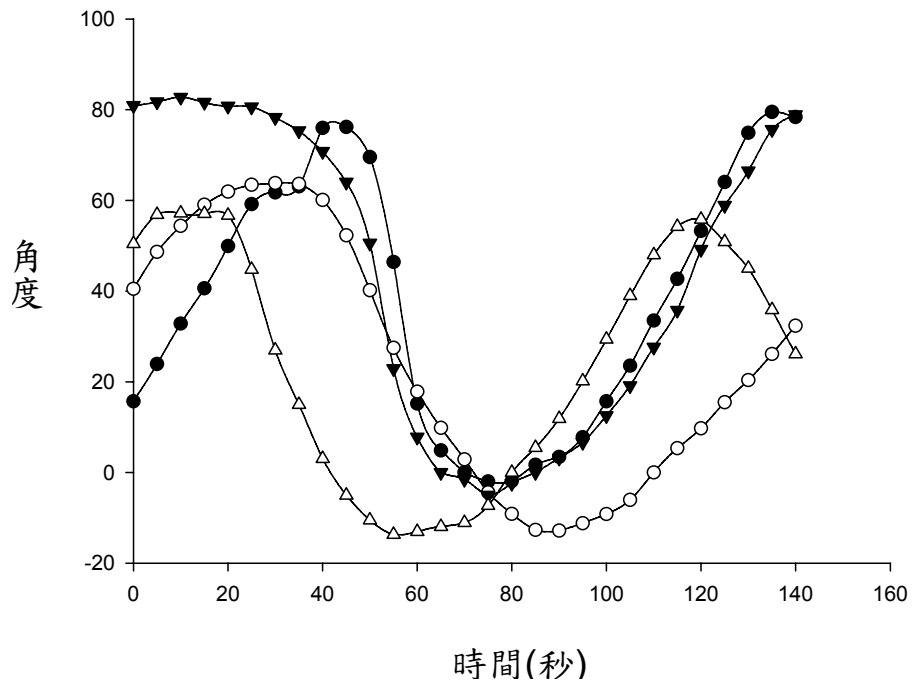
圖五、音頻 6 KHz 刺激鐘萼豆小葉擺動之角度變化圖。

此四個曲線為第一株 C 小葉(實心圓點)，第五株 A 小葉(空心圓點)，第六株 A 小葉(實心三角點)與第七株 A 小葉(空心三角點)實驗之測量值。



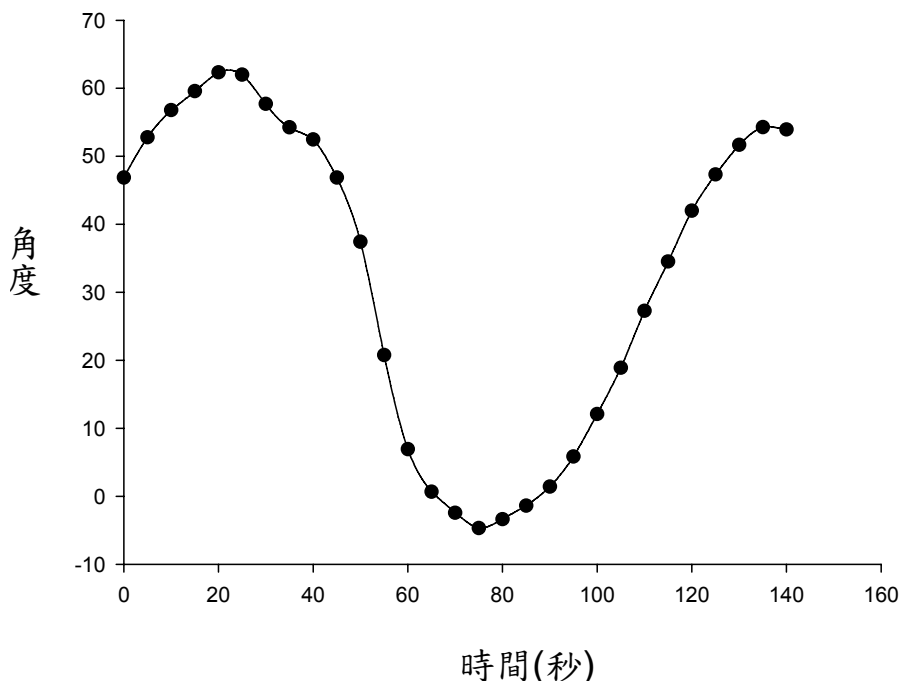
圖六、音頻 6 KHz 刺激鐘萼豆小葉擺動之角度變化圖。

此曲線為第一株 C 小葉，第五株 A 小葉，第六株 A 小葉與第七株 A 小葉實驗數據之平均值。(此平均值顯示有部份誤差)



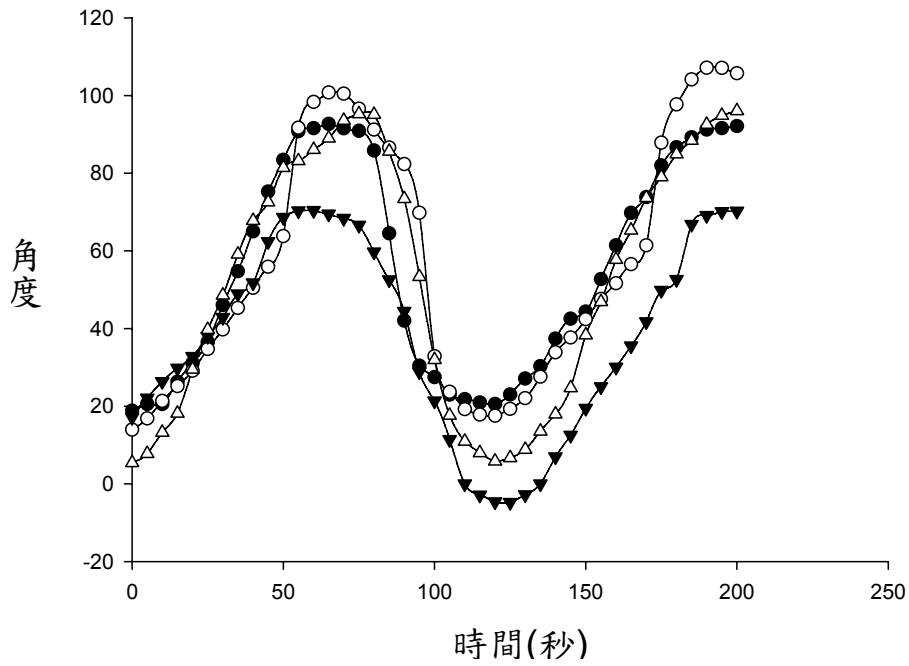
圖七、音頻 8 KHz 刺激鐘萼豆小葉擺動之角度變化圖。

此四個曲線為第一株 C 小葉(實心圓點)，第五株 A 小葉(空心圓點)，第六株 A 小葉(實心三角點)與第七株 A 小葉(空心三角點)實驗之測量值。



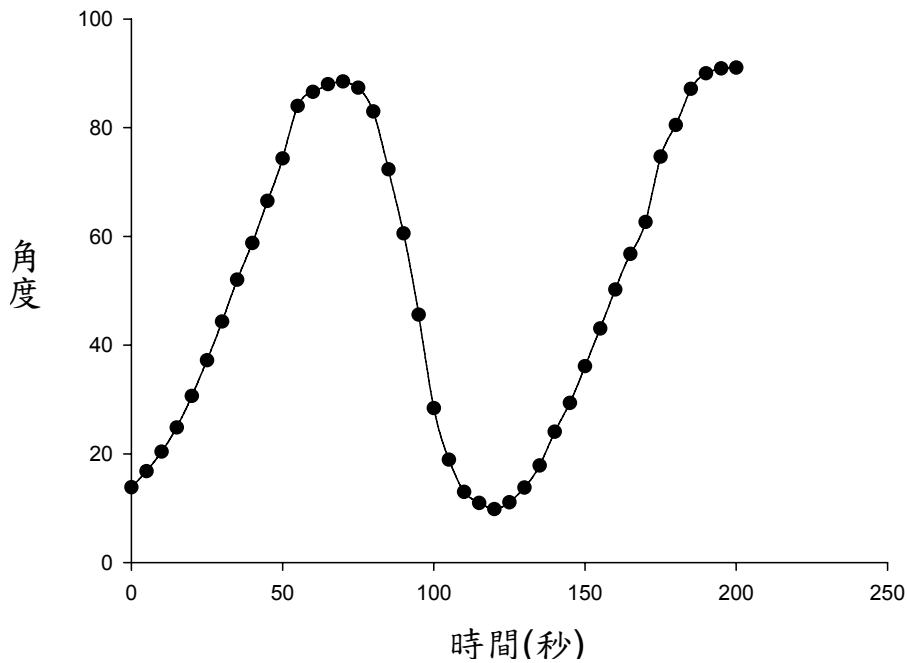
圖八、音頻 8 KHz 刺激鐘萼豆小葉擺動之角度變化圖。

此曲線為第一株 C 小葉，第五株 A 小葉，第六株 A 小葉與第七株 A 小葉實驗數據之平均值。



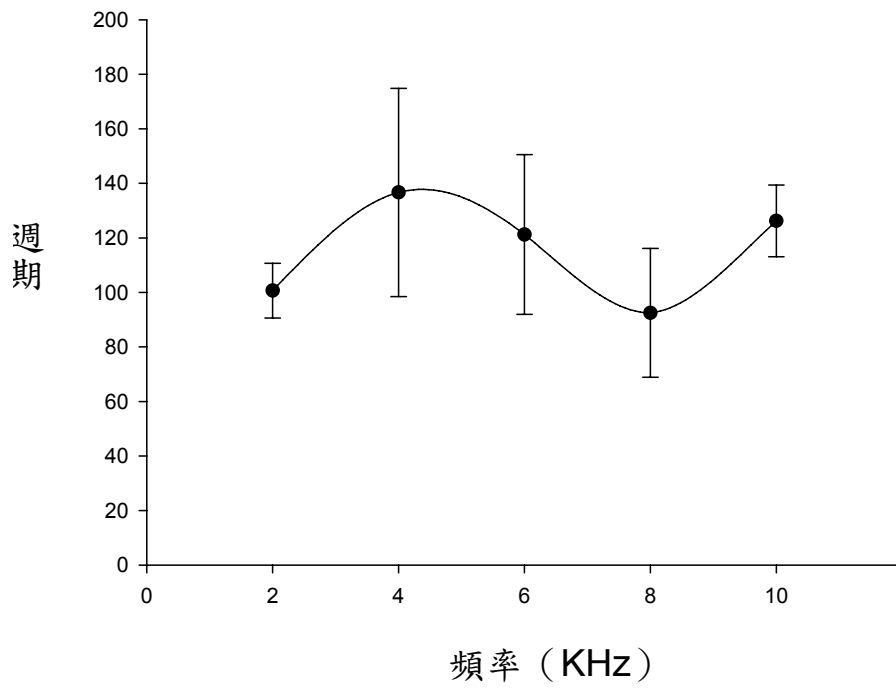
圖九、音頻 10 KHz 刺激鐘萼豆小葉擺動之角度變化圖。

此四個曲線為第一株 C 小葉(實心圓點)，第五株 A 小葉(空心圓點)，第六株 A 小葉(實心三角點)與第七株 A 小葉(空心三角點)實驗之測量值。

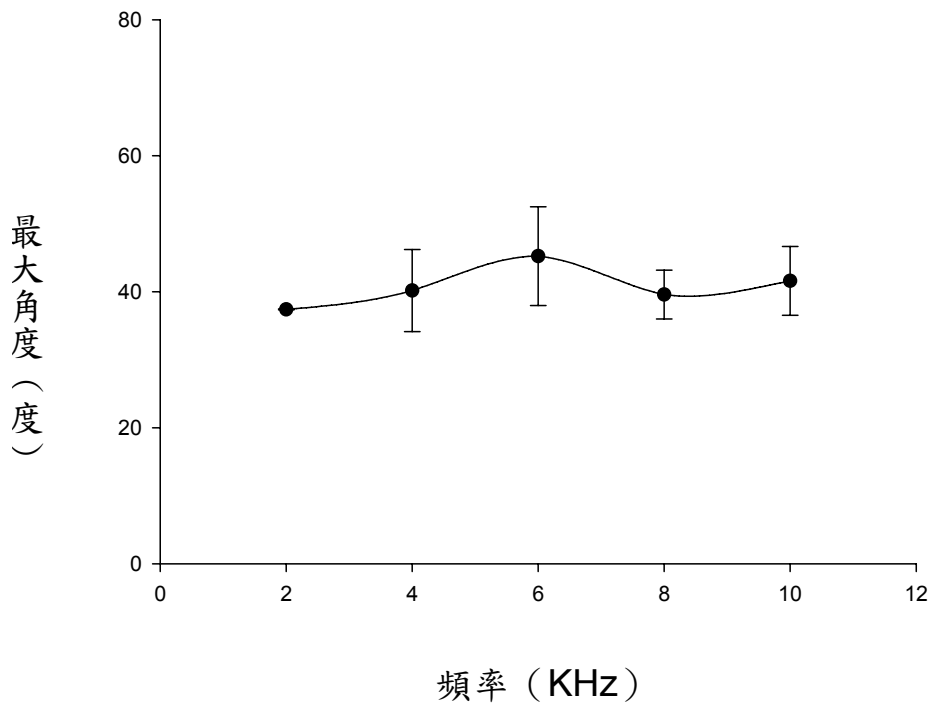


圖十、音頻 10 KHz 刺激鐘萼豆小葉擺動之角度變化圖。

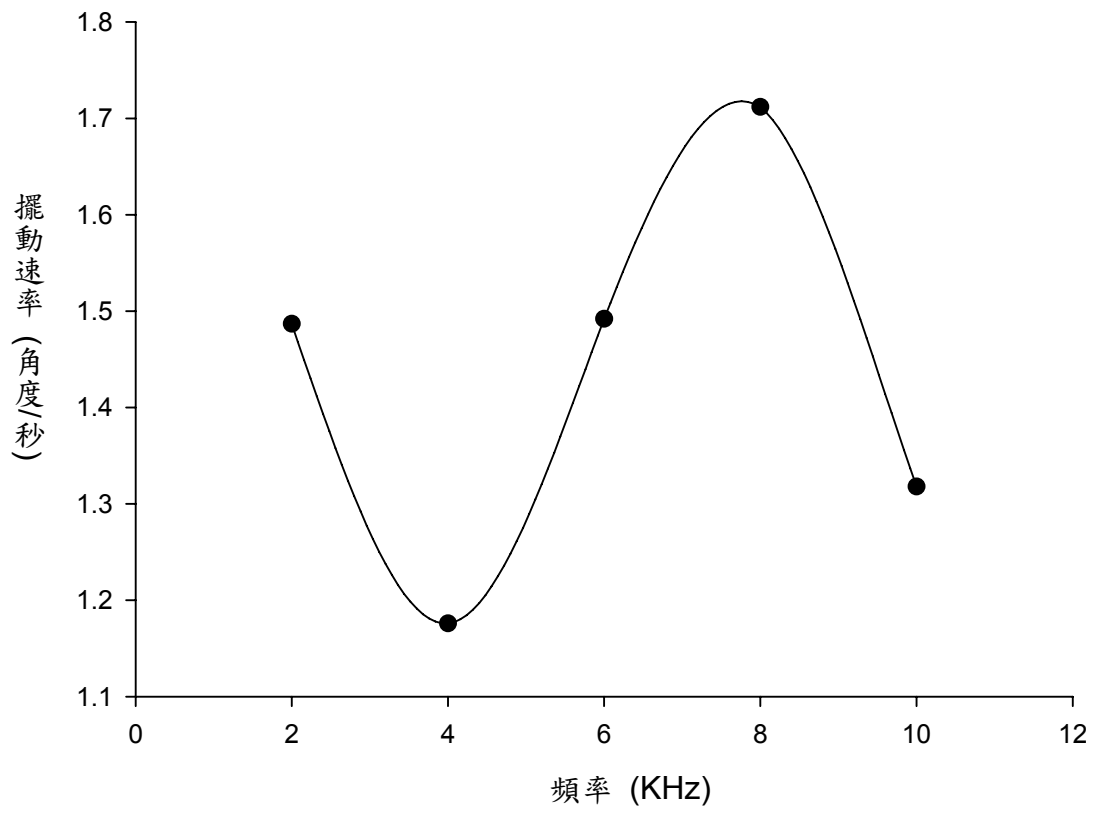
此曲線為第一株 C 小葉，第五株 A 小葉，第六株 A 小葉與第七株 A 小葉實驗數據之平均值。



圖十一、不同頻率對鐘萼豆小葉擺動周期之影響。

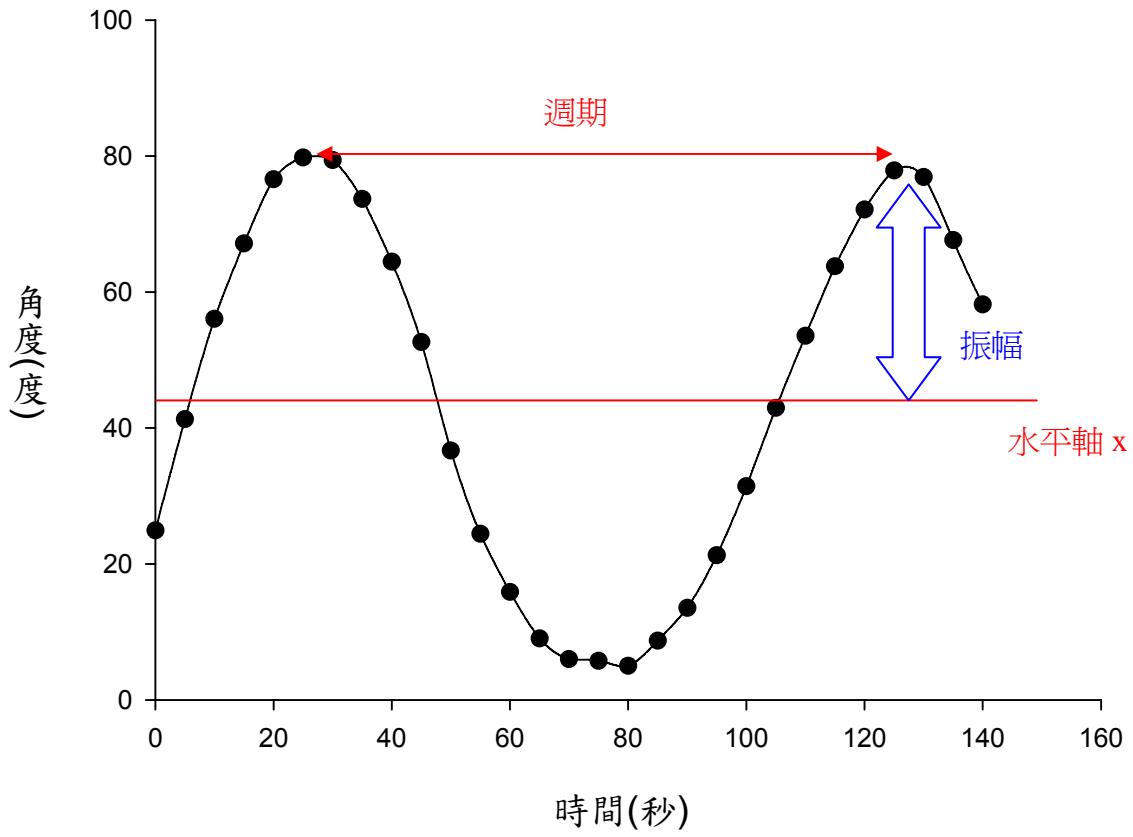


圖十二、不同頻率對鐘萼豆小葉最大擺動角度之影響。

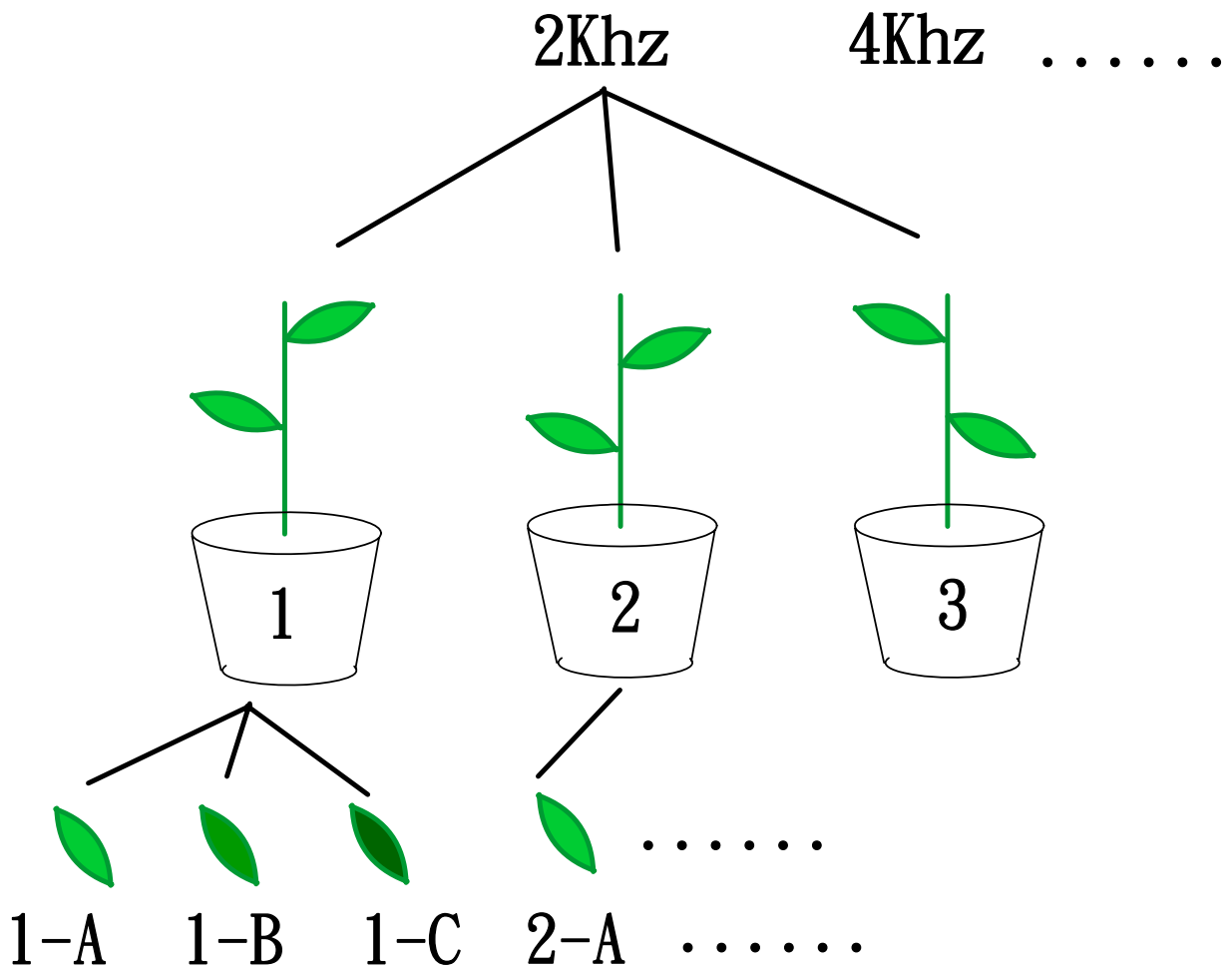


圖十三、不同頻率對鐘萼豆小葉擺動速率之影響。

附圖一、計算週期與振幅之方法

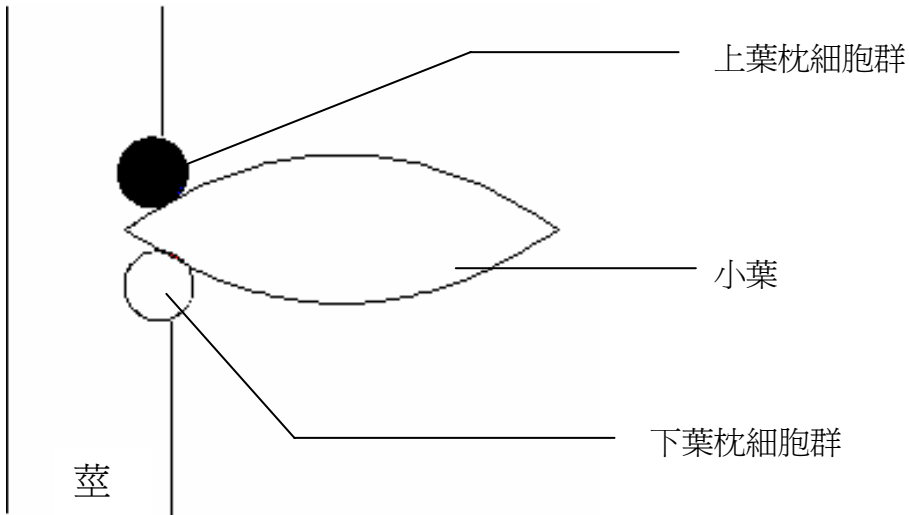


附圖二、數據取樣及平均數據

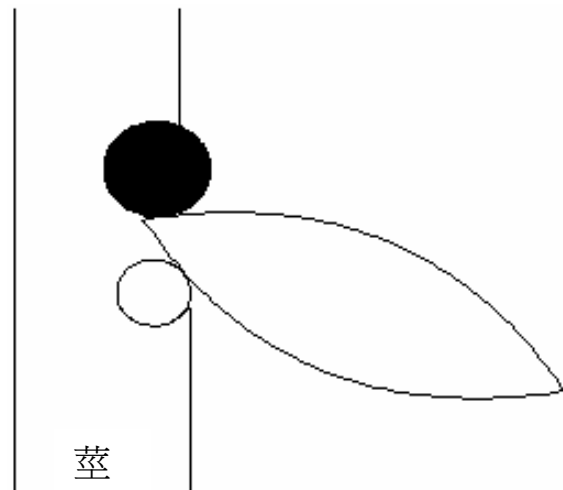


附註：共有 2 KHz、4 KHz、6 KHz、8 KHz、10 KHz 等項目須進行測量。
每項選取 3 株鍾萼豆，每株鍾萼豆選取 3 片小葉進行測量。

附圖三、細胞轉動之構造

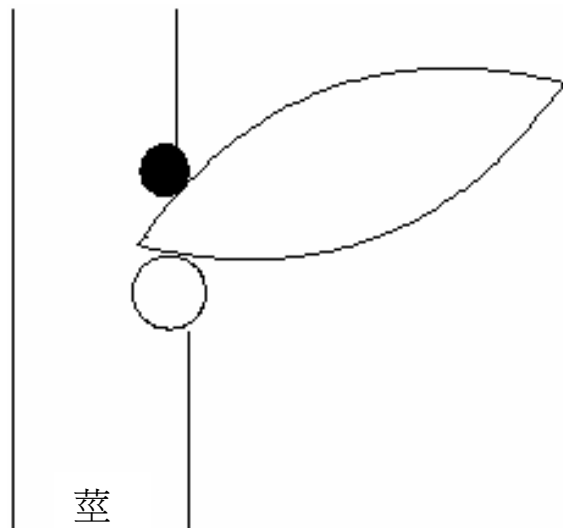


附圖四、小葉往下擺動



上方葉枕細胞吸水膨脹大，上細胞對小葉之壓力大於下細胞對小葉之壓力，壓迫小葉向下擺動。

附圖五、小葉往上擺動



上方葉枕細胞水分流出，下細胞對小葉之壓力大於上細胞對小葉之壓力，小葉向上擺動。



彩圖一、鐘萼豆



彩圖二、鐘萼豆小葉閉合時



彩圖三、大葉與小葉



彩圖四、各枝葉柄



彩圖五、擺動差距一



彩圖六、擺動差距二



彩圖七、訊號產生器連接喇叭



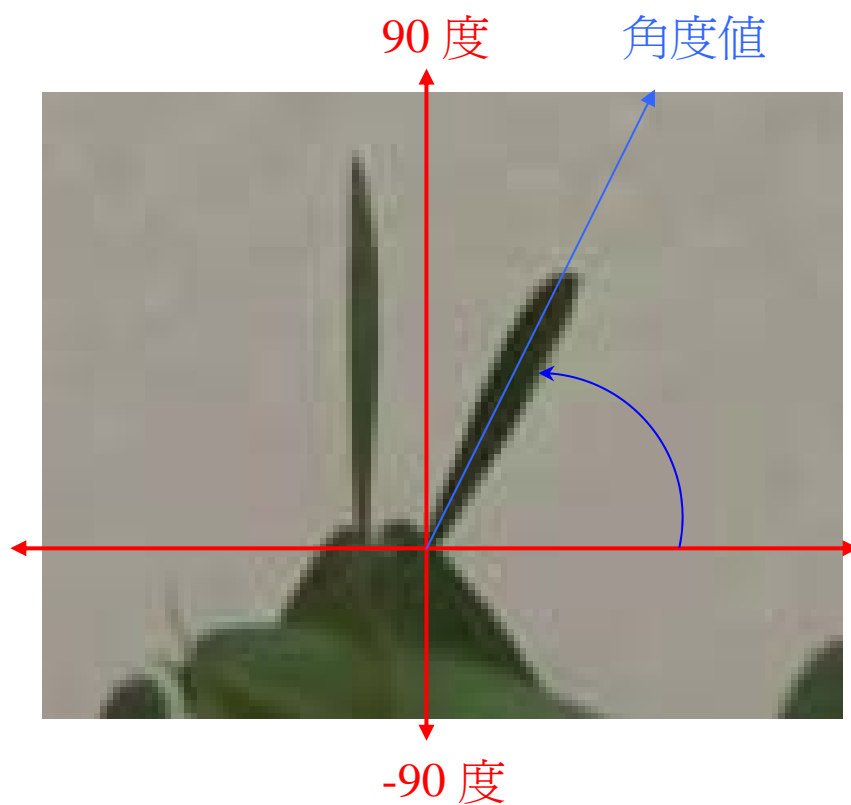
彩圖八、設置訊號產生器



彩圖九、距離 10 公分處



彩圖十、以 DV 攝影機記錄



彩圖十一、測量方法