

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

佳作

030101

「打手機鄒(Taso ci cou)的智慧」-探討鄒族手持趕鳥器之力學聲學及實際效能分析

學校名稱：嘉義縣立民和國民中學

作者： 國二 宋文心 國二 溫涵軒 國二 林琮倫	指導老師： 蔡明哲 洪龍月
-----------------------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：鄒族手持趕鳥器、聲學、力矩

摘要

本研究主要目的為探討鄒族手持趕鳥器之力學、聲學及實際效能。我們發現鄒族趕鳥器為省時費力機械，手持位置須遠離支點，製作最佳材料為桂竹>綠竹>麻竹，一節竹子長度越長可以打擊出較大響度聲響，寬度為 6.5cm 為最佳製作趕鳥器的寬度，竹節個數以二個為最佳的製作個數，新鮮的竹節製作出器響度和頻率較高的趕鳥器，但竹子放置乾燥後聲音會變清脆，反而可以出現除了基頻以外多個明顯的泛音，也非常適合作為打擊樂器素材，我們實際將音頻錄製後，置於小米飼料旁，發現響度高的鄒族趕鳥器音頻前四天可以有效降低鳥害，但鳥仍有耐受性，故每一支趕鳥器均有其價值，值得保存此珍貴祖先手工智慧。

壹、研究動機

每一年鄒族的小米豐收祭，是我最期待的鄒族團聚節慶之一，族人們會聚集到達邦部落舉行儀式感謝小米粟女神巴耶苓烏 (Ba'e ton'u)，感謝女神一年之內守護米倉的小米，替族人們向上蒼祈求有好的天氣並且在對的時間下雨。而正當頭目大聲呼喊：「感謝天神哈默 (Hamo)。」，我也疑問著現在還有族人利用祖靈的智慧在種植作物嗎?而在一百年前的鄒族部落社會，以焚山拓墾方式種植小米，是如何躲避小米病害及鳥害?利用祭典的休息時間，我將我的疑問詢問父親及長老，長老們向我介紹了一百年前就存在的趕鳥神器「鄒族手持趕鳥器」，長老說以往只有木頭及麻繩的年代，他們開發了風笛可以用來祈雨(廖彥婷，2007)，甚至用來嚇走敵人，但最大的功用仍然是用來趕鳥及驅趕野獸。但風笛的使用過程仍然具有極大的限制，畢竟靠近小米田會傷害農作物，而且非常的費力，而趕走鳥群一次後，每隔半小時又要使用，而後來日據時期部落引進竹子的種植以後，部落的先人們便利用智慧發明了手持趕鳥器，這項發明在一百多年前對於農業有極大的貢獻，而現今在達娜伊谷鄒族文化園區及族人們的特殊節慶被拿來當作樂器祭天及迎賓，因此鄒族手持趕鳥器的發明減少了大量的鳥害(曾祥恩，2015)，得以讓族人豐收及溫飽，而到了現今更是有文化傳承的意義。

回到學校後，我和同學分享這個鄒族古老智慧的神器，同學們都非常有興趣，想要深入探討怎樣製作趕鳥器會有最佳化的效果呢?而趕鳥器如果製成樂器，是否也可以和西洋樂器一樣，具有不同頻率的音符。為了探索這個祖靈的智慧，我們前往達邦部落訪問長老(如圖 1)，長老還很熱心的教授我們製作鄒族手持趕鳥器的技巧(如圖 2)，我原本以為趕鳥器製作

越大隻越長越好，但長老卻告訴我們並非如此，每一個趕鳥器有不同的頻率及響度，也並非越大隻響度就越大，而越長的趕鳥器反而女人及小孩拿不動(汪啟德，2020)，要如何創造最省力又可以最大聲、頻率又高或者趕鳥最有效的聲響呢?這引起我們的極大動機，現今社會不只有農作物必須要驅趕鳥類，飛機場也有趕鳥的需求，若是我們依據理化課所學習到聲音及力學科學知識，有辦法解開鄒族手持趕鳥器的秘密，並團結的深入研究，我想這也是鄒族天神哈莫(Homo)的旨意吧!



圖 1:研究中，我們前往達邦部落訪問汪長老

圖 2:長老逐步教授我們趕鳥器製作技巧

貳、研究目的




- 一、探討不同種類竹子製作出鄒族手持趕鳥器之力學、聲學及頻譜分析。
- 二、探討不同竹子直徑長度製作出鄒族手持趕鳥器之力學、聲學及頻譜分析。
- 三、探討不同竹子長度製作出鄒族手持趕鳥器之力學、聲學及頻譜分析。
- 四、探討不同竹節個數製作出鄒族手持趕鳥器之力學、聲學及頻譜分析。
- 五、探討手握鄒族手持趕鳥器位置(不同施力點)之力學、聲學及頻譜分析。
- 六、探討不同乾燥程度(存放時間)製作出鄒族手持趕鳥器之力學、聲學及頻譜分析。
- 七、以鄒族趕鳥器作為民族樂器，其基頻及泛音探討。
- 八、錄製最大響度及最高頻率之鄒族手持趕鳥器聲音，以不同聲響進行野外稻米守護測試。

參、研究設備與器材

- 一、鄒族手持趕鳥器製作需要之器材:

(一)、於阿里山可以取得之不同種類竹子。

表 1:阿里山取得能製作趕鳥器之不同種類竹子

照片			
竹子名稱 (學名)	圖 3:綠竹 (<i>Bambusa oldhamii</i>)	圖 4:麻竹 (<i>Dendrocalamus latiflorus</i>)	圖 5:台灣桂竹 (<i>Phyllostachys makinoi</i>)
採集地點	嘉義縣番路鄉大華公路	嘉義縣阿里山鄉達邦部落	嘉義縣番路鄉蒲尾村
經緯度	N:23.47° E:120.51°	N:23.45° E:120.75°	N:23.44° E:120.60°

(二)、製作鄒族趕鳥器之其餘器材。



圖 6:鄒族柴刀 圖 7:竹子切割刀 圖 8:照度計 圖 9:電線膠帶 圖 10:電子秤

二、TM-104 泰馬仕噪音計

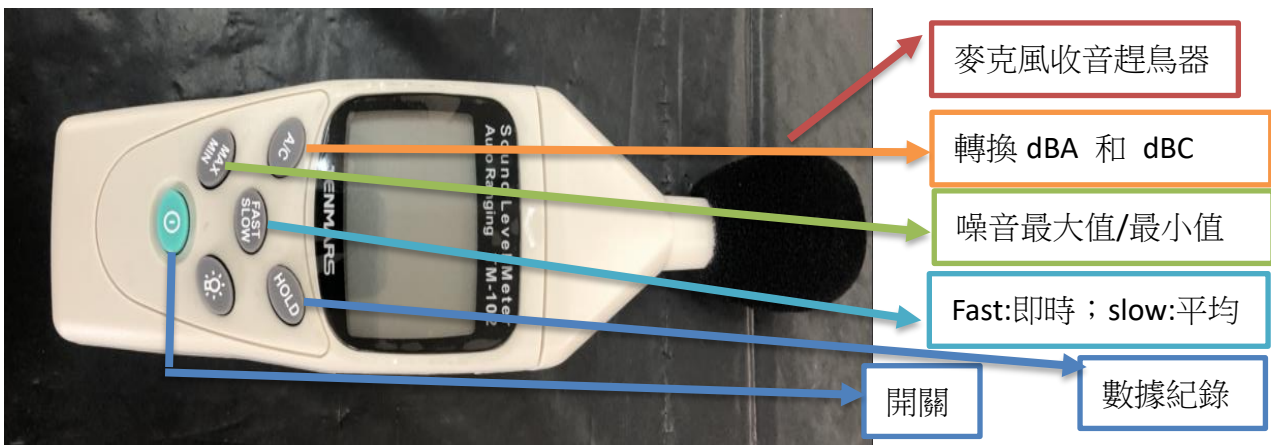








圖 11: TM-104 泰馬仕噪音計

三、鄒族手持趕鳥器的製作方式:

表 2:訪問達邦部落訪問長老後得知鄒族趕鳥器之製作方式(汪啟德，2021)

		
步驟 1:砍伐不同種類竹子	步驟 2:將竹子切割為 2~3 節	步驟 3:其中一節切割成中空
		
步驟 4:須鋸掉上下兩片竹板	步驟 5:從竹子中間鋸開讓	步驟 6:後端黏合處黏上膠帶




四、自製鄒族手持趕鳥器隔絕收音組設備:



圖 12: 自製鄒族手持趕鳥器隔絕收音組設備

五、實際進行不同聲波趕鳥之效果(依據不同校內不同光照量，進行 ABC 三個採樣點)

表 3: 實際進行不同聲波趕鳥之三個採樣點說明

採樣點	採樣點 A	採樣點 B	採樣點 C
實際擺放設計說明			
光照度	163.33±45.08 燭米	953.33±32.12 燭米	1917.33±36.46 燭米

我找到校園內光照度差異較大的三個地點(如表 3)，進行小米守護實驗，不同音頻每天記錄 10 克小米減少量進行二周重複實驗，並將每日三個點的數據進行平均數標準差分析。

六、研究器材:筆電、相機、攝影機、隨身碟、手機。



圖 13:溫溼度計



圖 14 藍芽喇叭



圖 15:粟小米桿



圖 16:粟小米粒

七、分析數據電腦程式: Auduio Director 11、Audacity 3.0、Tracker、座標 app、excel，本實驗數據分析之軟體均為免費或試用版自由軟體(free software)。

(一)、Auduio Director:去除環境噪音、移除破音、轉 wave 檔(圖 17)。

(二)、Audacity 3.0: 由 Auduio Director 去背後的 wave 檔進行波形分析、波形座標、波形頻率、最大分貝頻率、簡易頻譜分析(圖 18)。

(三)、Tracker 軌跡:分析趕鳥器之重心，上下竹片之振幅變化(圖 19)。

(四)、座標 app:記錄阿里山地區採竹子之地圖座標、海拔高度(圖 20)。



圖 17:Auduio Director



圖 18:Audacity 3.0



圖 19:Tracker 軌跡



圖 20:座標 app

肆、研究過程或方法

一、規劃鄒族有效手持趕鳥器之研究流程圖。

我們首先請益鄒族長老有關鄒族趕鳥器的演進及製作方法，回到學校後進行逐步式科學探究試圖找出最佳之趕鳥器設計，並分析鄒族趕鳥器作為傳統樂器的可能性(如圖 21)。

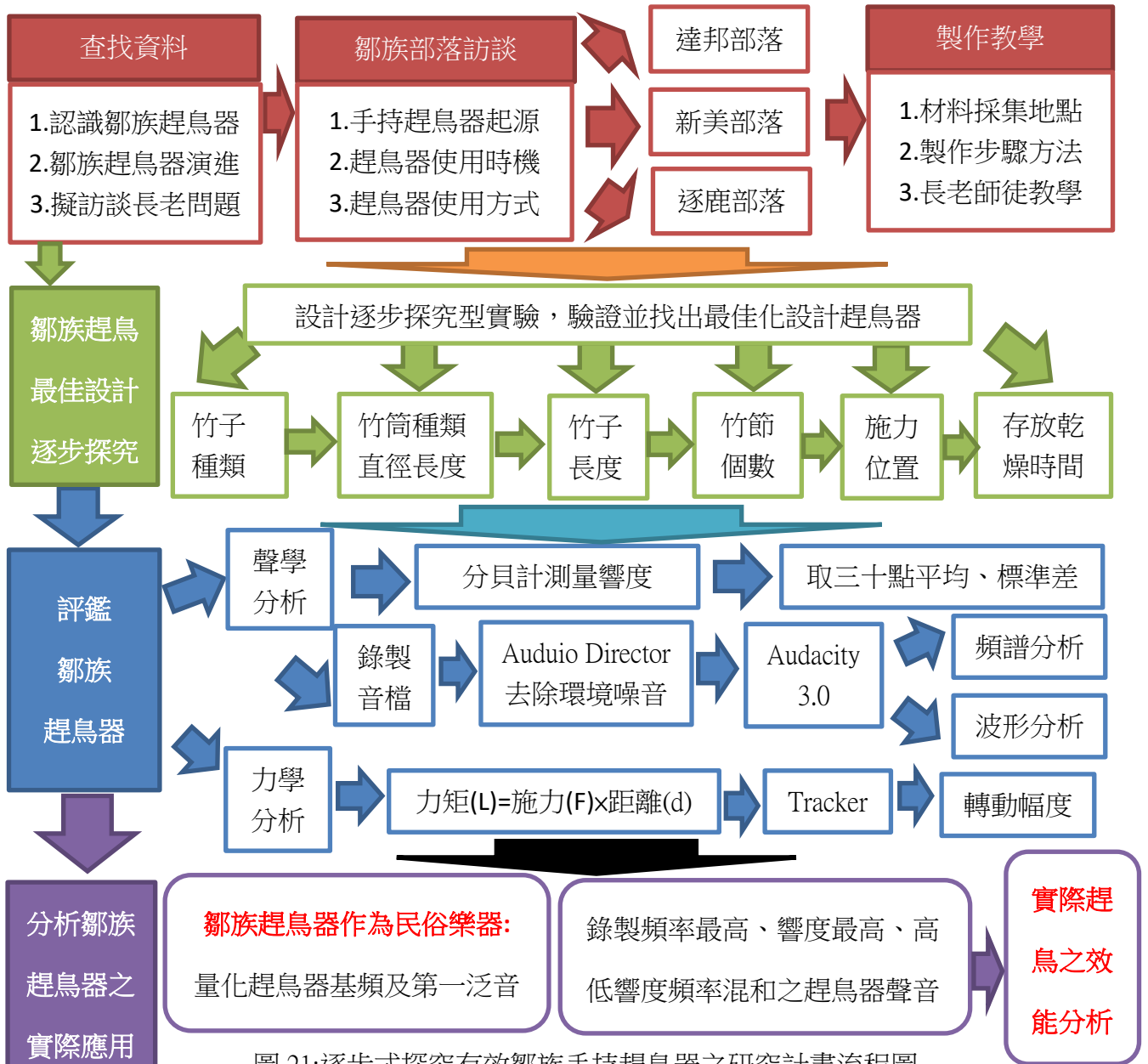


圖 21:逐步式探究有效鄒族手持趕鳥器之研究計畫流程圖

二、訪談鄒族長老趕鳥器的製作方式及相關文獻蒐集(汪啟德，2021；莊啟賢；2021)。

(一)、鄒族趕鳥器的演進:

1. 以往都使用風笛產生噪音，但風笛的使用太過費力，因此竹子從日據時期引進山區種植後，便有祖先發明目前研究器具「鄒族手持趕鳥器」。

2.鄒族手持趕鳥器使用了大約從日據時代至民國 40 幾年，鄒族人又開發出鄒族手拉式趕鳥器，省力許多，多個連拉又可以產生極大的噪音。

(二)、鄒族趕鳥器的製造:

1.製造方式及說明如研究設備與器材(表 2)。

2.砍竹子時間:最好取得竹子資源的時間為十二月至隔年的二月，剛好逢嘉義地區旱季，竹筒含水量少，雨季來臨時，雖可採竹筍，但竹子卻有感染病蟲害的可能。

3.若是趕鳥器因空氣濕度太濕而降低聲響，可放置家屋中的火爐烘烤，聲音回復。

(三)、鄒族對鳥的驅趕方式:

1.使用方式如國中物理所教授的簡單機械，如研究過程與方法六(圖)。

2.使用仍須人工驅趕，在鄒族新美部落、達邦部落及特富野部落仍有此技藝傳承。

三、探討趕鳥器之簡單機械機構及物理蘊含

(一)、鄒族趕鳥器機構說明:

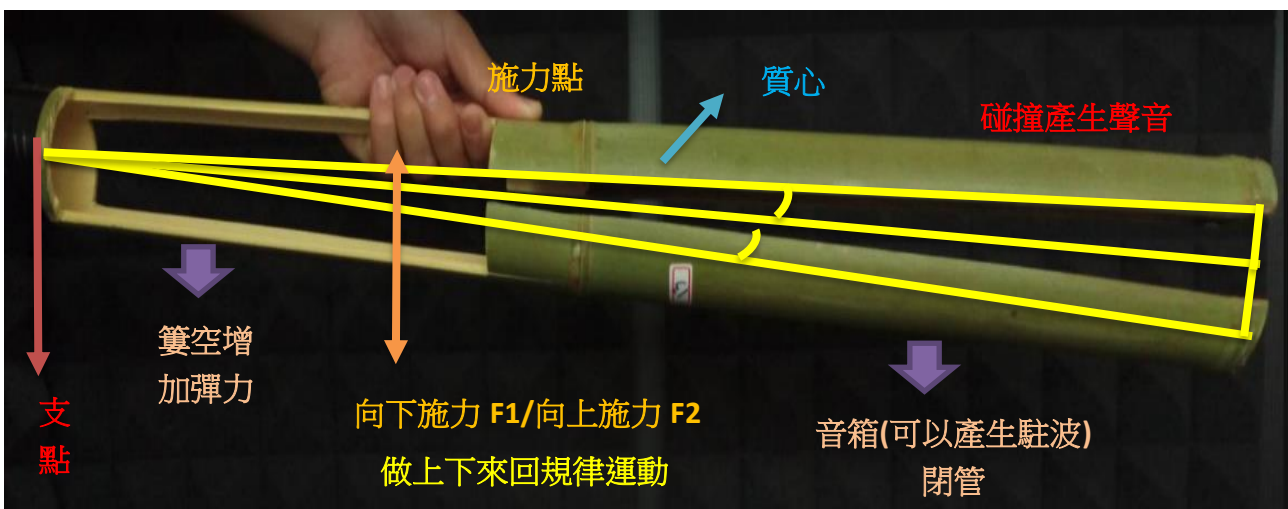


圖 22:鄒族手持趕鳥器簡單機械機構說明

(二)、簡單機械概念

1.此趕鳥器的施力臂 $<$ 抗力臂，因此施力必須大於抗力，為省時費力的簡單機械。

2.趕鳥器運作必須依靠兩個竹子的碰撞，第一節竹子籐空處為增加彈力位能，可以增加轉動的角度，並且增加轉動位移(Δx)。

3.依據轉動力矩(L)= F (施力) $\times d$ (力到轉動中心的垂直距離)，距離 d 與轉動角有關。

4.能量轉換為敲擊(向上及向下來回施力，做簡諧運動 S.H.M)，將碰撞感生的力學能

5.為了檢測做功的變化(W)，依據能量守恆，力學能會轉換為聲學。

6.因此要分析此項有意義之簡單機械，必須分析聲學及力學兩大物理學項度。

(三)、垂釣法測量質心及利用 Tracker 測量上下竹筒振幅位移(Δx)

1.我們認為鄒族手持趕鳥器的使用過程為簡諧運動(S.H.M)，具有上下來回震動的特性，我們必須研究上下兩個竹子之運動位移(振動幅度)及角度(振幅角度)。

2.我們必須了解質心的位置，並針對質心的運動軌跡進行測量，我們依據垂釣法分析出每一個鄒族趕鳥器的質心，利用繩子垂釣找出平衡點(圖 23)。

3.在質心(g)點上，貼一個黑色圓點貼紙，並利用 tracker 分析可自動追蹤質點，計算出上下竹子之質心位置變化(圖 24)。

4.計算出(Δx)，再計算出 $\theta 1$ ，計算方法如討論一。

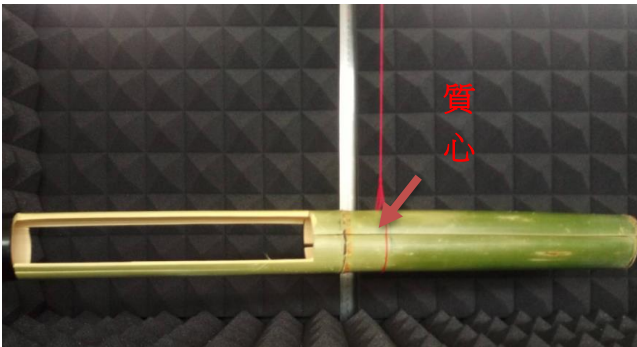


圖 23:垂釣法測量鄒族手持趕鳥器質心

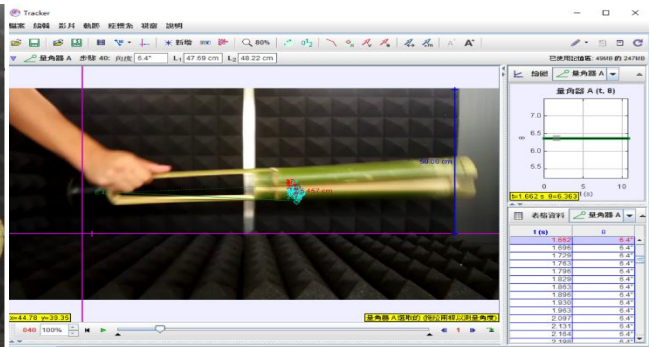


圖 24:利用 tracker 計算出質點運動位移變化

四、製作不同種類之實驗器材趕鳥器。

(一)、我們學習完製作趕鳥器之方法後，我們想要分析並製作出最佳趕鳥器之方法，因此我們進行逐步式探究分析以下變因，並找出響度最大及頻率最大之趕鳥器。

(二)、不同竹子種類製作出之趕鳥器。

1.在山區採集不同種類的竹子，盡量挑竹節長度相同的不同種類竹子。

2.取得綠竹、桂竹及麻竹的兩個竹節(竹節長度盡量相同)，竹節長度均為 40 公分，寬度均為 5 公分(圖 25)。

3.製作成鄒族手持趕鳥器，並進行錄音錄影，再程式分析力學及聲學的數據。

(三)、在固定竹節長度的情況下，不同直徑長度(寬度)製作出之趕鳥器。

1.選取桂竹為製作趕鳥器的竹子，並選取兩組竹子，分別為以下 A 組及 B 組:

(1).A 組:竹節長度均為 40 公分之竹子(共 80 公分)，找尋三支分別寬度為 5cm、

6.5cm 及 8cm 之竹子(圖 26)。

(2).B 組:竹節長度均為 20 公分之竹子(共 80 公分)，找尋二支分別寬度為 5cm 及 8cm 之竹子(圖 29)。

2.製作成鄒族手持趕鳥器，並進行錄音錄影，再程式分析力學及聲學的數據。

(四)、在固定竹節寬度的情況下，不同竹子長度製作出之趕鳥器。

1.選取桂竹為製作之材料，選取寬度均為 5cm 之竹子，一節長度分別為 40cm、50cm 及 60cm 之桂竹(圖 27)。

2.製作成鄒族手持趕鳥器，並進行錄音錄影，再程式分析力學及聲學的數據。

(五)、不同竹節個數之鄒族手持趕鳥器。

1.選取桂竹為材料，每節竹子長度大約為 25 公分，收集 2 節、3 節及 4 節(圖 28)。

2.製作成鄒族手持趕鳥器，並進行錄音錄影，再程式分析力學及聲學的數據。

(六)、不同施力位置之鄒族趕鳥器。

1.選取桂竹製作之 寬 5 公分，長度 60 公分之鄒族趕鳥器。

2.將手的位置放於施力點 A(靠近支點)(圖 31)、施力點 B(簍空中點)(圖 32)，及施力點 C(遠離支點)(圖 33)之位置。

(七)、不同乾燥存放時間之鄒族趕鳥器。

1.選取桂竹三支之寬 5 公分，長度 60 公分之竹子，製作成趕鳥器，一支為新鮮趕鳥器、一支放置二個月(陰乾二個月)，一支放置 6 個月(陰乾 6 個月)(圖 30)。

2.錄製 10 秒影片及聲音，再程式分析力學及聲學的數據。

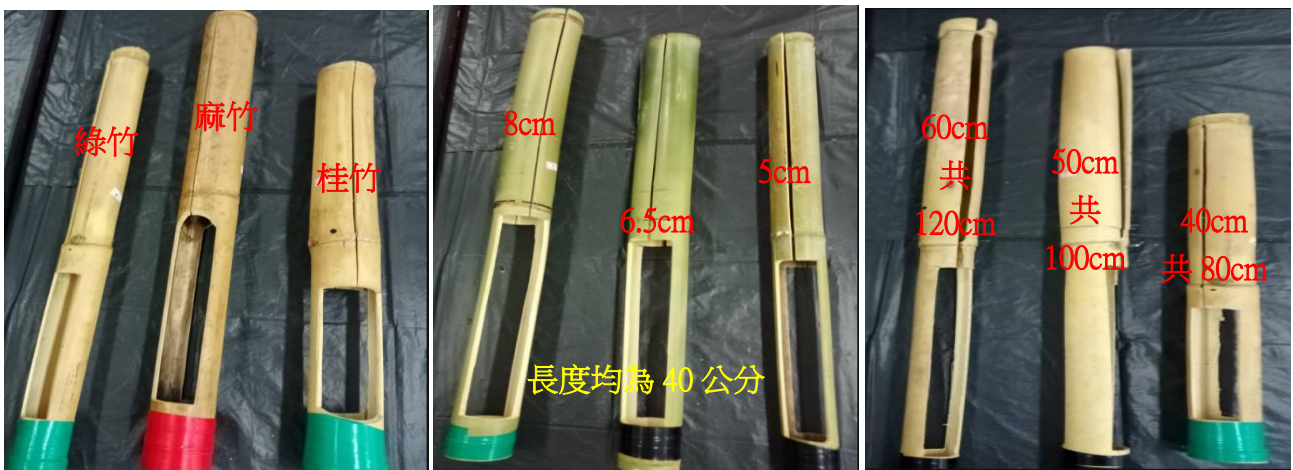


圖 25:不同竹子種類趕鳥器

圖 26:不同寬度趕鳥器(A 組)

圖 27:不同長度之趕鳥器



圖 28:不同竹節個數之趕鳥器

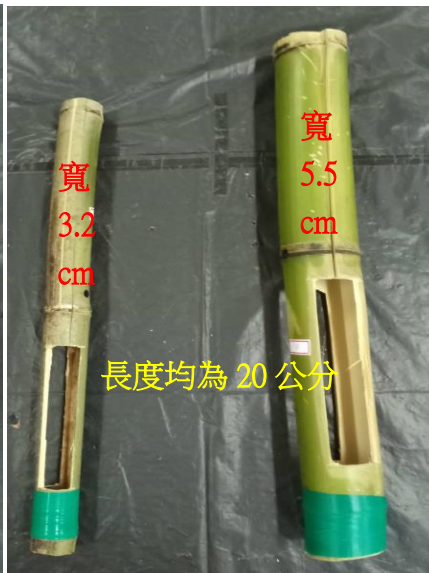


圖 29:不同寬度趕鳥器(B 組)



圖 30:不同乾燥時間之趕鳥器

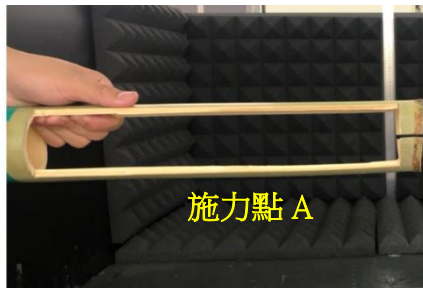


圖 31:施力點 A 位置



圖 32:施力點 B 位置



圖 33:施力點 C 位置

五、聲音的物理公式蘊含探討。

(一)、聲波

聲波(Sound Wave)是聲音的一種傳播形式，聲波傳遞的空間就稱為聲場，本次實驗的聲場設定為 25°C，相對溼度 55%，聲波在液體與氣體內傳播為縱波(介質運動方向與波形平行)，而聲波也是壓力的簡諧運動(S.H.M)，是一種介質在橫向來回的運動，因為聲波傳遞是屬於波的運動，符合以下物理公式:

$$V(\text{波速})=f(\text{頻率})\times \lambda (\text{波長})\cdots\cdots(1)$$

$$V(\text{聲速})=331.5+0.607T\cdots\cdots(2)$$

其中 T=溫度，以 °C 為單位，V 以 m(公尺)/s(秒)為單位，本實驗施測時測量溫度為 25°C，帶入公式後獲得 $V=346.5\text{m/s}$ ，經由 Audacity 3.0 圖譜分析，又可以求得平均波長(λ)，及最大分貝時的頻率(f)，即可以求得趕鳥器之平均頻率(f)。

因為聲音為一個會傳遞能量的波，故波的描述，會依據下列三種項度進行分析

- 1.響度:與聲音震動的幅度相關，單位使用分貝(dBA)。

2.頻率:一秒鐘震動的次數有關，單位使用赫茲(Hz)。

3.波型:依據 Audacity 3.0 圖譜分析之縱波形狀。

(二)、共振駐波(standing wave)

聲音在相同介質中傳遞時，如有兩個波長(λ)、頻率(f)及週期(T)和波速(V)均相同的正弦波，相向而行干涉後而成的合成波，駐波的波形無法前進，與一般的能量不同，因此無法傳遞能量，駐波通過時，質點均做簡諧運動(S.H.M)，振幅為 0 的稱為節點(Node)，振幅最大位於兩個節點之間，稱為腹點(Antinode)，當在共鳴管中形成駐波的頻率與管外的另一個共鳴管頻率相同時會產生共鳴現象，當共鳴管形成駐波時，在開口端處為波腹，閉口端為節點。

表 4:閉管駐波之比較表格(n、管長、駐波頻率、名稱、節點及腹點)

閉管的駐波	n	管長(波長)	駐波頻率	名稱	名稱	節點	腹點
	n=1	$L=1/4\lambda$	$f=v/4L$	第一諧音	基音	1	1
	n=3	$L=3/4\lambda$	$f=3v/4L$	第三諧音	第一泛音	2	2
	n=5	$L=5/4\lambda$	$f=5v/4L$	第五諧音	第二泛音	3	3

(三)、閉管管口的修正量

管內空氣駐形成駐波時，管口並非唯一波的波腹，必須用以下公式修正波長:

$$\lambda = 4(l+c) \quad \text{【}\lambda \text{ 為波長；} c \text{:波腹與管口的距離；} l \text{:} \text{】}$$

六、實驗方式與響度頻率數據測量

(一)、本實驗採納兩種分析，分別分析聲音響度(單位:分貝(db)，及頻率(Hz)

(二)、第一種分析為拿噪音計測量分貝，進行 30 次取樣，記取平均數及標準差，同時蒐集以下兩種數據，分別為機器感測噪音(dBA)及人體感測噪音(dBA)。

(三)、第二種方式為每一種趕鳥器錄音 10 秒鐘，再放入錄音程式 Audio Director 去除噪音及破音，轉為 wave 檔，再將程式放入 Audacity 3.0 中進行頻譜分析。

(四)、從頻譜分析中，找出基音及第一泛音。

七、探討嘉義及阿里山地區必須趕鳥之時間。

(一)、進行前置實驗:找出適合小鳥吃的食物為粟小米(白米及燕麥鳥害較少)。

(二)、將小米秤重 10 公克置於實驗盆中，每隔一小時看小米下降的克數。

(三)、找尋校內鳥類(麻雀)出現最多之採樣點 A、採樣點 B、及採樣點 C。

(四)、將錄製好目前製作響度最大、頻率最高之音頻 A、音頻 B 匯入隨身碟內，並錄製每隔 3 分鐘打一次響度大之趕鳥器音頻，製作為音頻 C。

(五)、將音頻 A、音頻 B 及音頻 C 分別匯入藍芽喇叭內，二週內間隔放置 A、B、C 三種聲頻，找出最佳可以趕鳥之音頻。

伍、研究結果

一、探討不同種類竹子製作出鄒族手持趕鳥器之力學、聲學及頻譜分析(FFT 圖)。

(一)、不同竹子種類竹子製作出鄒族手持趕鳥器之響度(dBA)、及頻率分析。

表 5:不同竹子鄒族趕鳥器之響度大小

單位:分貝	平均數(M)	標準差(SD)
綠竹	92.43	4.7
桂竹	98.28	5.3
麻竹	87.41	4.5

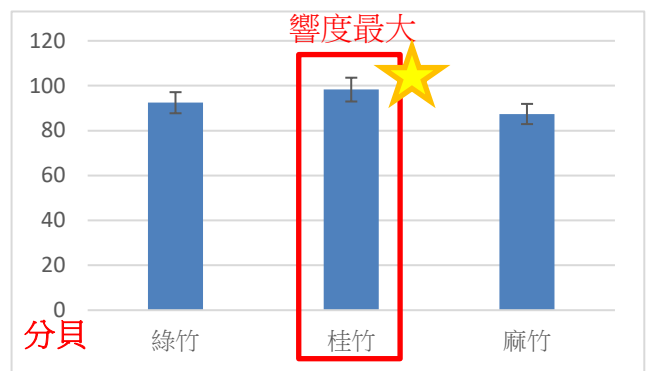


圖 34:不同竹子製造趕鳥器之響度大小

表 6: 不同竹子鄒族趕鳥器之響度大小

頻率(Hz)	一個波之 f	(最大分貝/頻率)
綠竹	6.2(Hz)	(112dB/1124Hz)
桂竹	6.3(Hz)	(121dB/1396Hz)
麻竹	5.8(Hz)	(116dB/632Hz)

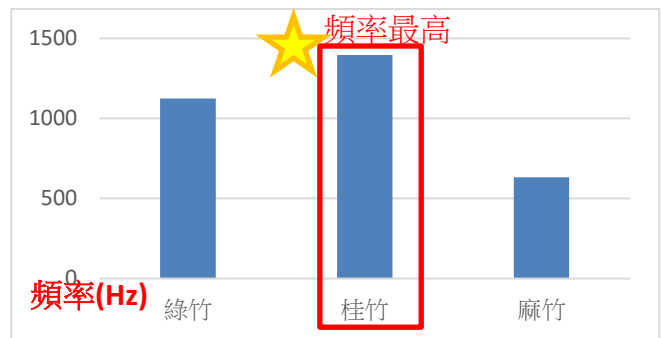


圖 35:不同竹子製造趕鳥器之頻率大小

(二)、不同竹子種類竹子製作出鄒族手持趕鳥器之波形及頻譜分析。

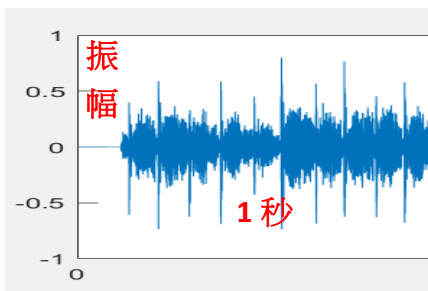


圖 36:綠竹趕鳥器之波形

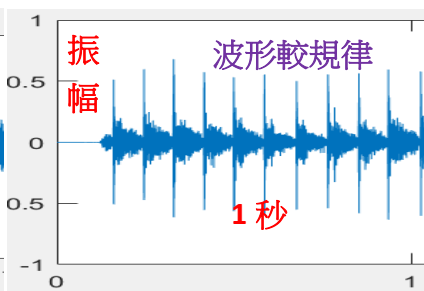


圖 37:桂竹趕鳥器之波形

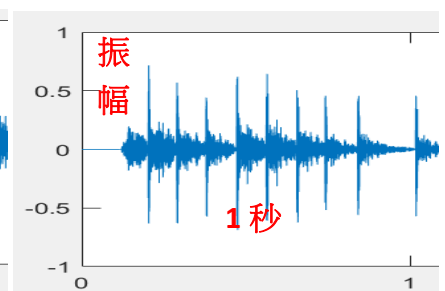


圖 38:麻竹趕鳥器之波形

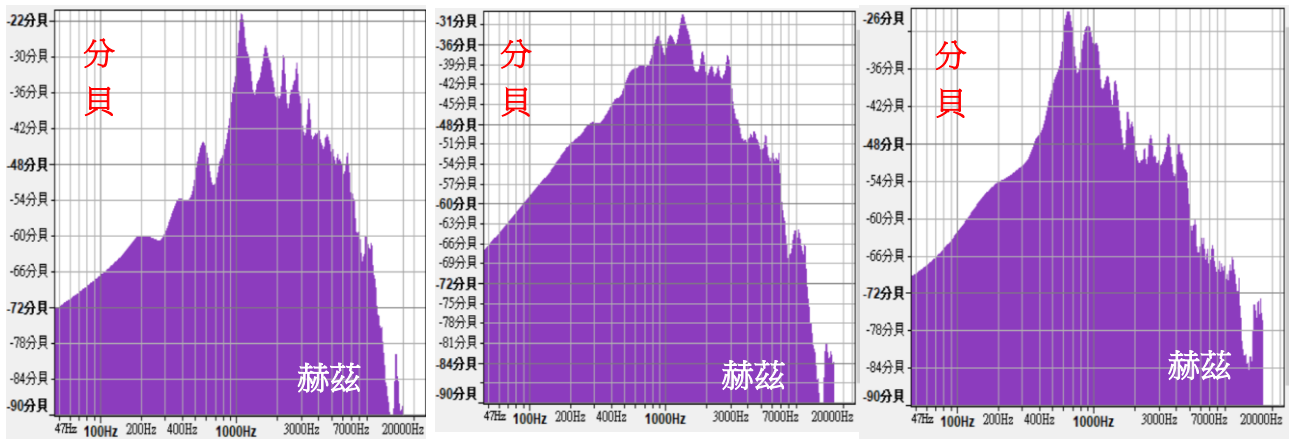


圖 39:綠竹趕鳥器之頻譜分析 圖 40:桂竹趕鳥器之頻譜分析 圖 41:麻竹趕鳥器之頻譜分析

(三)、不同竹子種類竹子製作出鄒族手持趕鳥器之振幅及振動角度比較。

表 7:不同竹子種類竹子製作出鄒族手持趕鳥器之振幅及振動角度比較

	上片振幅角(θ_1)	下片振幅角(θ_2)	上片振幅位移(X_1)	下片振幅位移(X_2)
綠竹	6.6°	7.8°	5.8cm	6.1cm
桂竹	6.7°	7.1°	6.6cm	7.0cm
麻竹	4.3°	5.9°	4.9 cm	5.7 cm

(四)、結果說明:

1. 三個竹子種類(綠竹、桂竹及麻竹)進行分貝計測量及電腦程式音檔分析實驗當中，結果以桂竹的響度分貝(db)最大(如表 5)，所能產生的頻率也最高(如表 6)。
2. 以電腦程式分析波形，依據我們觀察三種竹子產生的波形圖後(圖 36~圖 38)，雖然綠竹的平均振幅較桂竹大，但桂竹產生的波型最具有有規律性(圖 37)，而且桂竹音頻一個波的平均頻率相較於其他三種竹子高(表 6)。
3. 將音頻進行 Audacity 3.0 程式的頻譜分析，結果如圖 39~圖 41，曲線下的面積代表能量，面積越大代表能量越高。三種竹子的頻譜分析當中以桂竹的頻譜分析圖中面積分布較大，可知單位時間產生的能量也最多。
4. 我們在 tracker 程式將錄影的結果進行分析，利用三角形數學公式餘弦定理求出鄒族趕鳥器之上下片振幅角，角度求出方法如討論一，比較三種竹子運動進行之上下片振幅角後，發現桂竹所產生的上下片振幅角及位移最大，產生力矩最大。
5. 我們同時分析聲音之響度、頻率及頻譜分析結果，又以力學之力矩及振幅角及振

幅位移，可推桂竹是三種樣品最佳趕鳥的竹子，因此接下來實驗以桂竹為材料。

(五)、進階討論:在阿里山地區，綠竹、桂竹及麻竹為三種較常見的竹子種類，我們的實驗結果支持桂竹為最適合製作趕鳥器的材料，我們使用的竹子均為一節 60 公分之竹子，寬度均為 6 公分，可知竹筒 (共振音箱)大小並未相距太大，因此我們接著測量竹管內部厚度(圖 42)，其結果如表 8，發現桂竹的內部寬度相較其他種竹子寬，我們推估桂竹為最佳材料的原因為莖節維管束內部構造、細胞壁木質素密度及材質鮮採含水量所導致(表 8)。

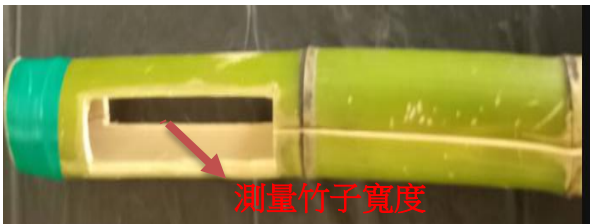


圖 42:竹子內部厚度寬度測量(新鮮竹子)

表 8:三種竹子之內部(樣本數=3)

寬度/種類	綠竹	桂竹	麻竹
平均寬度(cm)	1.6 cm	2.3 cm	1.9 cm
平均重量(g)	359g	523g	459g

二、探討不同竹子直徑長度製作出鄒族手持趕鳥器之力學、聲學及頻譜分析(FFT 圖)。

(一)、不同竹子直徑長度製作出鄒族手持趕鳥器之響度(dBA)、及頻率分析。

表 9:A 組不同直徑長度趕鳥器之響度

單位:分貝	平均數(M)	標準差(SD)
5 公分	85.88	2.56
6.5 公分	101.22	3.86
8 公分	93.92	5.76

表 10:B 組不同直徑長度趕鳥器之響度

單位:分貝	平均數(M)	標準差(SD)
3.2 公分	85.75	6.19
5.5 公分	83.07	3.11

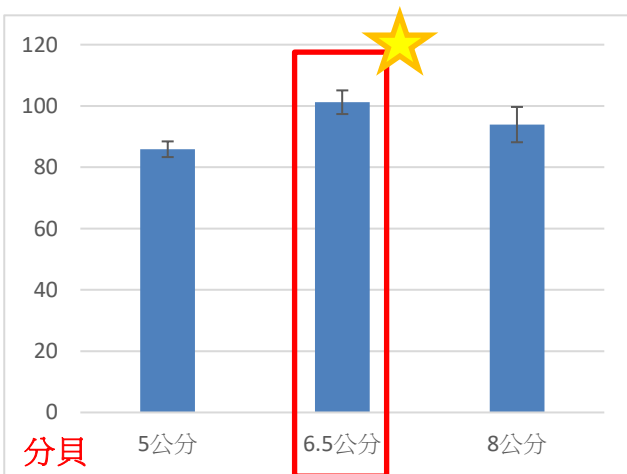


圖 43:A 組不同直徑長度趕鳥器之響度作圖

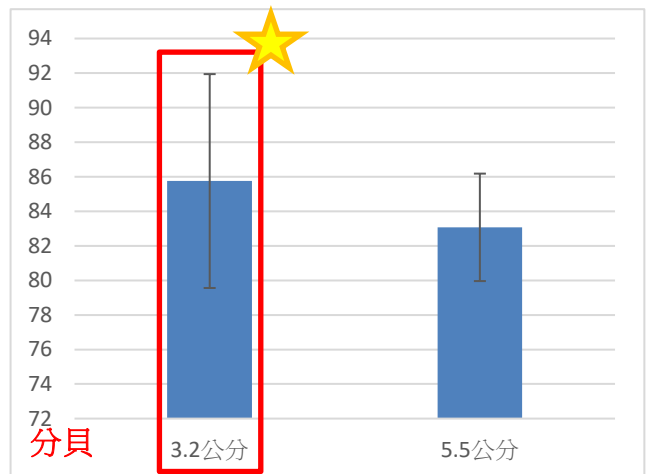


圖 44:B 組不同直徑長度趕鳥器之響度作圖

表 11: A 組 B 組不同直徑長度趕鳥器頻率

頻率(Hz)	一個波之 f	(最大分貝/頻率)
A:5cm	5.2(Hz)	(115dB/1121Hz)
A:6.5 cm	5.3(Hz)	(114dB/1237Hz)
A:8 cm	5.1(Hz)	(113dB/1019Hz)
B:3.2cm	5.2(Hz)	(124dB/2312Hz)
B:5.5cm	5.3(Hz)	(123dB/1366Hz)

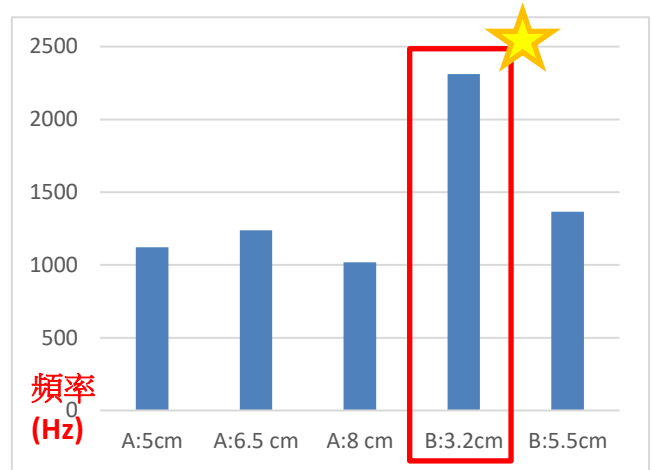


圖 45: A B 組不同直徑長度趕鳥器最大頻率

(二)、不同竹子直徑長度製作出鄒族手持趕鳥器之波形及頻譜分析。

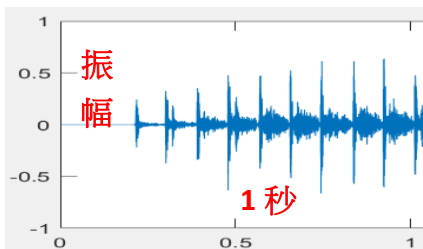


圖 46:A 組寬 5cm 之波形

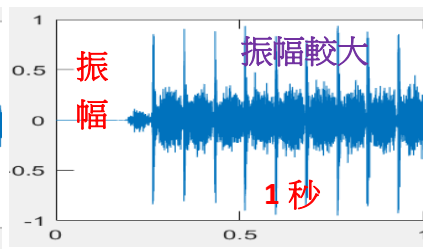


圖 47:A 組寬 6.5cm 之波形

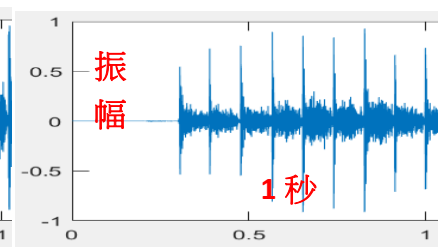


圖 48:A 組寬 8cm 之波形

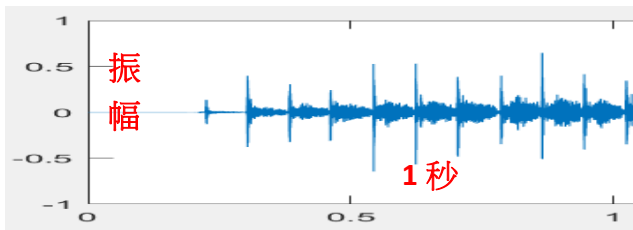


圖 49: B 組寬 3.2cm(節長 20)之波形

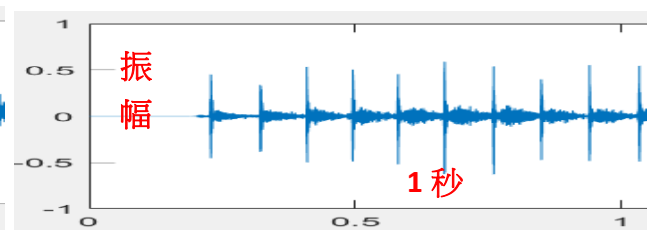


圖 50: B 組寬 5.5cm(節長 20)之波形

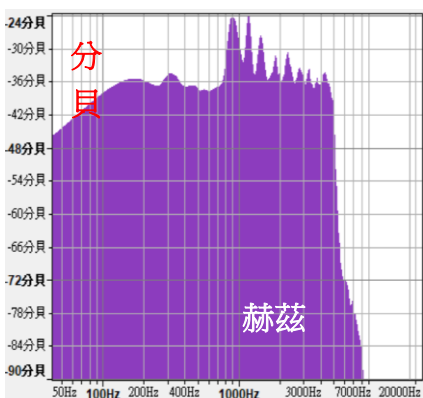


圖 51: A 組寬 6.5cm 頻譜分析

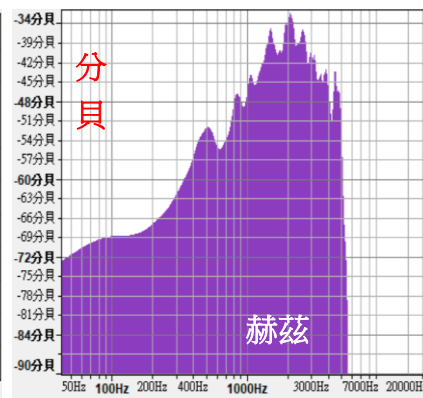


圖 52: B 組寬 3.2cm 頻譜分析

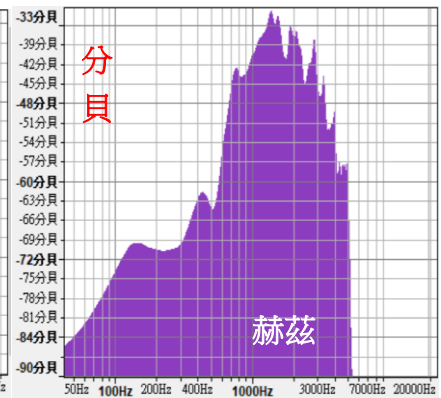


圖 53: B 組寬 5.5cm 頻譜分析

(三)、不同竹子直徑長度製作出鄒族手持趕鳥器之振幅及振動角度比較。

表 12:不同竹子直徑長度製作出鄒族手持趕鳥器之振幅及振動角度比較

A 組	上片振幅角(θ_1)	下片振幅角(θ_2)	上片振幅位移(X_1)	下片振幅位移(X_2)
-----	---------------------	---------------------	-----------------	-----------------

5 公分	4.9°	5.7°	5.7 cm	5.9 cm
6.5 公分	6.3°	6.7°	5.6cm	6.0cm
8 公分	4.9°	6.0°	5.8cm	7.5cm
B 組	上片振幅角(θ_1)	下片振幅角(θ_2)	上片振幅位移(X ₁)	下片振幅位移(X ₂)
3.2 公分	8.5°	9.4°	4.9 cm	5.9 cm
5.5 公分	8.7°	10.8°	5.6cm	6.0cm

(四)、結果說明:

1. 趕鳥器不符合越寬度越寬響度越大的假設(寬度 6.5cm 響度>8.5cm)，其中長度 40cm 的條件下，寬 6.5cm 響度與頻率均越大(圖 43)，力學振幅角與聲學響度呈現相同趨勢。
2. A 組的平均響度大於 B 組(表 9)，但頻率與最大響度卻比長度 20cm 的 B 組還要小(表 10)，最大響度與平均響度在兩組趨勢不同(圖 45)，聲學與力學趨勢詳如討論一二。
3. 頻譜分析結果及可以看到 A 組寬度 6.5cm 的頻譜面積(圖 51)明顯比 B 組的大，但 B 組的峰值卻比 A 組高(圖 52、圖 53)，由此可知長短趕鳥器均有其效能聲學特色。

三、探討不同竹子長度製作出鄒族手持趕鳥器之力學、聲學及頻譜分析。

(一)、不同竹子長度製作出鄒族手持趕鳥器之響度(dBA)、及頻率分析。

表 13:不同竹子長度製作趕鳥器之響度

單位:分貝	平均數(M)	標準差(SD)
長:40cm	93.98	4.23
長:50cm	97.21	5.56
長:60cm	99.85	5.13

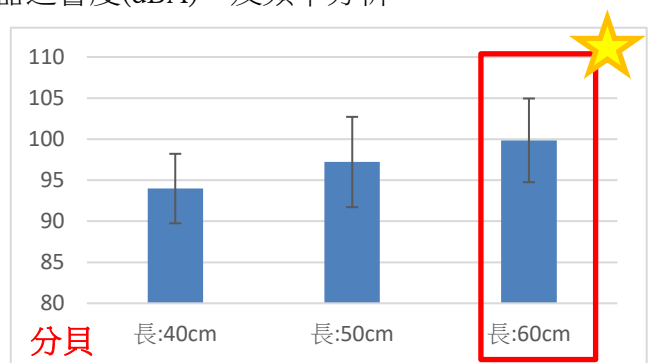


圖 54: 不同竹子長度製作趕鳥器響度作圖

表 14:不同竹子長度製作趕鳥器之頻率

頻率(Hz)	一個波之 f	(最大分貝/頻率)
長:40cm	5.3(Hz)	(118dB/1139Hz)
長:50cm	5.1(Hz)	(119dB/1435Hz)
長:60cm	5.2(Hz)	(120dB/1637Hz)

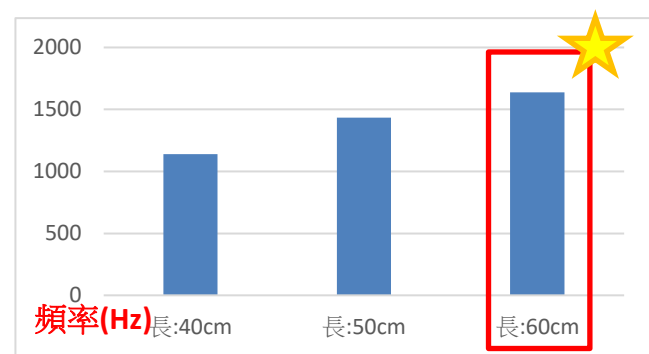


圖 55:不同竹子長度趕鳥器最大頻率作圖

(二)、不同竹子長度製作出鄒族手持趕鳥器之波形及頻譜分析。

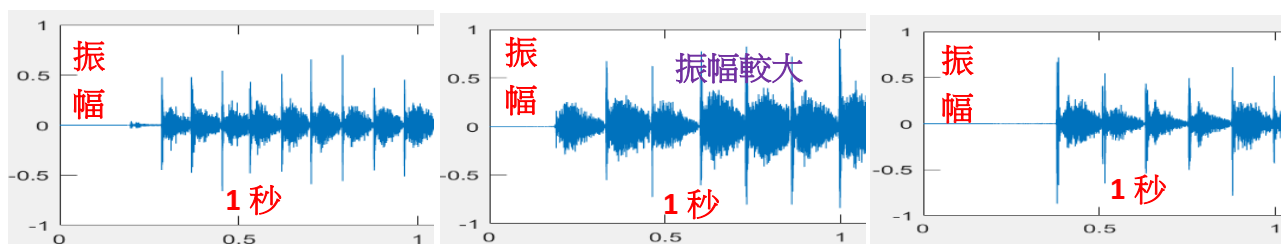


圖 56:竹節長 40cm 之波形

圖 57:竹節長 50cm 之波形

圖 58:竹節長 60cm 之波形

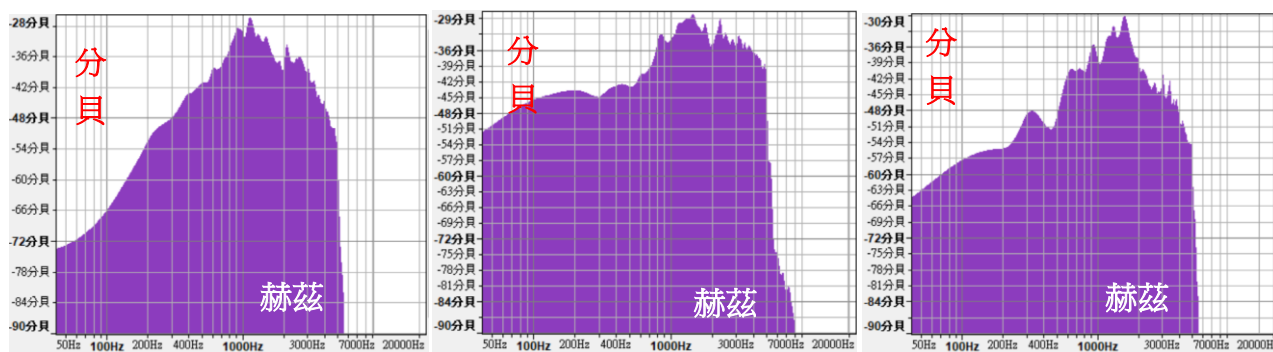


圖 59: 竹節 40cm 頻譜分析

圖 60: 竹節 50cm 頻譜分析

圖 61: 竹節 60cm 頻譜分析

(三)、不同竹子長度製作出鄒族手持趕鳥器之振幅及振動角度比較。

表 15:不同竹子長度製作出鄒族手持趕鳥器之振幅及振動角度比較

	上片振幅角(θ_1)	下片振幅角(θ_2)	上片振幅位移(X_1)	下片振幅位移(X_2)
長度 40cm	5.2°	6.0°	5.4 cm	6.2 cm
長度 50cm	6.0°	6.6°	7.5cm	8.9cm
長度 60cm	7.5°	8.2°	10.5cm	10.9cm

(四)、結果說明:

1. 依據噪音計及簡易頻譜分析圖的結果均呈現竹節長度越長響度越大(表 13)、最大頻率也最高(表 14)，我們推估在寬度均相同的狀態下，長度越長則竹筒(音箱)的體積越大，則共振駐波的疊加效果越高，因此頻率與響度均越大(圖 54、圖 55)，簡易頻譜分析圖譜中，50cm 及 60cm 能量(面積)明顯大於 40cm(圖 59~圖 61)。
2. 力學分析中，我們發現振幅位移和角度振福的結果，均呈現節長 60cm>50cm>40cm(表 15)，力學與聲學趨勢相符。

四、探討不同竹節個數製作出鄒族手持趕鳥器之力學、聲學及頻譜分析。

(一)、不同竹節個數製作出鄒族手持趕鳥器之響度(dBA)、及頻率分析。

表 16: 不同竹節個數製作趕鳥器之響度

單位:分貝	平均數(M)	標準差(SD)
二個竹節	83.46	5.64
三個竹節	86.65	7.22
四個竹節	92.74	6.42

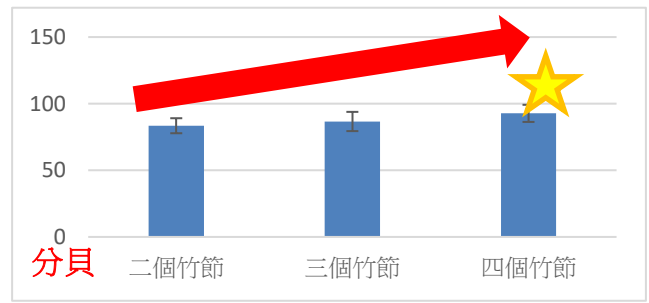


圖 62:不同竹節個數製作趕鳥器之響度

表 17: 不同竹節個數製作趕鳥器之頻率

頻率(Hz)	一個波之 f	(最大分貝/頻率)
二竹節	6.3(Hz)	(127dB/2322Hz)
三竹節	6.1(Hz)	(113dB/1032Hz)
四竹節	2.2(Hz)	(125dB/638Hz)

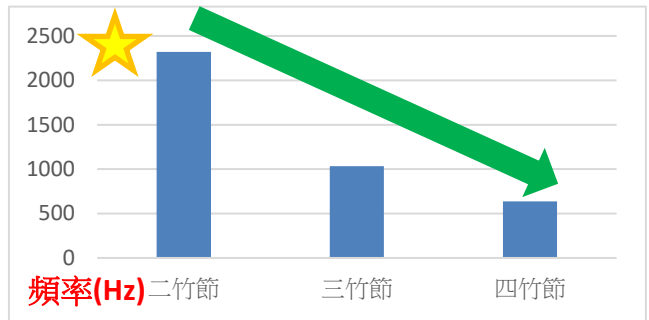


圖 63:不同竹節個數製作趕鳥器之最大頻率

(二)、不同竹節個數製作出鄒族手持趕鳥器之波形及頻譜分析。

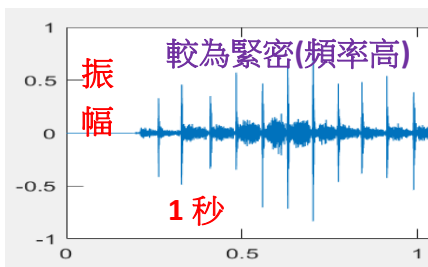


圖 64:二竹節之波形圖

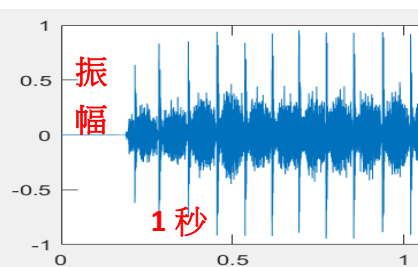


圖 65:三竹節之波形圖

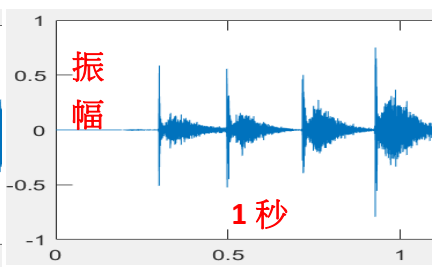


圖 66:四竹節之波形圖

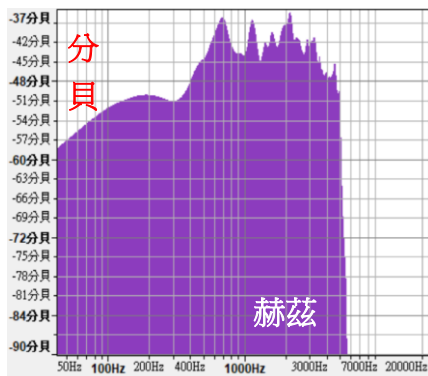


圖 67:二竹節之頻譜分析圖

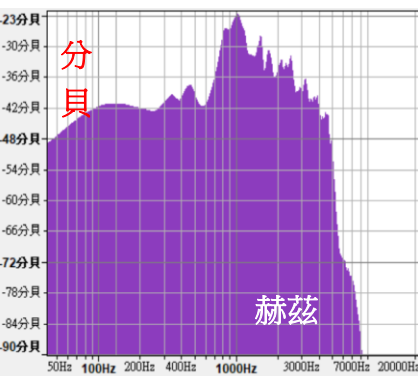


圖 68:三竹節之頻譜分析圖

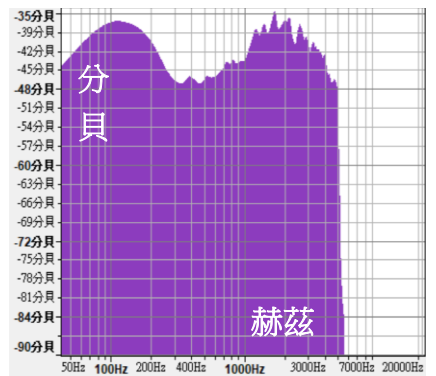


圖 69:四竹節之頻譜分析圖

(三)、不同竹節個數製作出鄒族手持趕鳥器之振幅及振動角度比較。

表 18: 不同竹節個數製作出鄒族手持趕鳥器之振幅及振動角度比較表格

	上片振幅角(θ_1)	下片振幅角(θ_2)	上片振幅位移(X_1)	下片振幅位移(X_2)
二個竹節	8.4°	9.1°	5.5 cm	6.1 cm

三個竹節	5.4°	6.8°	4.3cm	6.4cm
四個竹節	4.9°	5.4°	7.5cm	8.6cm

(四)、結果說明:

1. 竹節數增加，同時會增加音箱個數及總長度，在力學分析上，我們發現角度震幅變大，位移的確增大(表 18)，響度也的確增加(圖 62)，但頻率卻下降(圖 63)。
2. 雖然四個竹節響度較大(表 16)，和兩個竹節相比四個竹節重量變重(1.8kg>600g)，卻有單手拿和趕鳥器上下片對不準的兩個問題，反而有失去趕鳥持久的優勢。

五、探討手握鄒族手持趕鳥器位置(不同施力點)之力學、聲學及頻譜分析(FFT 圖)。

(一)、不同施力點之鄒族手持趕鳥器之響度(dBA)、及頻率分析。

表 19:不同施力點趕鳥器響度(dBA)比較表

	位置	平均 dB	標準差
施力點 A	近支點	84.68	2.78
施力點 B	簍空中心	101.38	2.17
施力點 C	遠支點	104.05	0.92

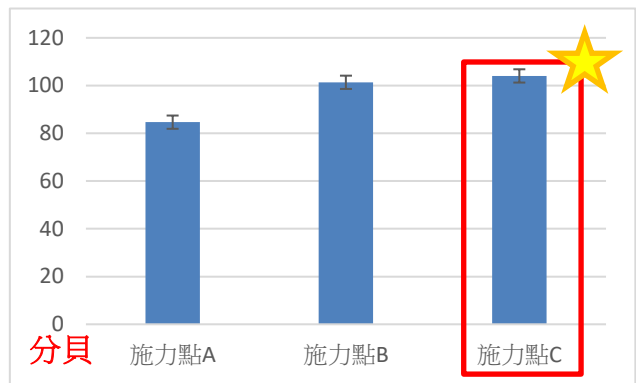


圖 70:不同施力點趕鳥器響度(dBA)比較

表 20:不同施力點趕鳥器頻率比較表

	一個波之 f	(最大分貝/頻率)
施力點 A	5.8(Hz)	(115dB/707Hz)
施力點 B	4.2(Hz)	(116dB/1015Hz)
施力點 C	5.2(Hz)	(115dB/1015Hz)

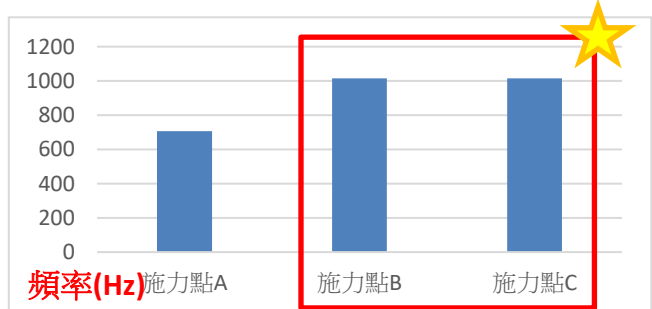


圖 71:不同施力點趕鳥器最大頻率比較

(二)、不同施力點之鄒族手持趕鳥器之波形及頻譜分析。

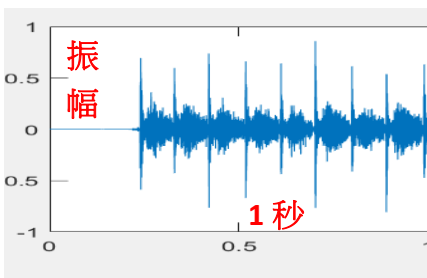


圖 72:施力點 A 之波形圖

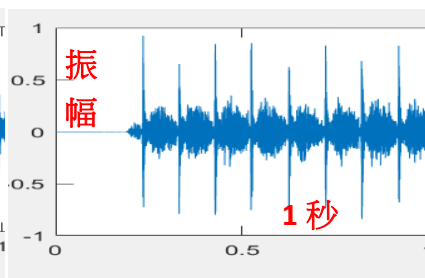


圖 73:施力點 B 之波形圖

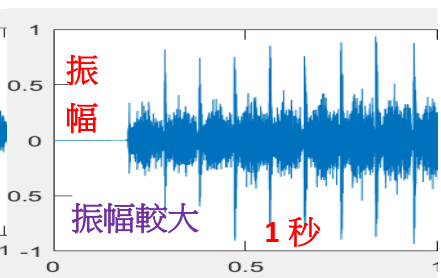


圖 74:施力點 C 之波形圖

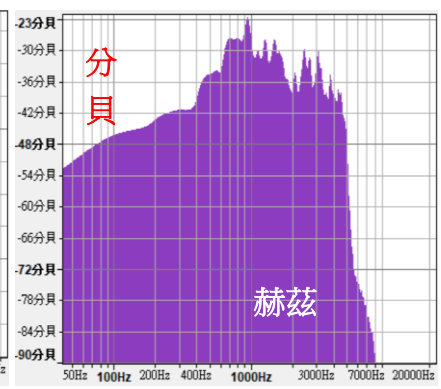
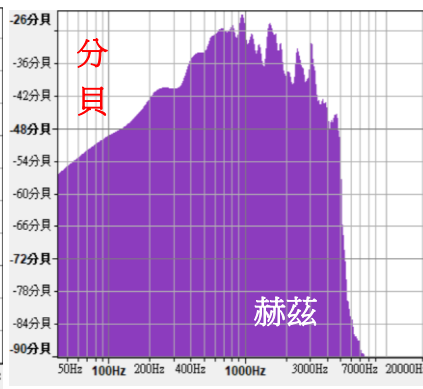
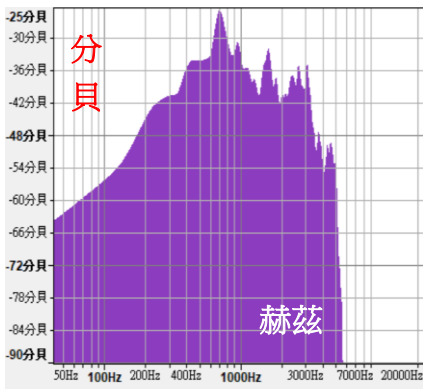


圖 75:施力點 A 之頻譜分析

圖 76:施力點 B 之頻譜分析

圖 77:施力點 C 之頻譜分析

(三)、不同施力點之鄒族手持趕鳥器之振幅及振動角度比較。

表 21:不同施力點之鄒族手持趕鳥器之振幅及振動角度比較

	上片振幅角(θ_1)	下片振幅角(θ_2)	上片振幅位移(X_1)	下片振幅位移(X_2)
施力點 A	6.1°	6.4°	5.1 cm	5.4 cm
施力點 B	5.0°	7.1°	5.7cm	6.3cm
施力點 C	6.6°	6.9°	4.9cm	6.3cm

(四)、結果說明:

1. 依據力矩公式， L 力矩= F (施力) $\times d$ (距離)，因為同一個人使用趕鳥器假設施力相同， d 距離為支點到施力點的位置，因此施力距離支點越遠產生的力矩就越大，力矩越大振幅角及位移就越大(表 21)，能量就越大(圖 75~圖 77)，
2. 因為能量守恆，則也可以看到遠離支點響度越大(圖 71)，在波形圖中同樣可以看見遠離支點振幅越大的現象(圖 74)，但頻率 B、C 點並無明顯差異(圖 71)，綜合結果，C 為最好施力位置但較難握住，因此 B 和 C 兩個施力點均可進行實驗。

六、探討不同乾燥程度(存放時間)製作出鄒族手持趕鳥器之力學、聲學及頻譜分析。

(一)、不同竹節個數製作出鄒族手持趕鳥器之響度(dBA)、及頻率分析。

表 22:不同乾燥程度製作趕鳥器之響度

單位:分貝	平均數(M)	標準差(SD)
新鮮	97.66	4.99
二個月	93.193	5.07
六個月	87.71	7.02

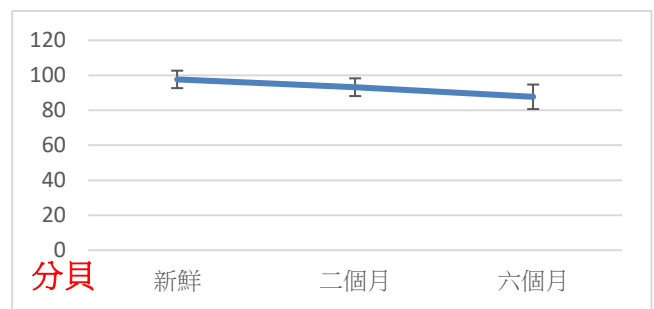


圖 78:不同乾燥程度製作趕鳥器之響度作圖

表 23:不同乾燥程度製作趕鳥器之頻率比較

	一個波之 f	(最大分貝/頻率)
新鮮	5.8(Hz)	(116dB/920Hz)
二個月	5.6(Hz)	(113dB/889Hz)
六個月	5.2(Hz)	(120dB/861Hz)

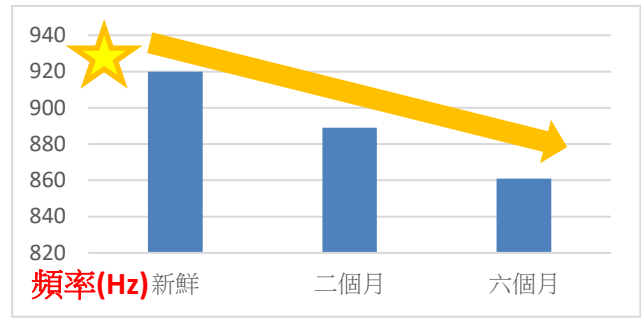


圖 79:不同乾燥程度趕鳥器之最大頻率作圖

(二)、不同乾燥程度製作出鄒族手持趕鳥器之波形及頻譜分析。

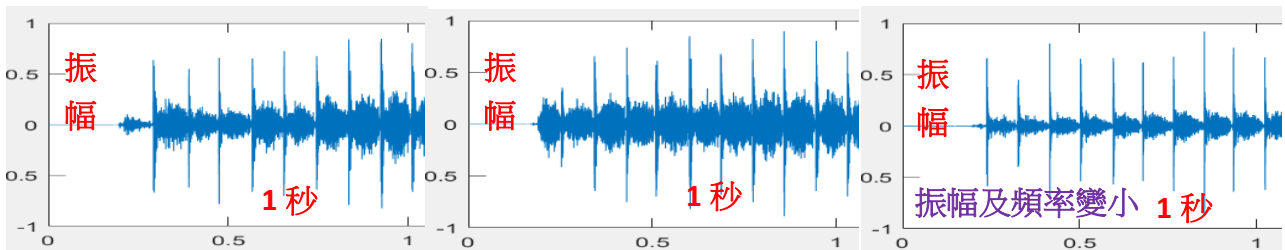


圖 80:新鮮竹子趕鳥器波形圖

圖 81:放二個月趕鳥器波形圖

圖 82:放六個月趕鳥器波形圖

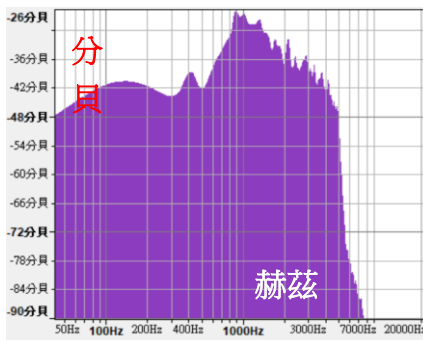


圖 83:新鮮竹子頻譜分析

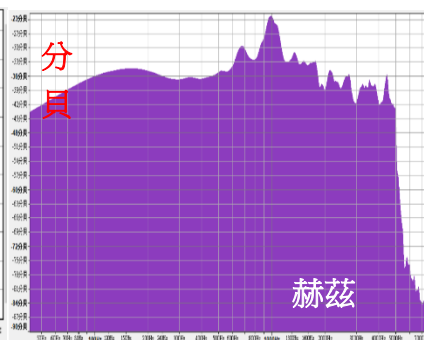


圖 84:放置二月竹子頻譜分析

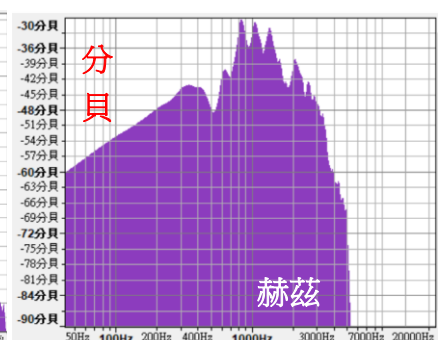


圖 85:放置六月竹子頻譜分析

(三)、不同竹節個數製作出鄒族手持趕鳥器之振幅及振動角度比較。

表 24:不同竹節個數製作出鄒族手持趕鳥器之振幅及振動角度比較

A 組	上片振幅角(θ_1)	下片振幅角(θ_2)	上片振幅位移(X_1)	下片振幅位移(X_2)
新鮮	6.1°	6.7°	6.2 cm	6.5 cm
2 個月	5.5°	6.3°	6.1cm	7.4cm
6 個月	4.4°	4.9°	4.5cm	5.6cm

(四)、結果說明:

1. 我們發現放置越久竹子所作的趕鳥器響度會下降(圖 78)，頻率也會下降(圖 79)，但依據頻譜分析圖，我們發現從基頻(第一高峰後)，會開始出現許多泛音。
2. 我們發現相同一根竹子經過放置半年後，振幅角有下降的現象，已知施力相同，







距離(d)相同，力矩應該相同，推估是陰乾後竹子的彈力係數會下降(如討論六)。

七、以鄒族趕鳥器作為民族樂器，其基頻及泛音探討。

(一)、以趕鳥器為音階，找出其平均平率及製作方法

我們將不同唱名之頻率找出，並將我們自製的 30 支不同大小的鄒族趕鳥器分別找出對應的基頻及第一泛音(表 25)，發現趕鳥器的基頻與竹管打擊樂器相符(王栢村，民 107)。

表 25:以各編號趕鳥器為音階，找出其平均平率及製作方法

音名	高音 C	高音 D	高音 E	高音 F	高音 G	高音 A	高音 B	高音 C
唱名	Do	Re	Mi	Fa	So	La	Si	Do
頻率(Hz)	1046	1174.8	1316.8	1396.8	1568	1760	1975.6	2093.2
一節竹	一節	一節	一節	一節	一節		一節	一節
節長(cm)	45cm	35cm	55cm	20cm	30cm		20cm	20cm
竹筒直徑	直徑	直徑	直徑	直徑	直徑		直徑	直徑
寬度(cm)	7cm	7.5cm	6cm	3.5cm	7cm		5.5cm	3cm
基頻(Hz)	1049 Hz	1178 Hz	1321 Hz	1388Hz	1558 Hz		1961 Hz	2095Hz
編號	編號 2	編號 4	編號 1	編號 8	編號 16		編號 19	編號 12
第 1 泛音	1366 Hz	1321 Hz	1691 Hz	1719Hz	1837Hz		2238Hz	2429Hz
趕鳥器 實際 照片								

(二)、放置不同時間趕鳥器之基頻及泛音探討

表 26: 探討桂竹製作出趕鳥器放置不同時間(陰乾時間)之基頻及泛音

單位:頻率(Hz)	基頻(Hz)	第一泛音(Hz)	第二泛音(Hz)
新鮮	935(Hz)	1032(Hz)	1279(Hz)

放置二個月	673(Hz)	1032(Hz)	1279(Hz)
放置六個月	431(Hz)	651(Hz)	876(Hz)

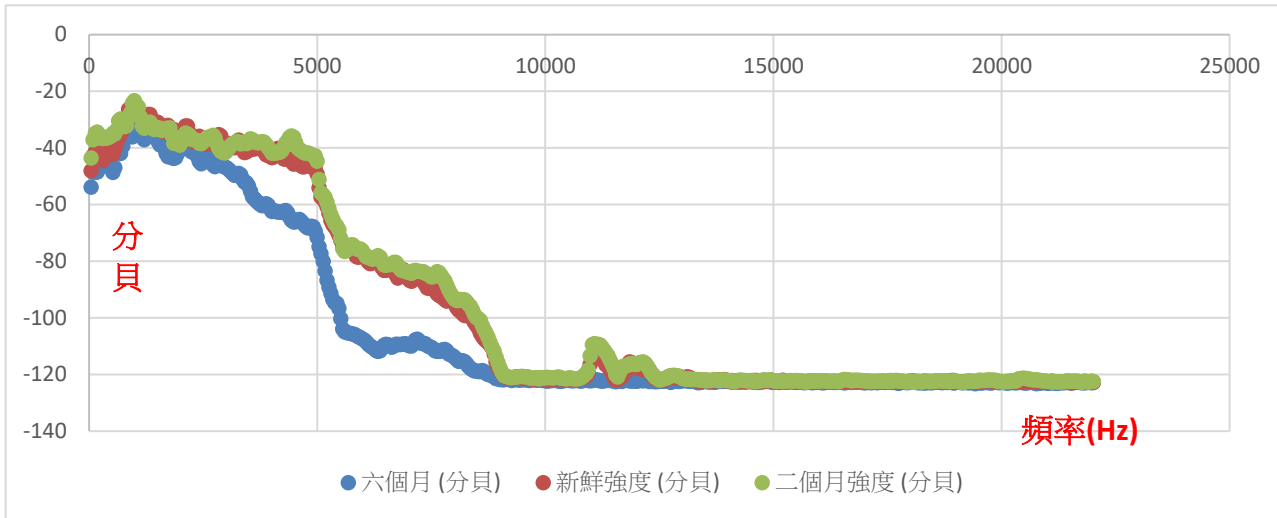


圖 86:將三張放置不同時間(新鮮、二個月、六個月)的的頻譜分析圖進行疊圖

我們實際找出新鮮、乾燥二個月、乾燥半年的的鄒族趕鳥器的基頻，及不同時期第一泛音及第二泛音(表 26)，我們發現隨著竹子陰乾，基頻會有下降的狀況，但是在乾燥二個月時，第一泛音及第二泛音卻沒有下降，因此我們推估是共振駐波所衍生的現象，但到放置陰乾六個月則發現所有音頻均下降(圖 86)，實際將頻譜分析的結果進行疊圖，發現從 1000~8000Hz 有明顯下降的狀況，也可以看出做功(能量)也隨之減少。

八、錄製最大響度及最高頻率之鄒族手持趕鳥器聲音，以不同聲響進行野外稻米守護測試。

使用下列三種「鄒族手持趕鳥器」音頻作為趕鳥的基礎(表 27)，找出最大的高音基頻(約 2300Hz)，及低音機頻(約 400Hz)，使用藍芽喇叭連結聲音響度，將聲響開到最大約是 90，進行實驗設計，並將校內三個採樣點 abc，實際進行鳥害減少的結果(表 28)，結果進行作圖(如圖 87)，可知響度大的確可以降低鳥害，但鳥的耐受性於四天，即開始產生(詳如討論五)。

表 27:鄒族趕鳥路製不同音頻實驗設計說明表格

音頻	實驗組/對照組	音頻響度說明(按照喇叭內部調節)
音頻 A	實驗組	響度 90 分貝施放高頻之趕鳥器音頻(高分貝高頻率)
音頻 B	實驗組	響度 70 分貝施放高頻之趕鳥器音頻(低分貝高頻率)
音頻 C	實驗組	響度 90 分貝施放低頻之趕鳥器音頻(高分貝低頻率)
無音頻	對照組	無音樂單純放置喇叭(對照組無聲頻)

表格 28:小米於三個音頻下隨天數減少量(原先放置 10g)

天數/音頻	音頻 A		音頻 B		音頻 C		無音頻	
	平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差
第 1 天	1.1	0.5	5.2	0.7	2.3	0.6	7.6	1.2
第 2 天	1.5	0.6	4.6	0.8	1.6	0.3	7.3	1.4
第 3 天	1.4	0.3	3.8	0.6	1.7	0.4	8.4	2.1
第 4 天	2.3	0.4	4.2	0.6	2.5	0.3	9.4	2.1
第 5 天	4.6	0.6	5.6	1.2	5.4	1.2	7.6	1.2
第 7 天	5.4	0.9	7.0	0.6	6.2	1.4	8.6	1.6
第 14 天	6.3	1.7	6.8	0.9	6.7	2.1	6.6	1.2

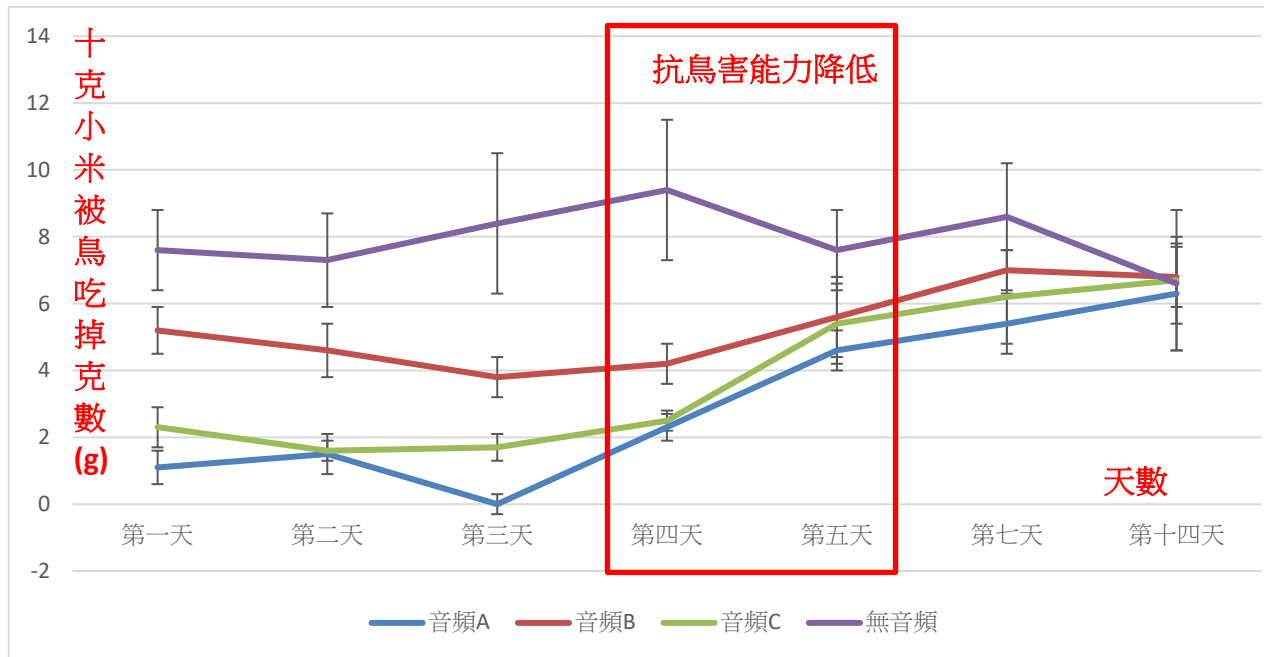


圖 87:利用音頻 ABC 三個實驗設計降低鳥害設計圖

陸、討論

一、探討鄒族手持趕鳥器力學能分析:

我們利用 tracker 程式分析鄒族手持趕鳥器之力學軌跡位置變化，我們可以測量出 Δx_1 及 Δx_2 之位移長度，每一支趕鳥器的支點到質心的長度維持一定，直接用直尺測量支點到質心的距離，假設為 a 公分，又因上下兩個三角形為直角三角形，可以利用 $a^2+b^2=c^2$ (畢氏定理)計算出斜邊的長度，以之三邊的情況下，再利用餘旋定理求出 $\cos \theta$ 之值，再查表

即可求得 θ_1 及 θ_2 角度，我們發現每一個趕鳥器的角度均 $\Delta\theta_1 < \Delta\theta_2$ ，且 $\Delta x_1 < \Delta x_2$ (圖 88)。

原本我們思考趕鳥器的質量在作用的過程均固定為 m ，假設手來回的力為 F ，依據牛頓第二運動定律 $F=ma$ 及牛頓第三運動定律作用力等於反作用力，但鄒族趕鳥器製作為對稱，因此我們又假設上片鄒族趕鳥器的質量為 m_1 ，下片鄒族趕鳥器的質量為 m_2 ，應該 $m_1=m_2$ ，且 m_1 與 m_2 為相連兩片(以支點相連不拆分)，假設手給予鄒族趕鳥器的力道均相同(手向下施力即向上抬升的力道均相同)，應該要 $\Delta x_1=\Delta x_2$ ，但 $\Delta x_1 < \Delta x_2$ 的原因我們推估如下:(1)地球對鄒族手持趕鳥器作功(地心引力)，(2)手再使用鄒族趕鳥器時也需要施以阻力，再加上鄒族趕鳥器的施力臂 < 抗力臂，為一款省時費力的簡單機械。

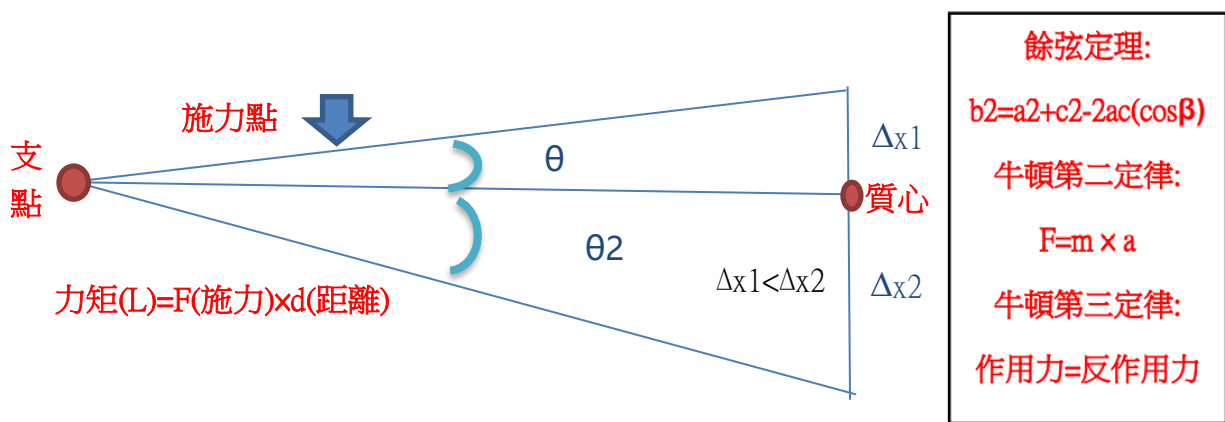


圖 88:以 tracker 追蹤鄒族趕鳥器其質心點上下以振幅及振動角度示意圖

二、鄒族手持趕鳥器對聲音產生的影響

(一)、響度比較

我們利用兩種測量方式進行響度的測試，試圖找出能製造最大響度的趕鳥器，其中一個方法為利用噪音機施測 30 個點，取平均數及標準差，另一個方式為直接分析錄音檔，在噪音機的方面可以同時錄製 dBA(人體感受噪音)dBc(機械噪音)，音檔可以分析噪音之頻譜分析可以量化能量作功的大小，雖然多次的施測大小趨勢與錄音結果相同，但比例上卻無法監測至真實的最大分貝數值，那到底哪一個才是真正值得參考的數值呢?我們仍然還是覺得兩個數據都值得也皆具有相當大的參考價值，從響度的分析當中，我們仍可以發現噪音機監測發現，趕鳥器的噪音最多只會到 110 分貝，但錄音值很多卻超過 120 分貝，再比對環保署的數值，若是存在於 120 分貝左右的環境，會對耳朵造成一些傷害，而如此長期使用趕鳥器不就會對使用者造成一些無法抹滅之傷害呢?因此以這個觀點，我們仍然覺得錄音及噪音機監測兩個數值都值得參考的，一個數值代表人體感測及平均。

(二)、頻率比較

從波形圖中可以看見縱波的波形，如果波形越緊密者代表音調越高頻率越高，分析多張趕鳥器波形圖後，我們發現大部分趕鳥器的一個波的平均頻率約為 4~6Hz，竹節的音箱個數多會增加響度卻會讓頻率下降，在某一些趕鳥器中我們可以發現，在頻譜分析 1000~1500Hz 有許多波峰(王栢村，民 107)，與前人文獻所指出的竹製打擊樂器之聲音特性，頻率約為 1046(高音 do)的頻率相同，依據我們所研究的結果，我們發現越小支且越新鮮的趕鳥器，基頻越高，而若是逐漸陰乾乾燥後，竹子的頻率反而會下降，我們推估有此現象的原因為共振駐波所造成的現象，但因竹子乾燥後，若是內部構造潮濕，則頻率的音調會降低，在波形的部分會逐漸變疏，則可以看見共振駐干涉的現象降低，所造成頻率下降的結果。

(三)、音色比較

我們自己製造 50 個趕鳥器並進行分析，我們發現竹子的長度大部分約為 34~48 公分之間，我們依照長老的建議於 12 月進行採竹，保存竹子的方式與盡量不要曬到太陽，但我們發現:越新鮮的且越頻率越高的趕鳥器聲波，每個波形較相似，但波形若太相似，對鳥兒言也具有耐受性的問題，故可以說每一種趕鳥器均有其獨特音色，與不同功效，若是將趕鳥器之音色與竹打擊樂器及竹管敲打進行比較，可以明顯發現:因為趕鳥器作上下振動之簡諧運動(S.H.M)，其音色重複性及整齊性也較其他打擊音樂來的高，而因為有共振駐波空氣管的原因，也使得鄒族趕鳥器的音色有了多元的變化。

三、鄒族趕鳥器之演進及其意義及目前鄒族在有機農業之經營模式。

我們前往達邦及新美部落進行長老的訪談得知，尤其是目前仍然還再利用有機農業進行種植的打手機鄒友善農業，他們正利用祖先們的智慧對環境友善的種植，長老們說鄒族祖先種植很多作物鳥害均不高，但古早的時候最需要防鳥害的便是小米田，小米是原住民很重要的食物，遠在 200 年前的環境鄒族就有趕鳥的需求，最早的時代是以風笛作為趕鳥的器具，日本時期竹子引進部落後，便有人發明這個簡單的機械以抵抗鳥害，之後還有族人發明手拉式趕鳥器，更省力也讓看守小米田的工作更加順利，但鄒族手持趕鳥器仍然有驚嚇一些野生動物的能力，原住民要守護農作物，卻不願真實傷害動物，可以見其對大自然之友愛精神。

四、手持趕鳥器響度對發生源距離的關係。

我們目前進行的趕鳥器收音及錄影均是根據，噪音計的使用說明，需要間隔一公尺，但實際造訪原住民的友善農田後，發現鳥通常是在 10~50 公尺處，因此趕鳥器的大分貝是否單純是因為我們靠得很近，所以測量出如此巨大的噪音呢?因此我們也實際進行距離 0 公尺、2.5 公尺、5 公尺、7.5 公尺、10 公尺的噪音測量，其響度結果如下(表 29)，將其頻譜分析進行疊圖(圖 89)，發現頻率在 5000~7500Hz 頻率之聲頻有急速下降，但 5000Hz 的聲頻卻沒有下降的趨勢，在綜合噪音機所顯示的結果，發聲源測得 102 分貝的趕鳥器聲源響度，經過發現在 10 公尺外，響度仍有 95 分貝，及可以發現趕鳥器的聲響是可以傳遞很遠的距離(圖 90)。

表 29:人距離聲源不同距離所測得之分貝數(N=30)

距離/ 分貝(db)	0 公尺		2.5 公尺		5 公尺		7.5 公尺		10 公尺	
	(M)	(SD)	(M)	(SD)	(M)	(SD)	(M)	(SD)	(M)	(SD)
響度	102.3	6.4	101.4	6.2	97.6	5.4	96.5	3.2	95.3	5.7

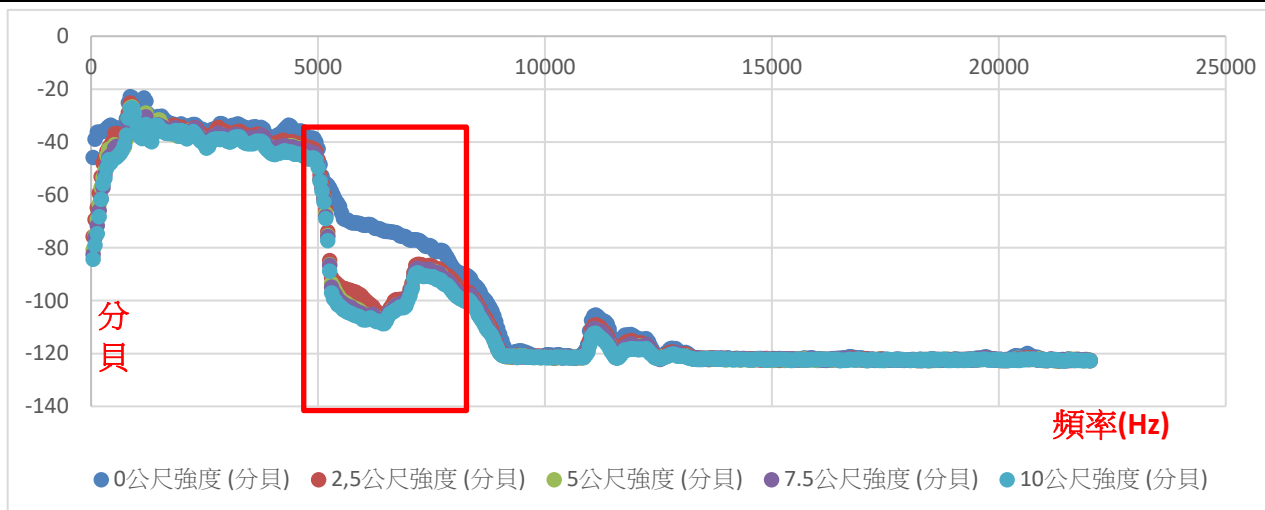


圖 89:不同距離進行鄒族趕鳥器聲援的測量頻譜分析實際能量的消長

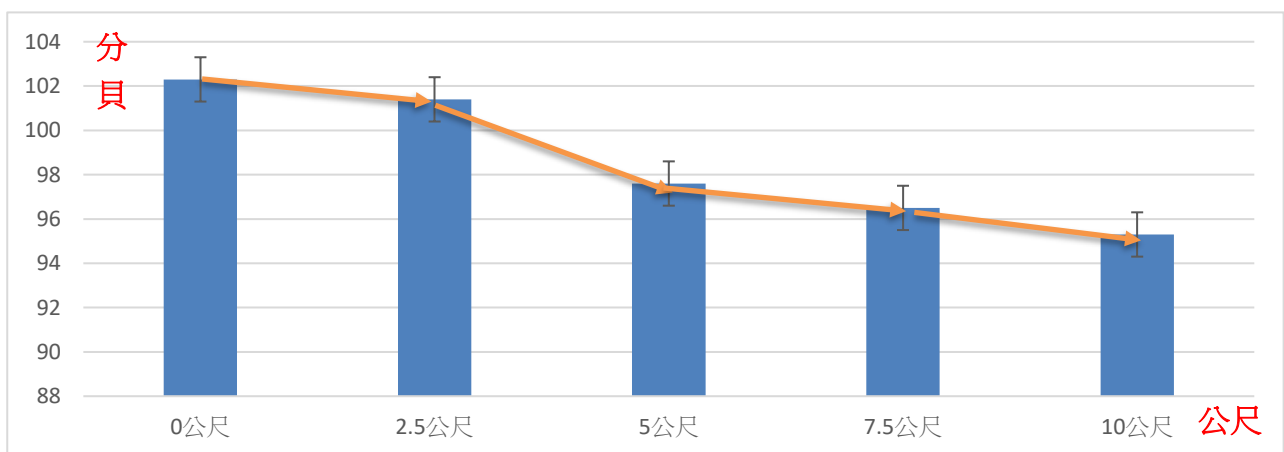


圖 90:利用噪音機進行距離之測量結果作圖

五、趕鳥與鳥類的耐受性

鄒族趕鳥器趕鳥的策略，使藉由聲響讓鳥類產生驚嚇進而飛走，因此神經傳導由耳朵傳導至大腦，過程中會涉及學習及試誤行為，而動物的神經傳遞原本就有閾值（Threshold），刺激要累積到一定的量，才會達到閾值，啟動神經反應，隨著刺激源頻繁出現，閾值會逐漸升高，因此若是長時間高頻的噪音出現，鳥類遭受驚嚇接受器閾值會上升，造成鳥的耐受性，我們認為可以間隔敲打鄒族趕鳥器，或不定時製造音頻，會是解決鳥類耐受性之方法。

六、綜合討論及未來展望。

鄒族趕鳥器的研究文獻較少，但文獻中可以發現泰雅族的科展均有提到泰雅族的趕鳥器與鄒族手持趕鳥器相當類似，但前人的研究測量噪音之方法，卻較少以科學器材及頻譜的分析的方式進行分析及解釋，因此此篇採用多重方法來分析鄒族趕鳥器在現代使用的可能性，發現鄒族手持趕鳥器保有環保(重複使用)且容易製作的特性，因此此篇研究若能具有技藝傳承的特性及分析每一款趕鳥神器之優點則有其價值。

但我們仍有發現為何趕鳥器需要籐空的長度為整個竹節呢?依據我們多次使用過後的經驗為，竹子本身的彈力也非常的重要，決定了趕鳥器的振幅，我們也發現陰乾後的竹子彈力係數會降低，依據物理虎克定律公式，如下:

$$F = kx \text{ (k=竹子的彈力係數；x 為位移)}$$

但依據我們實驗的經驗，發覺每一種的竹子彈力係數是不一樣的，而這個彈力係數卻也是影響趕鳥器聲音大小及壽命的關鍵，而且我們也發現如果陰乾後彈力係數也會下降，因此若是能有效的計算出竹子最佳的彈力係數，再決定是否該將竹子製成鄒族手持趕鳥器，那將是莫大的貢獻，也是我們未來及將努力的目標。

柒、結論

我們針對鄒族傳統手工藝「鄒族手持趕鳥器」進行逐步式科學探究，研究的歷程當中我們不斷地查找資料，進行部落訪談，甚至深入部落請教長老教我們製作道地的鄒族趕鳥器，也為了讓實驗更精準，我們除了利用噪音機進行噪音多次測量，還將結果錄音錄影，進行聲學及力學的分析，再次比對文獻並且小組內討論過後，得到以下結論:

一、適合製作趕鳥器竹子的種類

適合製作鄒族趕鳥器的竹子為:桂竹>綠竹>麻竹，我們研究發現桂竹不但具有較高的頻率及響度，在頻譜分析中，也可以看出在相同大小趕鳥器的狀況，桂竹可以轉換較多聲能。

二、手持趕鳥器使用方式及限制

使用最佳方式為遠離支點，因此製作時篾空位子盡量占滿整個竹節，以方便施力點遠離支點，則力矩公式中($L=F \times d$)，其中施力點遠離支點則 d (與支點之距離)上升，力矩(L)也會上升，因此能量及噪音均提升。

三、最佳外型之趕鳥器

原本我們以為最大的響度即為最佳的鄒族趕鳥器，但我們發現一直維持大聲的環境，或一直維持高頻的環境，除了對人類會造成傷害外鳥類也會有耐受性，但若要產生較大響度的趕鳥器可以依據以下特色，進行製作:

- (一)、使用新鮮桂竹製作趕鳥器，可以大幅提升響度及頻率。
- (二)、竹節長度 40 公分，直徑寬度 6.5 公分可以提升頻率及響度，而若是直徑寬度 3.2 公分，竹節長度 20 公分，可以提升頻率。
- (三)、長度越長可以提升頻率及響度，但也需視個人施力狀況製作出恰當的趕鳥器。
- (四)、音箱個數一個(二個竹節)可以提升響度及頻率，又可以降低重量。

四、若是鄒族趕鳥器為民俗樂器

我們經由頻譜分析尋找基頻及第一泛音，我們發現鄒族趕鳥器大部分的基頻約在高音的頻率，與打擊樂器較為符合，但因為竹子乾燥後，頻譜又會稍加改變，會增加許多泛音，更適合作為樂器之材料。

五、鄒族趕鳥器的降低鳥害實驗設計:我們發現響度大頻率高的重複鄒族趕鳥器音頻，確實可以有效的降低鳥害，但鳥會有耐受性，經過四天後鳥害又會逐漸上升，因此可以長期替換音頻或間隔波放音頻，可作為降低鳥害的一大考量。

綜合以上五大結論，鄒族趕鳥器是一個流傳百年的原住民手工藝，我們為了研究鄒族趕鳥器，大量製作鄒族趕鳥器是為了找尋最佳化之趕鳥器，但我們發現隨著時間的推移，竹子內部構造的变化，也會影響趕鳥器的響度及頻率，但祖先們就地取材智慧的手工藝，在我們設計的實驗方法中，證實每一支趕鳥器均有獨特頻率及響度，可作為友善農業的推廣。

捌、參考資料及其他

- 一、林記彥(民 100)。比比誰最吵!不同音箱的響度差異研究。中華民國第 51 屆中小學科學展覽會作品說明書。國小組。物理科。
- 二、柯瑞龍、柯翠菱(民 109)。深入「笛」境~自製塑膠管樂器之開發與原理之探討。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書。國中組。物理科。
- 三、陳佩賢(民 110)。庶民的管樂器-吹笛產生薩克斯風的聲音。中華民國第 60 屆中小學科學展覽會作品說明書。國中組。生活與應用科學(二)科。
- 四、郭清進、蕭雅琳(民 109)。多管齊下-自製複管笛的音色探討。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書。國小組。物理科。
- 五、廖彥婷(民 96)。鄒之風聲-風笛。台灣 2007 年國際科學展覽會作品說明書。美國第 58 屆國際科技展覽會。國中組。物理科。
- 六、孫俊彥(民 104)。音樂與科學:音樂與泛音。科技大觀園。民 110 年 2 月 27 日, 取自：
<https://scitechvista.nat.gov.tw/c/s2II.htm>。
- 七、曾祥恩(民 104)。台東原住民防治鳥類減損小米產量成效之研究。碩士論文。台東:國立台東大學生命科學系碩士班。
- 八、魯永明等(民 107 年)。農田保衛戰!稻草人會動, 嚇壞流氓老鳥。聯合報。發刊日期:107 年 6 月 13 日。民 110 年 3 月 1 日, 取自：<https://theme.udn.com/theme/story/6774/3195345>。
- 九、王栢村(民 107)。《振動噪音科普專欄》聲音信號的時頻圖分析與頻譜分析:竹製打擊樂器之聲音特性探討。查詢時間:110 年 03 月 01 日, 取自:
https://aitanvh.blogspot.com/2018/10/blog-post_22.html。
- 十、張友信、黃建豪、呂美花(民 102)。風中的小米田, 小米與趕小鳥。第四屆原住民華碩科教獎研究成果報告。宜蘭縣立大同國中數位典藏社。
- 十一、楊可欣(民 102)。閾值 (Threshold)。高瞻自然科學教學資源平台。科學 online。民 110 年 3 月 1 日, 取自：<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=481375>。
- 十二、Andy Kuo(民 109 年)。聲音分析好用工具介紹(1):Audacity 工作篇。查詢時間:2021 年 2 月 28 日, 取自: <https://www.wpgdadatong.com/tw/blog/detail?BID=B1700>。

【評語】 030101

將鄉土文化結合科學研究與應用，相當具有教育性。

作品簡報

作品標題:

「打手機鄒(Taso ci cou)的智慧」-探討
鄒族手持趕鳥器之力學聲學及實際效能分析。

組別:國中組

科別:物理科

研究動機



圖1:研究中，我們前往達邦部落訪問汪長老



圖2:長老逐步教授我們趕鳥器製作技巧

研究目的及架構

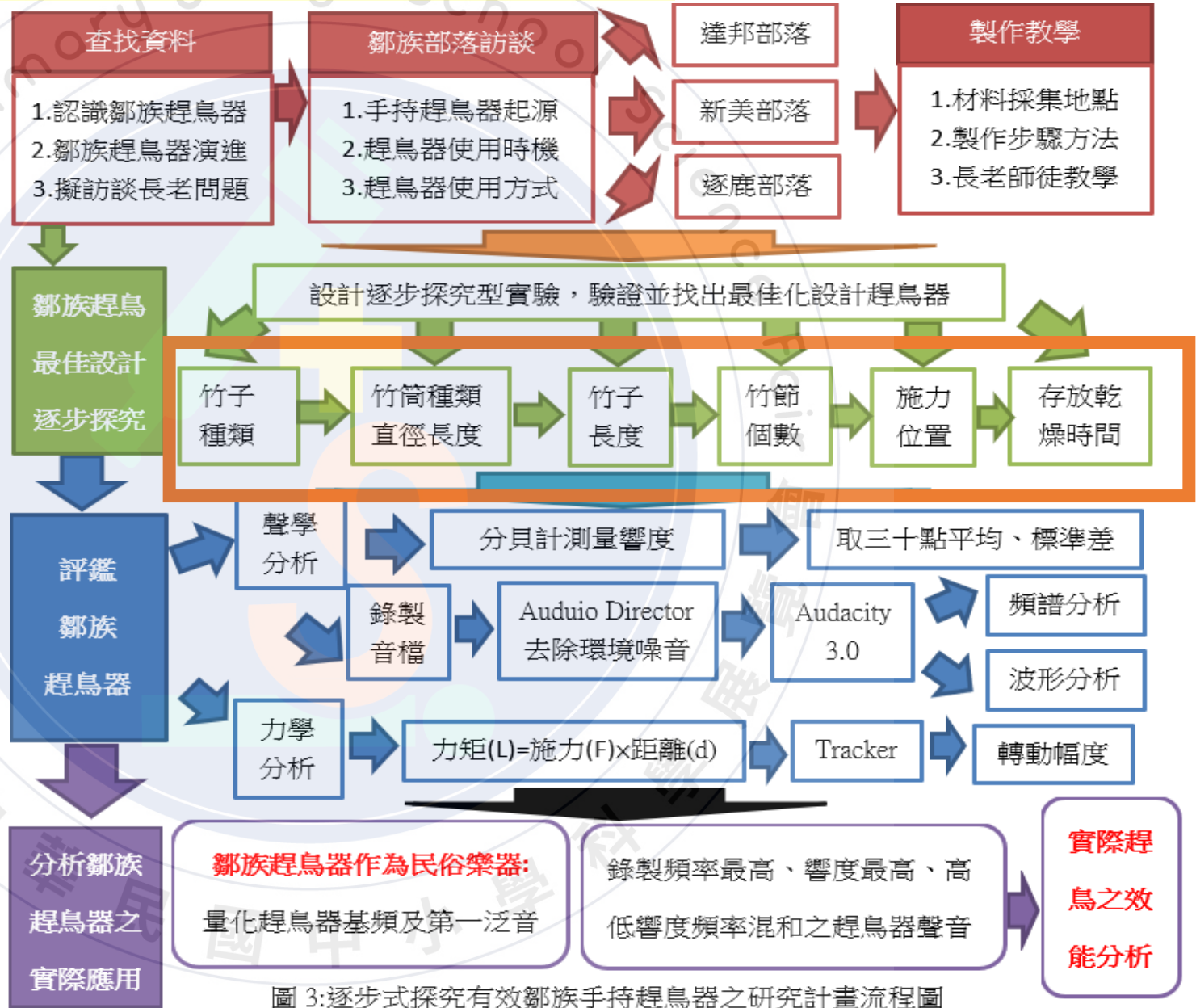


圖 3:逐步式探究有效鄒族手持趕鳥器之研究計畫流程圖

研究方法



圖4: 自製鄒族手持趕鳥器隔絕收音組設備

分貝計分析

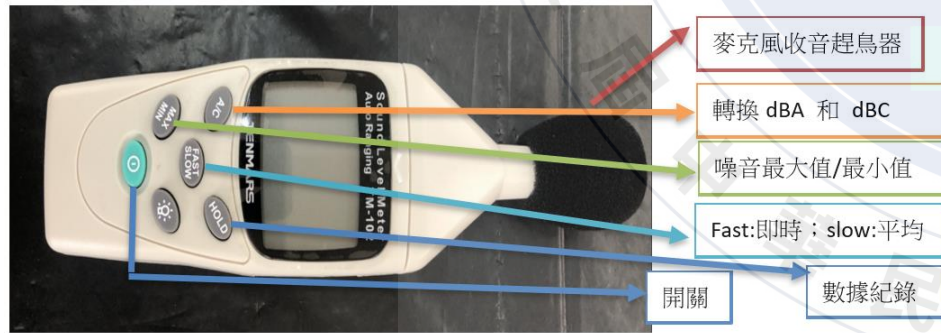


圖8: TM-104泰馬仕噪音計

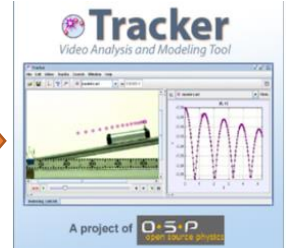
程式分析



聲音優化



聲學分析



力學分析

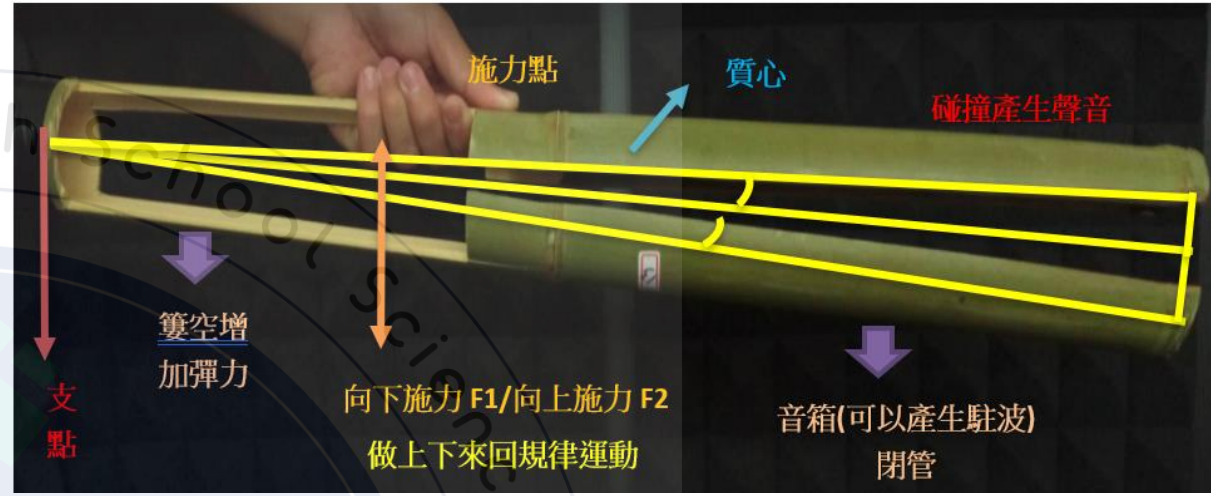


圖5: 鄒族手持趕鳥器簡單機械機構說明

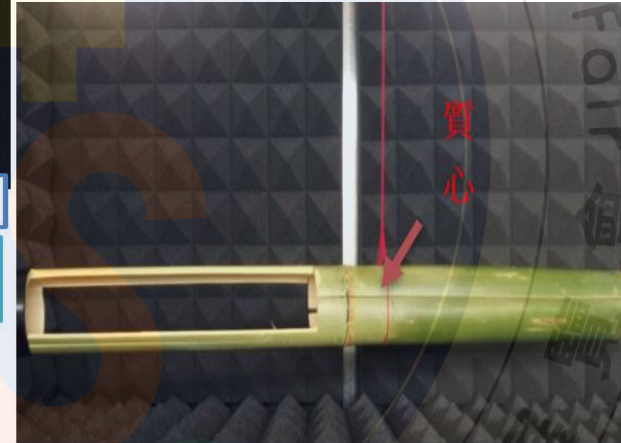


圖6: 垂釣法測量趕鳥器質心

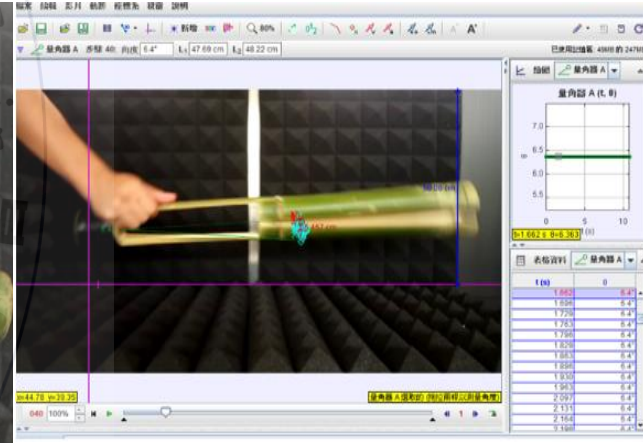


圖7: tracker 計算出質點運動位移變化

研究結果(1)-不同竹子種類竹子趕鳥器聲學力學分析

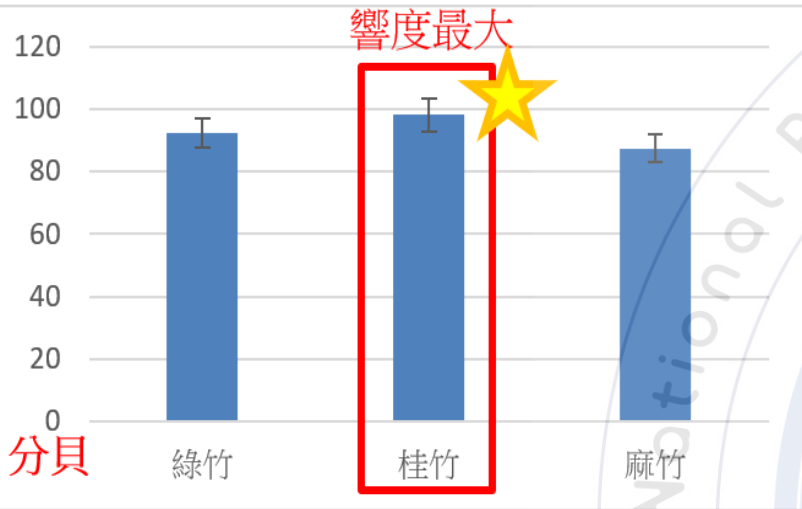


圖9:不同竹子製造趕鳥器之響度大小

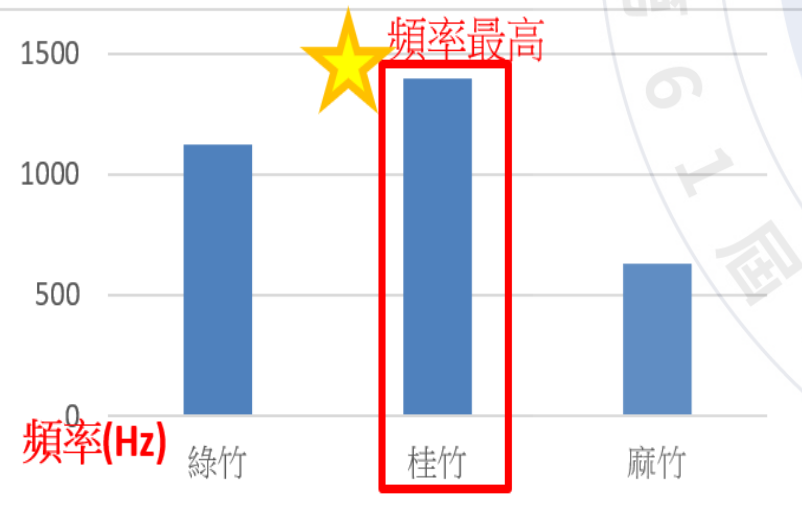


圖10:不同竹子製造趕鳥器之頻率大小

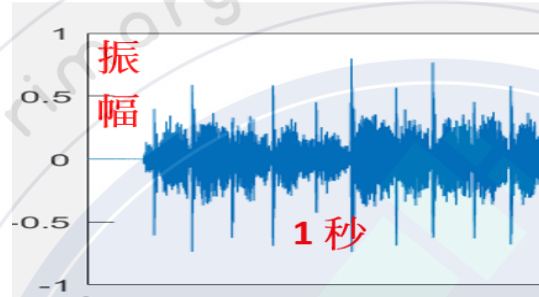


圖11:綠竹趕鳥器之波形

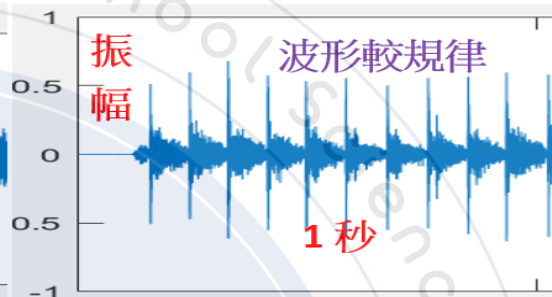


圖12:桂竹趕鳥器之波形

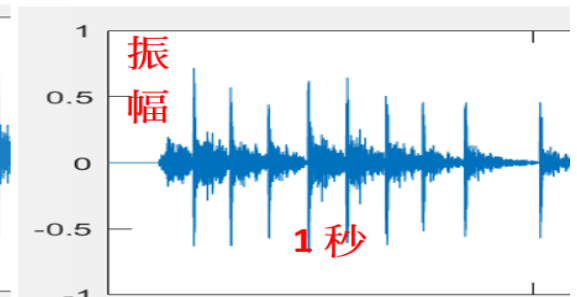


圖13:麻竹趕鳥器之波形

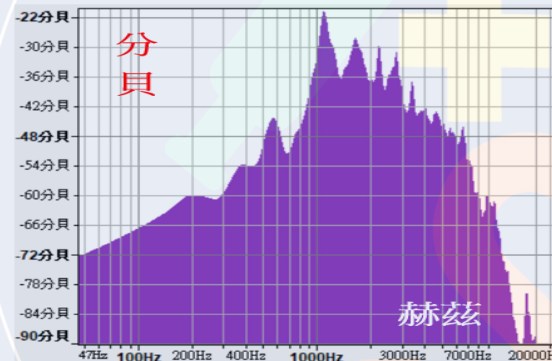


圖14:綠竹趕鳥器頻譜分析

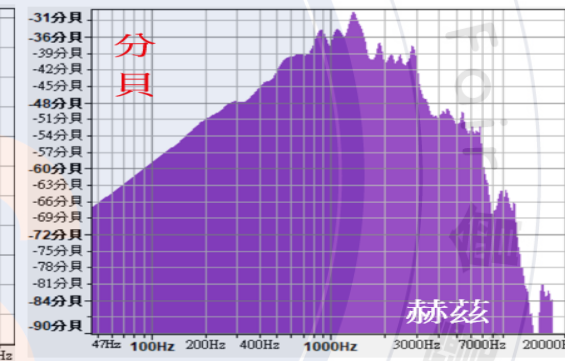


圖15:桂竹趕鳥器頻譜分析

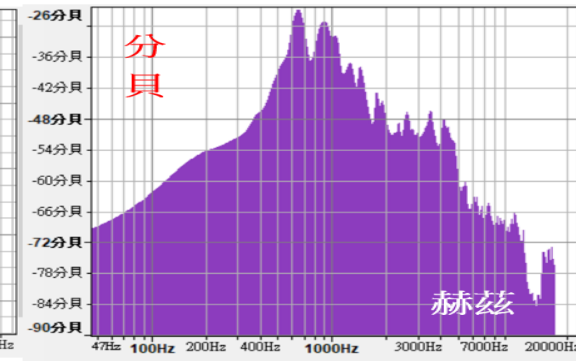


圖16:麻竹趕鳥器頻譜分析

表1:不同竹子種類竹子製作出鄒族手持趕鳥器之振幅及振動角度比較

	上片振幅角(θ_1)	下片振幅角(θ_2)	上片振幅位移(X_1)	下片振幅位移(X_2)
綠竹	6.6°	7.8°	5.8cm	6.1cm
桂竹	6.7°	7.1°	6.6cm	7.0cm
麻竹	4.3°	5.9°	4.9 cm	5.7 cm

研究結果(2)-不同竹子直徑長度趕鳥器聲學力學分析

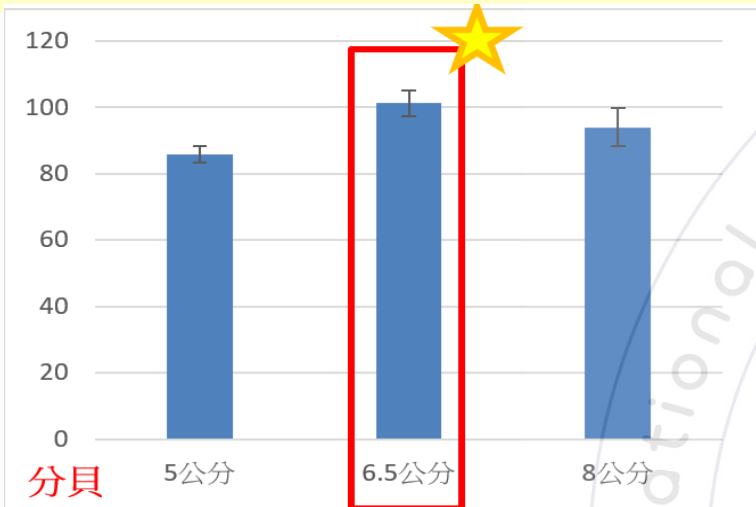


圖17:A組不同直徑長度趕鳥器之響度

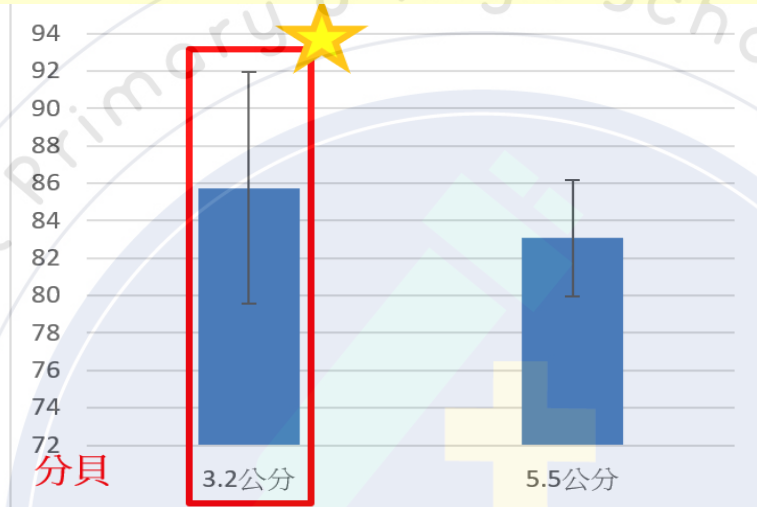


圖18:B組不同直徑長度趕鳥器之響度

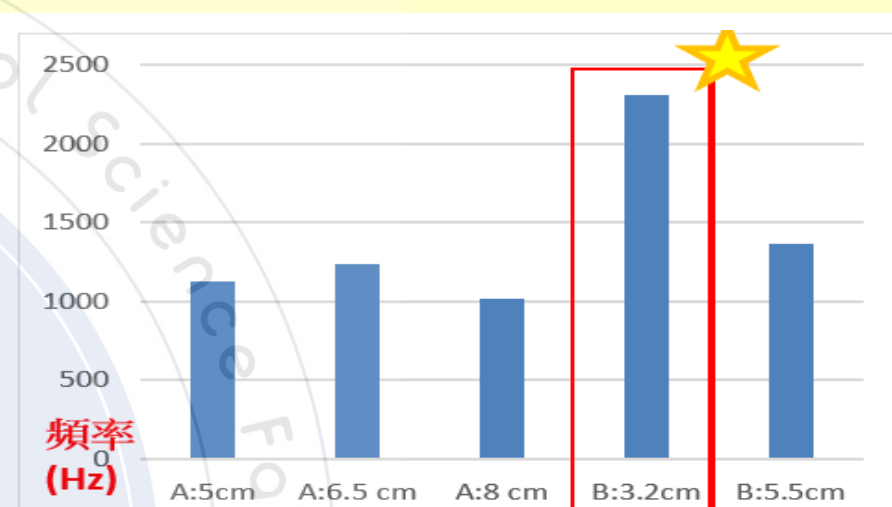


圖19:A B組不同直徑長度趕鳥器最大頻率

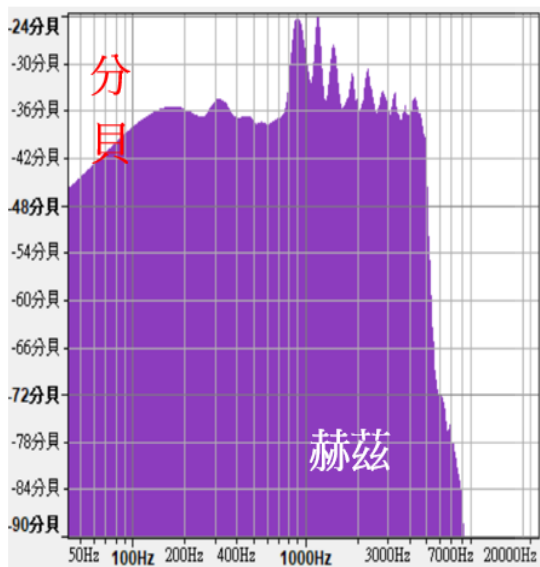


圖20:A組寬6.5cm頻譜分析

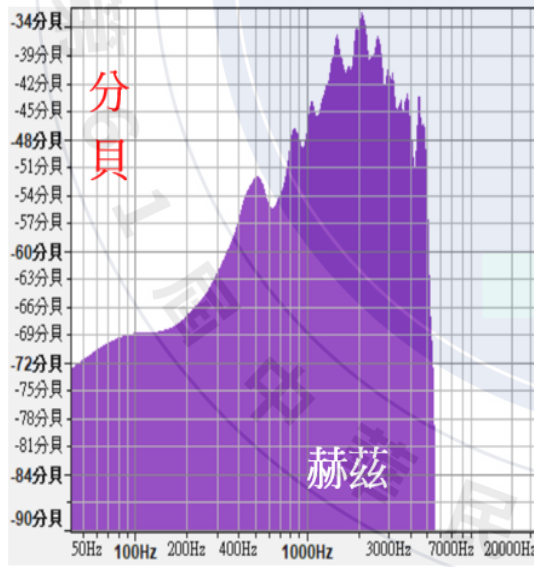


圖21:B組寬3.2cm頻譜分析

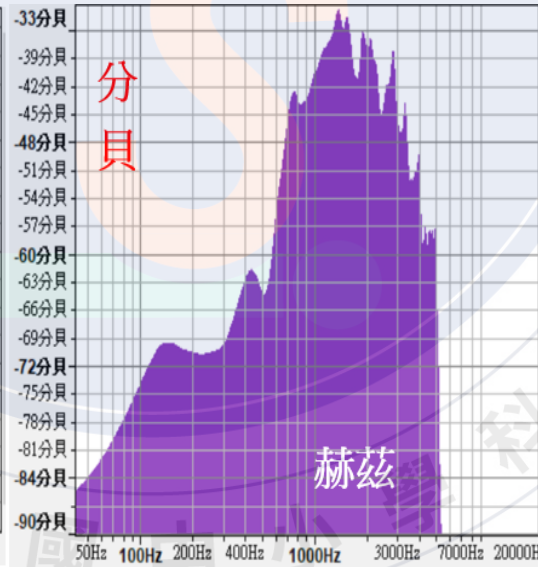


圖22:B組寬5.5cm頻譜分析



圖23:不同寬度趕鳥器(A組)

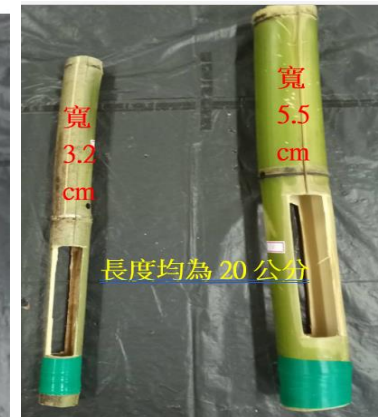


圖24:不同寬度趕鳥器(B組)

研究結果(3)-不同竹子長度鄒族趕鳥器聲學力學分析

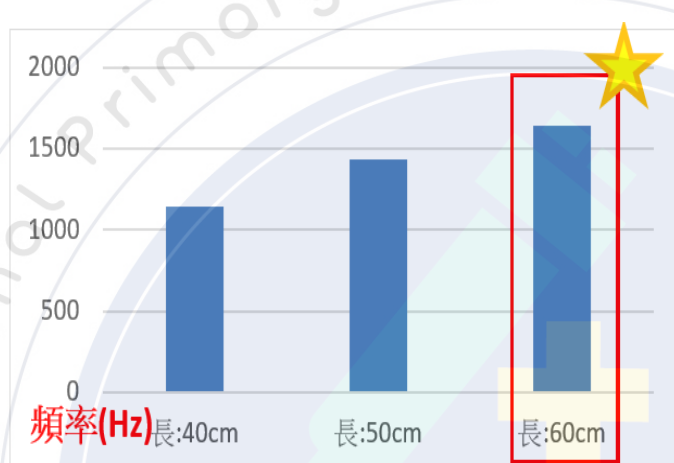
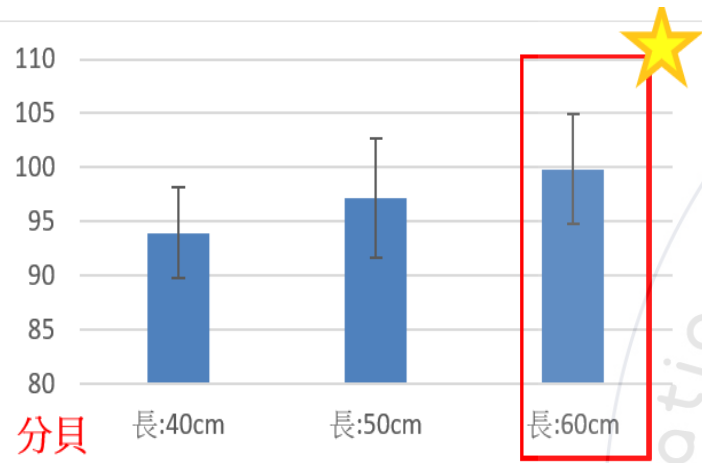


表2: 不同竹子長度製作出趕鳥器之振幅及振動角度比較

	上片振幅角(θ_1)	下片振幅角(θ_2)	上片振幅位移(X_1)	下片振幅位移(X_2)
長度 40cm	5.2°	6.0°	5.4 cm	6.2 cm
長度 50cm	6.0°	6.6°	7.5cm	8.9cm
長度 60cm	7.5°	8.2°	10.5cm	10.9cm

圖25: 不同竹子長度製作趕鳥器響度

圖26: 不同竹子長度製作趕鳥器頻率

研究結果(4)-不同竹節個數鄒族趕鳥器聲學力學分析

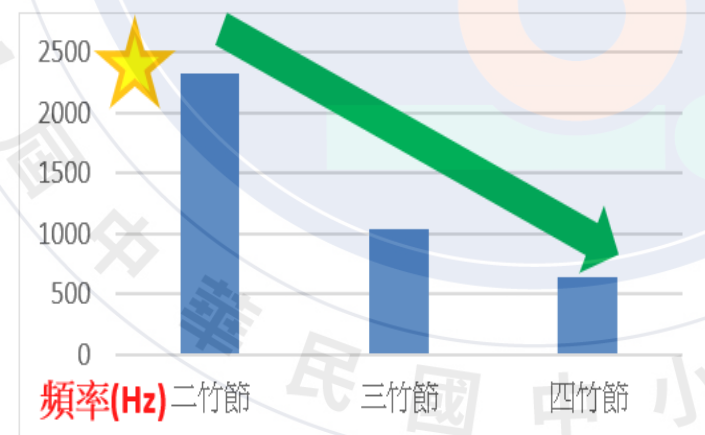
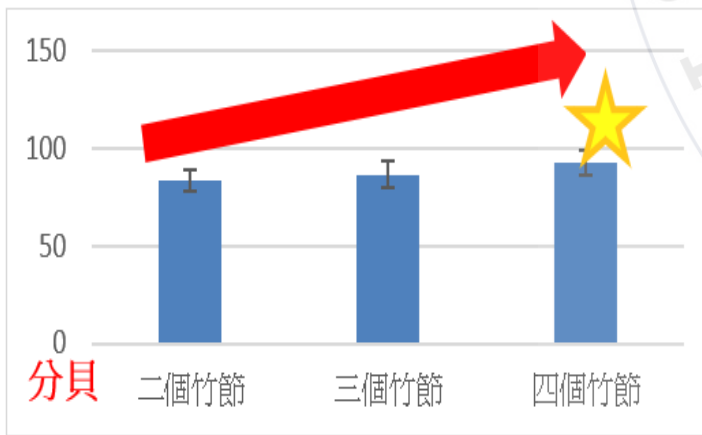


表3: 不同竹節個數製作出趕鳥器之振幅及振動角度比較

	上片振幅角(θ_1)	下片振幅角(θ_2)	上片振幅位移(X_1)	下片振幅位移(X_2)
二個竹節	8.4°	9.1°	5.5 cm	6.1 cm
三個竹節	5.4°	6.8°	4.3cm	6.4cm
四個竹節	4.9°	5.4°	7.5cm	8.6cm

圖27: 不同竹節個數製作趕鳥器響度

圖28: 不同竹節個數製作趕鳥器頻率

研究結果(5)-不同施力位置鄒族趕鳥器聲學力學分析

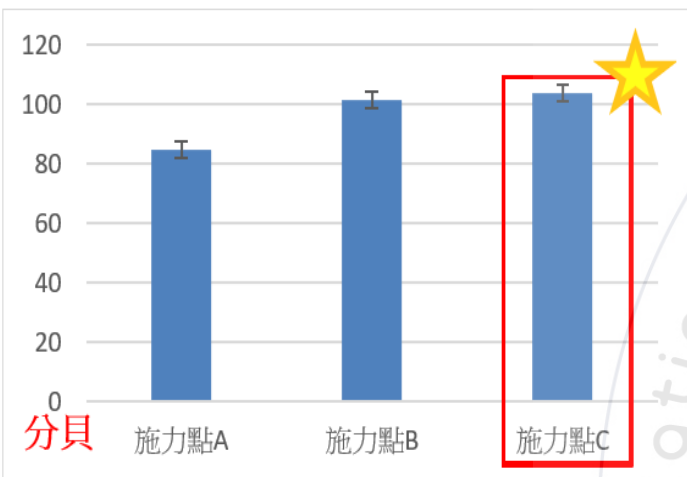


圖29: 不同施力位置鄒族趕鳥器響度

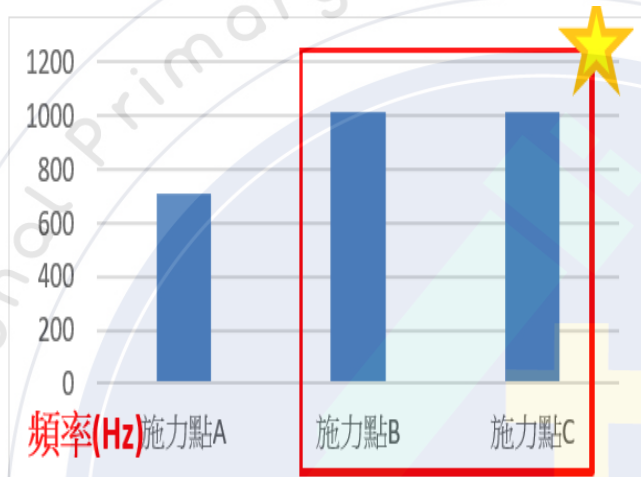


圖30: 不同施力位置鄒族趕鳥器頻率



圖31: 施力位置A



圖32: 施力位置B



圖33: 施力位置C

研究結果(6)-不同存放時間鄒族趕鳥器聲學力學分析

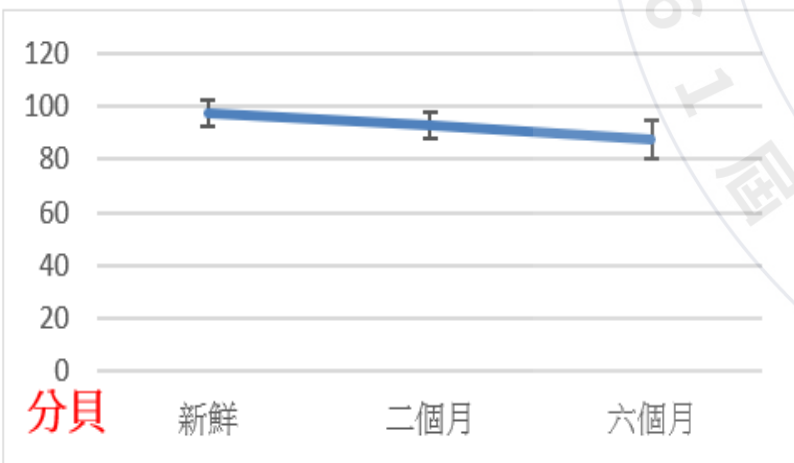


圖34: 不同存放時間鄒族趕鳥器響度

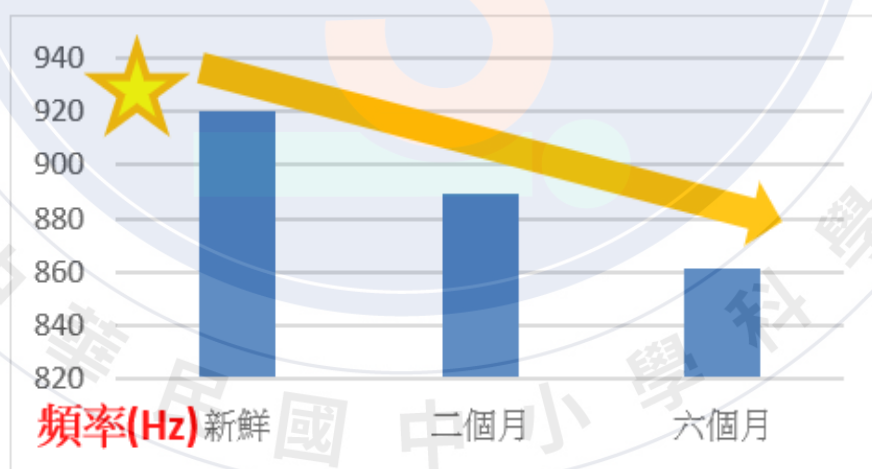








圖35: 不同存放時間鄒族趕鳥器頻率



圖36: 不同存放時間鄒族趕鳥器

研究結果(7)-鄒族趕鳥器作為民族樂器，其基頻及泛音探討

表4:各編號趕鳥器為音階，找出個音階趕鳥基頻、泛音及製作方法 表5:探討桂竹製作出趕鳥器放置不同時間之基頻及泛音

音名	高音 C	高音 D	高音 E	高音 F	高音 G	高音 A	高音 B	高音 C
唱名	Do	Re	Mi	Fa	So	La	Si	Do
頻率(Hz)	1046	1174.8	1316.8	1396.8	1568	1760	1975.6	2093.2
一節竹	一節	一節	一節	一節	一節		一節	一節
節長(cm)	45cm	35cm	55cm	20cm	30cm		20cm	20cm
竹筒直徑	直徑	直徑	直徑	直徑	直徑		直徑	直徑
寬度(cm)	7cm	7.5cm	6cm	3.5cm	7cm		5.5cm	3cm
基頻(Hz)	1049 Hz	1178 Hz	1321 Hz	1388Hz	1558 Hz		1961 Hz	2095Hz
編號	編號 2	編號 4	編號 1	編號 8	編號 16		編號 19	編號 12
第 1 泛音	1366 Hz	1321 Hz	1691 Hz	1719Hz	1837Hz		2238Hz	2429Hz
趕鳥器 實際 照片								

單位:頻率(Hz)	基頻(Hz)	第一泛音(Hz)	第二泛音(Hz)
新鮮	935(Hz)	1032(Hz)	1279(Hz)
放置二個月	673(Hz)	1032(Hz)	1279(Hz)
放置六個月	431(Hz)	651(Hz)	876(Hz)

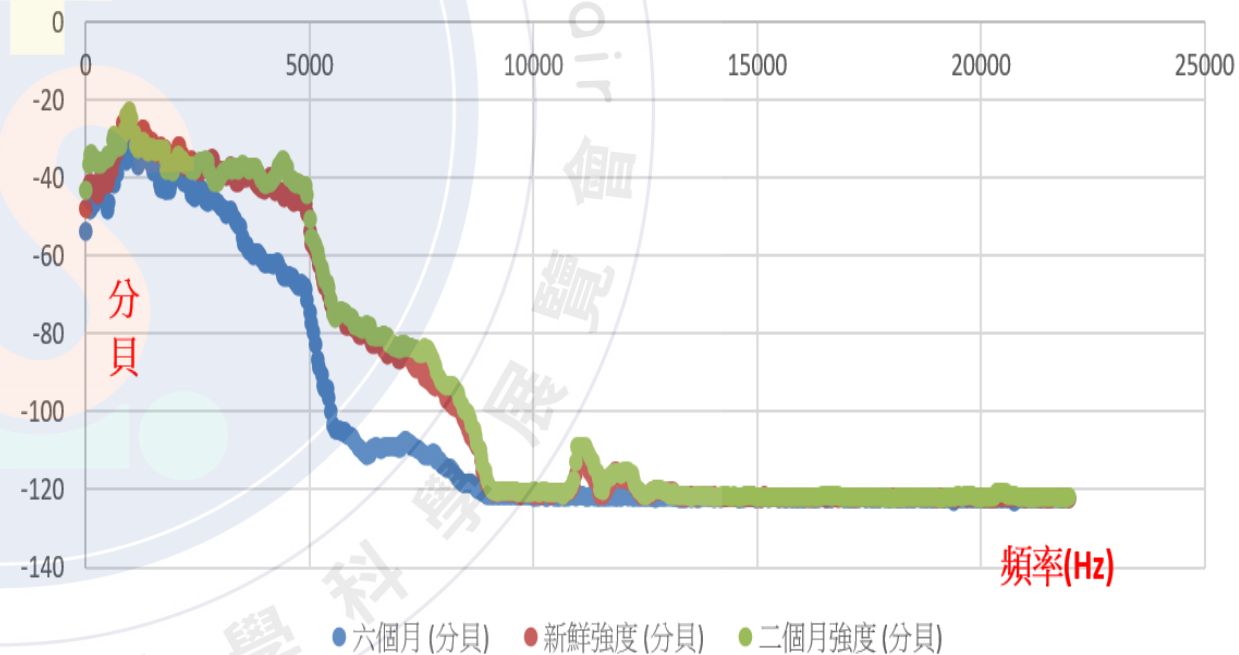


圖37:將三張放置不同時間的頻譜分析圖進行疊圖

研究結果(8)-不同趕鳥器之響度頻率進行小米守護測試

表6:鄒族趕鳥路製不同音頻實驗設計說明表格

音頻	實驗組/對照組	音頻響度說明(按照喇叭內部調節)
音頻 A	實驗組	響度 90 分貝施放高頻之趕鳥器音頻(高分貝高頻率)
音頻 B	實驗組	響度 70 分貝施放高頻之趕鳥器音頻(低分貝高頻率)
音頻 C	實驗組	響度 90 分貝施放低頻之趕鳥器音頻(高分貝低頻率)
無音頻	對照組	無音樂單純放置喇叭(對照組無聲頻)

表7:實際進行不同聲波趕鳥之小米守護三個採樣點說明

採樣點	採樣點 A	採樣點 B	採樣點 C
實際擺放設計說明			
光照度	163.33±45.08 燭米	953.33±32.12 燭米	1917.33±36.46 燭米

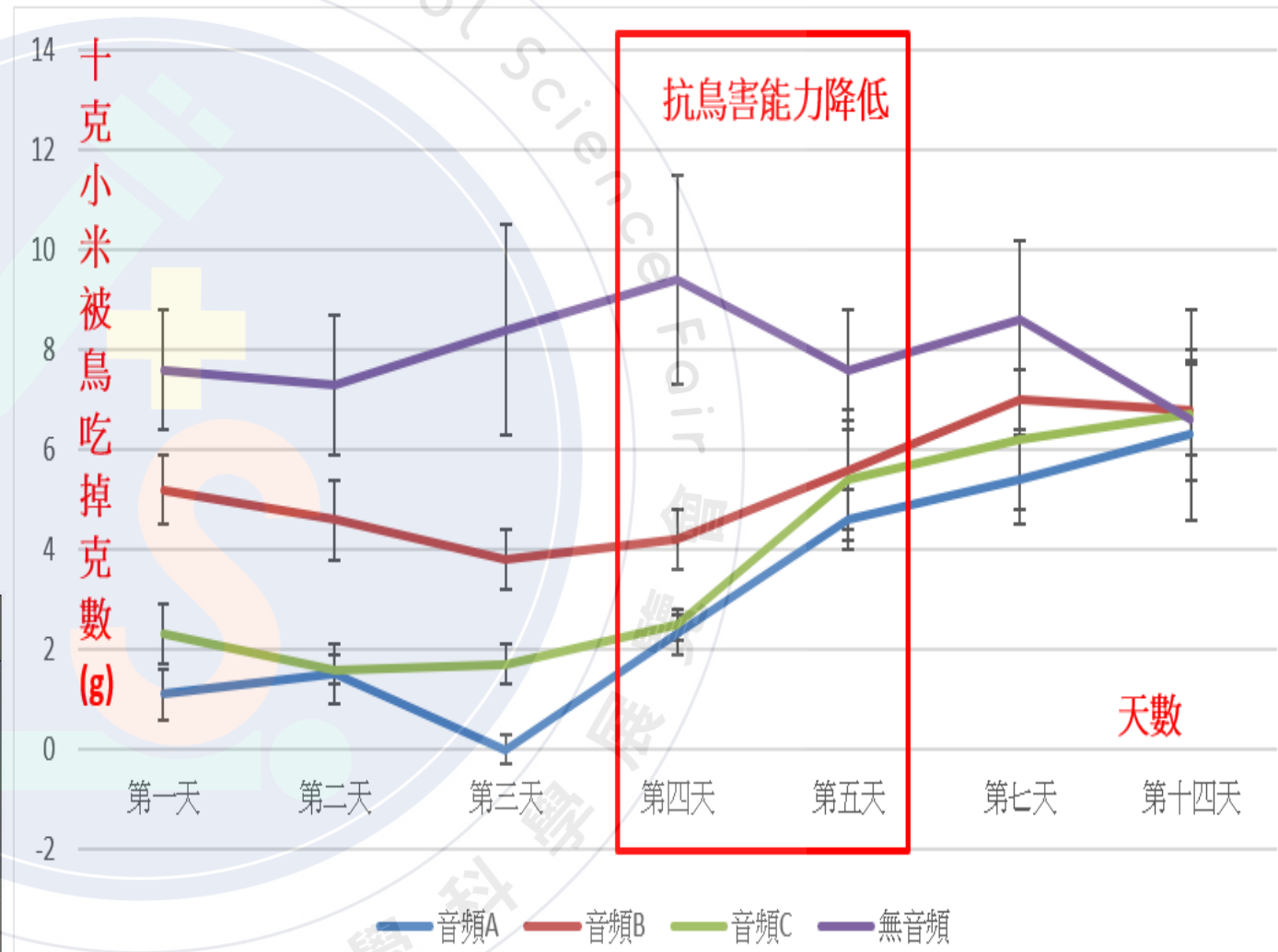
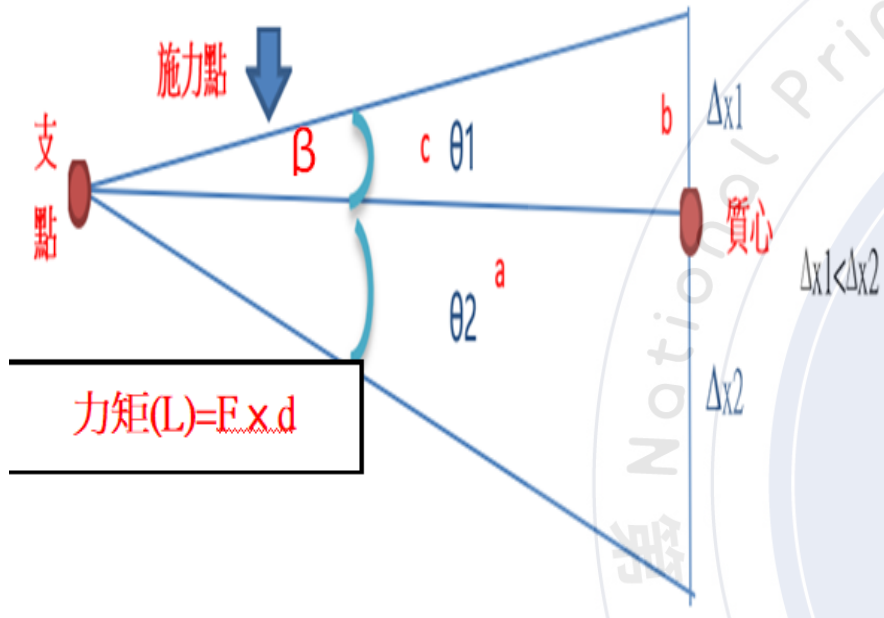


圖38:利用ABC三個音頻及對照組進行小米守護實驗結果圖

研究討論



餘弦定理:
 $b^2 = a^2 + c^2 - 2ac(\cos \beta)$
 牛頓第二定律:
 $\vec{F} = m\vec{a}$
 牛頓第三定律:
 作用力=反作用力

圖39:tracker追蹤鄒族趕鳥器其質心點上下振動角度示意圖

表8:人距離聲源不同距離所測得之分貝數(N=30)

距離/	0公尺		2.5公尺		5公尺		7.5公尺		10公尺	
分貝(db)	(M)	(SD)	(M)	(SD)	(M)	(SD)	(M)	(SD)	(M)	(SD)
響度	102.3	6.4	101.4	6.2	97.6	5.4	96.5	3.2	95.3	5.7

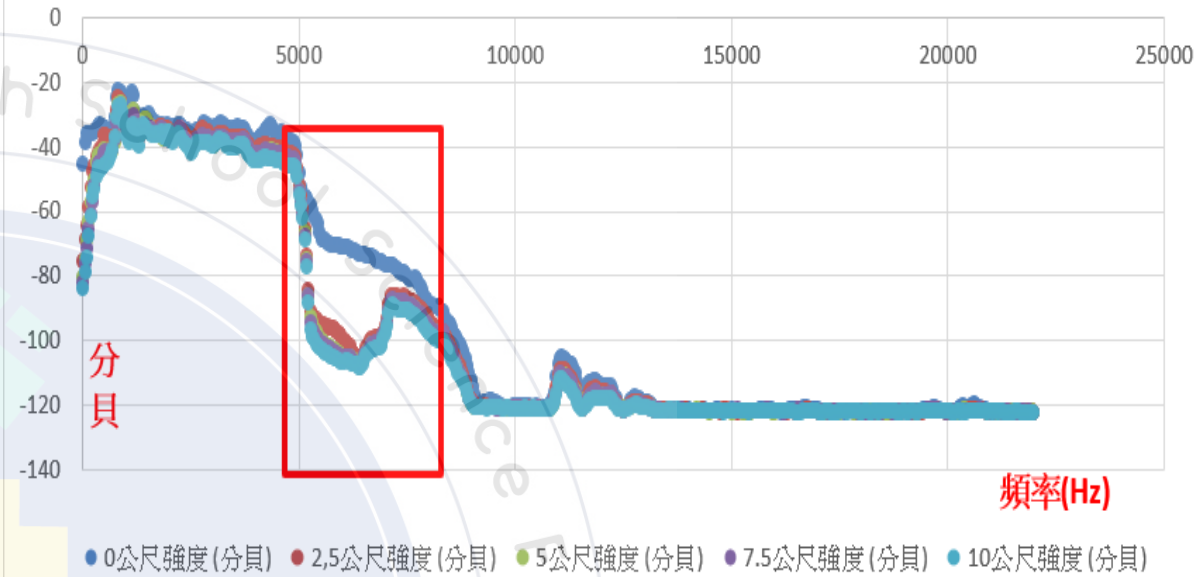


圖40:不同距離進行鄒族趕鳥器聲源譜分析實際能量的消長

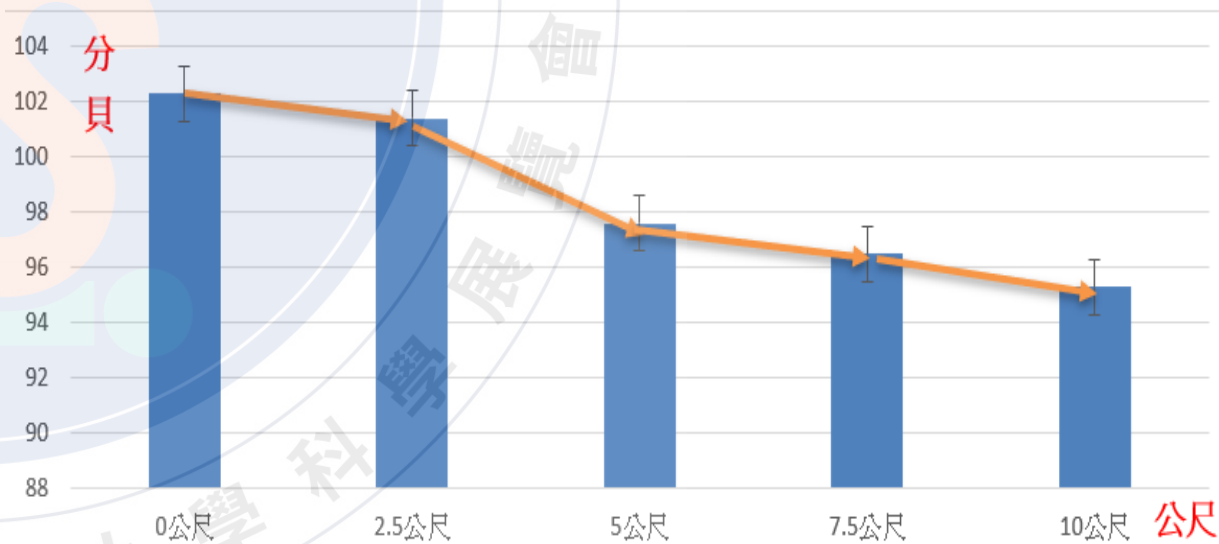


圖41:利用噪音機進行距離之測量結果作圖

研究結論

- 適合製作趕鳥器竹子的種類:桂竹>綠竹>麻竹。
- 手持趕鳥器使用方式及限制:最佳方式為遠離支點，距離 $d \uparrow$ ，力矩 $L \uparrow$ 。
- 最佳外型之趕鳥器
 - (二) 竹節長度40公分，直徑寬度6.5公分可以提升頻率及響度
 - (三)直徑寬度3.2公分，長度20公分，可提升頻率。
 - (三) 長度越長可以提升頻率及響度。
 - (四) 音箱個數一個(二個竹節)可以提升響度及頻率。
- 鄒族趕鳥器為民俗樂器:與打擊樂器較為符合，乾燥後，會增加許多泛音。
- 鄒族趕鳥器的降低鳥害實驗設計:長期替換音頻或間隔波放音頻，可降低鳥害。

文化連結與未來展望

$$\vec{F} = k \cdot \vec{x} (\text{k=竹子的彈力係數；x為位移})$$

我們也發現如果陰乾後彈力係數也會下降，因此若是能**有效的計算出竹子最佳的彈力係數，再決定是否該將竹子製成鄒族手持趕鳥器**，也是我們未來及將努力的目標。



圖41:鄒族趕鳥器之演進

參考資料

廖彥婷(民96)。鄒之風聲-風笛。台灣2007年國際科學展覽會作品說明書。美國第58屆國際科技展覽會。國中組。物理科。

孫俊彥(民104)。音樂與科學:音樂與泛音。科技大觀園。民110年2月27日，取自：<https://scitechvista.nat.gov.tw/c/s211.htm>。

曾祥恩(民104)。台東原住民防治鳥類減損小米產量成效之研究。碩士論文。台東:國立台東大學生命科學系碩士班。

王栢村(民107)。《振動噪音科普專欄》聲音信號的時頻圖分析與頻譜分析:竹製打擊樂器之聲音特性探討。查詢時間:110年03月01日，取自：https://aitanhv.blogspot.com/2018/10/blog-post_22.html。

楊可欣(民102)。閾值 (Threshold)。高瞻自然科學教學資源平台。科學online。民110年3月1日，取自：<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=481375>。