

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

080103

噪音變樂音～磨鳥笛

學校名稱：臺北市私立靜心高級中學(小學部)

作者： 小六 胡瑄珉 小六 黃憶珊 小六 陳韞安	指導老師： 謝智偉 陳慧娟
---	-----------------------------

關鍵詞：手擰鳥笛、摩擦力、音頻

摘要

摩擦音一向是令人不悅的噪音，經由實驗自製出聲音多變的磨鳥笛；發聲原理不同於販售的數種鳥笛，從磨鳥笛組成要件～木頭材質、螺絲粗細、紋路、扭力大小、比對鳥叫聲探究：

1. 磨鳥笛要能夠發聲須注意木材硬度、螺絲紋路、螺絲直徑、摩擦角度等特性。
2. 發聲結構體(木材)硬度在 600~1800 最合適，例如：櫟木、雲杉、松木、桑樹。
3. 螺絲直徑 5~6mm，細牙，牙距 0.5~0.75cm，深度 0.3~0.5cm 最適合當作摩擦體。
4. 木材含水量多寡影響聲音有無、高低音及泛音的變化，與螺絲轉動摩擦力大小有關。
5. 改變扭力大小與角度，造成螺絲鬆緊度改變產生不同音頻和音量的轉換。
6. 增加摩擦力可讓磨鳥笛聲音擬真度提高，扭力與振幅成正比。
7. 螺絲深度(h) \propto 音頻(f)，木材半徑(r) \propto 音頻(f)結果顯示為負相關。

壹、研究動機

鳥笛是最常被拿來當作模擬鳥叫聲的樂器，我們認為還有探究的空間，其中摩擦所產生的尖銳音，向來是令人感報不舒服的噪音之一；卻可經過巧手改造變成奇妙的鳥笛，在所學到聲音單元中學習簡易鳥笛的製作；並不能滿足我們的好奇心，總覺得擬真度不足夠且十分陽春簡陋；於是我們想利用手邊容易取得的廢棄木材和各種螺絲當作鳥笛主體，要製作出利用摩擦力簡單容易發聲，且聲音多變及相似度高的磨鳥笛。

貳、名詞解釋

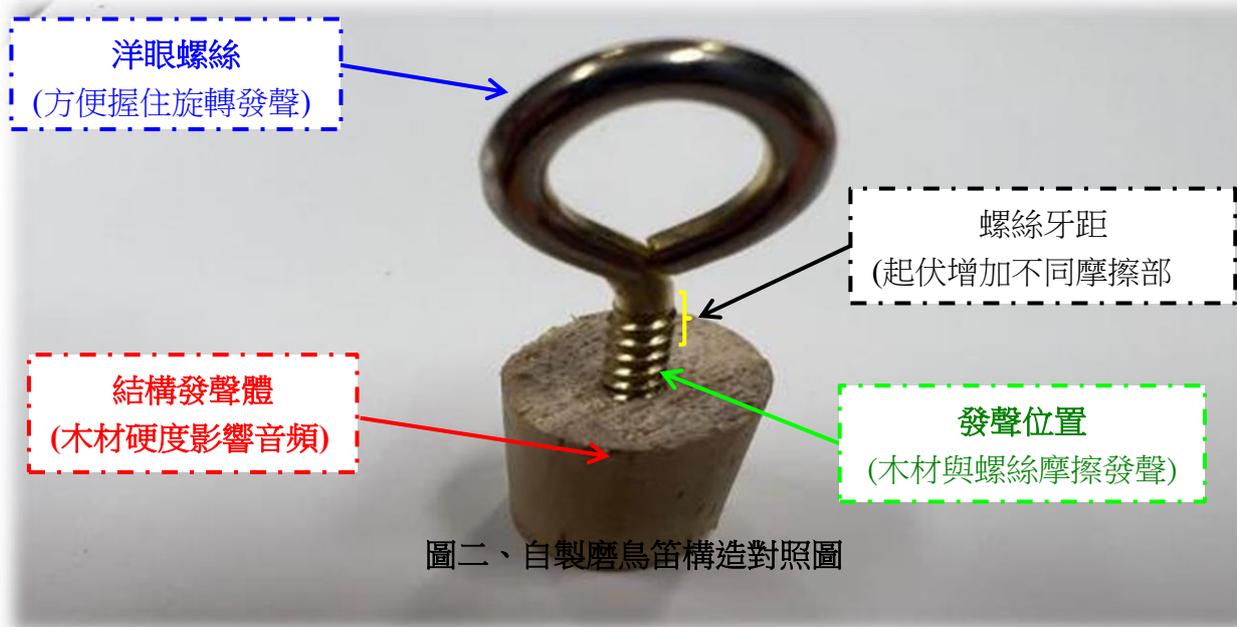
- 一、磨鳥笛：聲音的頻率與螺絲牙距量多寡及摩擦面積有關，利用左右扭轉的變化與改變摩擦面積鬆緊度，產生高低不同的聲音，進而模擬各種聲音及鳥叫聲。
- 二、音階：音階指依照 Do、Re、Me、Fa、Sol、La、Si 依序排列的一組音，用音名 C、D、E、F、G、A、B 分別代表 Do 到 Si，而 C4 代表中央 Do，C5 代表高八度 Do，C3 代表低八度 Do，依此類推。
- 三、音高：是指聲音的高低，以頻率（赫茲：Hz）來表示，# 代表升記號，表示該音高半個音，b 代表降記號，表示該音低半個音。

音階標準頻率(Hz)

音名	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	頻率比
C	8.18	16.35	32.70	65.41	130.81	261.63	523.25	1046.50	2093.00	4186.01	8372.02	1
C#/D♭	8.66	17.32	34.65	69.30	138.59	277.18	554.37	1108.73	2217.46	4434.92	8869.84	1.059463
D	9.18	18.35	36.71	73.42	146.83	293.66	587.33	1174.66	2349.32	4698.64	9397.27	1.122462
D#/E♭	9.72	19.45	38.89	77.78	155.56	311.13	622.25	1244.51	2489.02	4978.03	9956.06	1.189207
E	10.30	20.60	41.20	82.41	164.81	329.63	659.26	1318.51	2637.02	5274.04	10548.08	1.259921
F	10.91	21.83	43.65	87.31	174.61	349.23	698.46	1396.91	2793.83	5587.65	11175.30	1.334840
F#/G♭	11.56	23.12	46.25	92.50	185.00	369.99	739.99	1479.98	2959.96	5919.91	11839.82	1.414214
G	12.25	24.50	49.00	98.00	196.00	392.00	783.99	1567.98	3135.96	6271.93	12543.85	1.498307
G#/A♭	12.98	25.96	51.91	103.83	207.65	415.30	830.61	1661.22	3322.44	6644.88	13289.75	1.587401
A	13.75	27.50	55.00	110.00	220.00	440.00	880.00	1760.00	3520.00	7040.00	14080.00	1.681793
A#/B♭	14.57	29.14	58.27	116.54	233.08	466.16	932.33	1864.66	3729.31	7458.62	14917.24	1.781797
B	15.43	30.87	61.74	123.47	246.94	493.88	987.77	1975.53	3951.07	7902.13	15804.27	1.887749
C	16.35	32.70	65.41	130.81	261.63	523.25	1046.50	2093.00	4186.01	8372.02	16744.04	2

圖一：音階標準頻率表(取自網路維基百科)

四、磨鳥笛各部位名稱：



圖二、自製磨鳥笛構造對照圖

參、研究目的

想研究如何製作出音頻豐富的磨鳥笛，所以列了下列四個研究目的與相關的問題進行探究：

目的一：瞭解磨鳥笛聲音產生的要素。

目的二：研究不同木頭材質與螺絲種類變化的發聲關聯性。

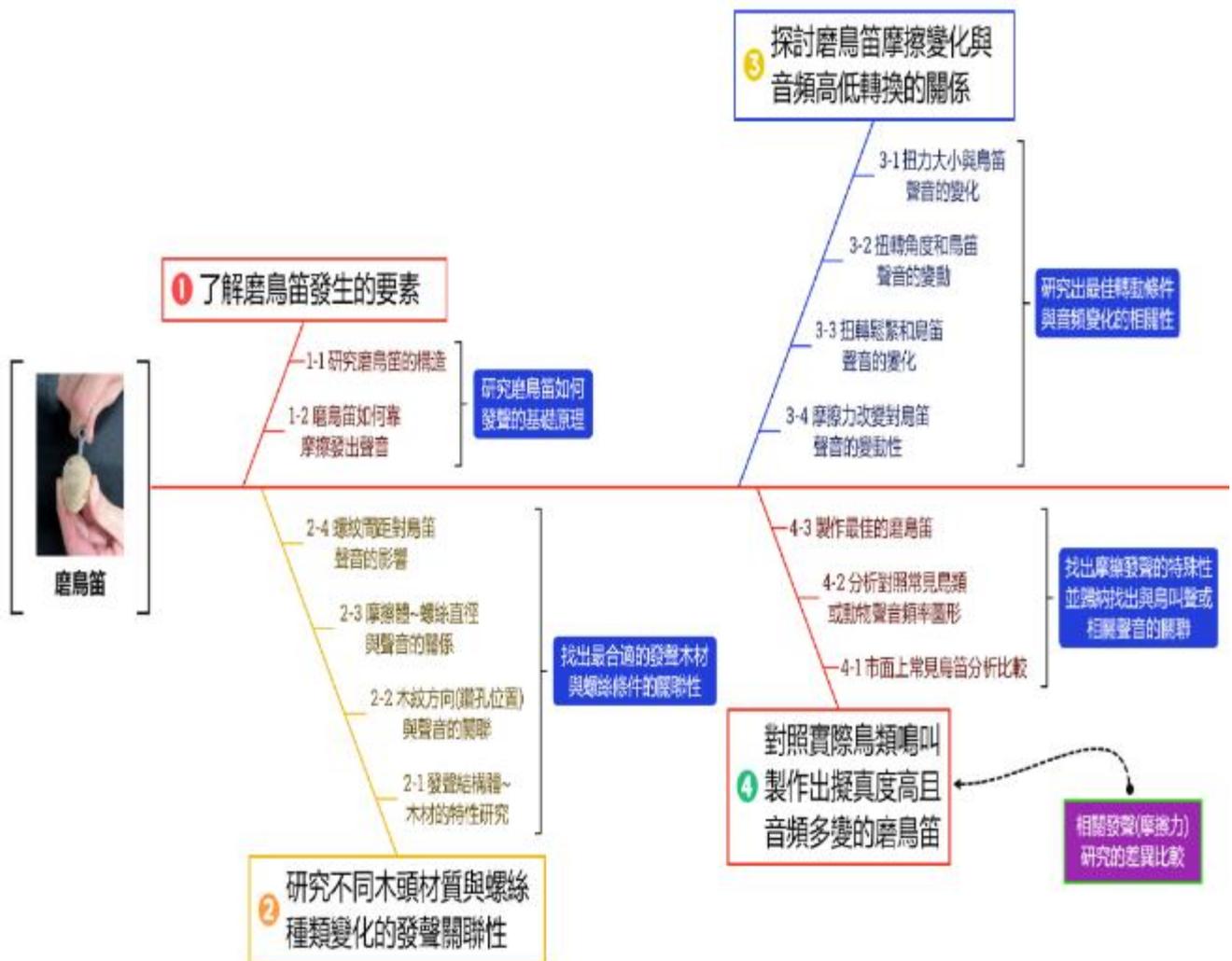
目的三：探討磨鳥笛摩擦變化與音頻高低轉換的關係。

目的四：對照實際鳥類鳴叫製作出擬真度高且音頻多變的磨鳥笛。

肆、研究設備及器材



伍、研究過程



陸、研究方法與結果

目的一：瞭解磨鳥笛產生聲音的要素？

1-1：研究磨鳥笛的構造？

一、**研究觀察**：從 YOUTUBE 影片中觀察磨鳥笛的構造與如何發聲。

二、**研究過程**：嘗試自製磨鳥笛，找出符合的製作材料，並以記錄木材種類與材料特性。

三、**研究結果**：(一)材料分析：符合製作發聲體木材性質(摩擦部位)。

木材說明

木材是利用樹幹所製材，而樹幹是由「心材」和「邊材」所構成，心材是指靠近木心，顏色偏紅的部分，而邊材指的是靠近樹皮，顏色較淡的部分。一般來說，心材比邊材的硬度強，不容易變形，也不容易蟲蝕。實際上，室內設計所用的木材皆須經過乾燥，乾燥的方法分為「人工乾燥」和「自然乾燥」兩種，根據不同用途，將木材的含水率乾燥至適合的程度。



圖三

木材硬度

木材之硬度最常用測試為詹氏硬度(Janka Ball Hardness Test)。將鋼珠以重力壓入木材中，深度達鋼珠高度 1/2 所需之荷重就是木材硬度(單位為牛頓)。

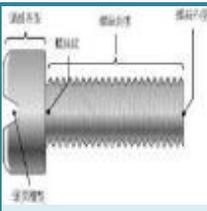
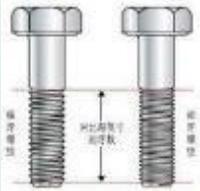
木材分類

硬木材：主要硬度從 1800-2400 為主，如台灣相思木或稱為台灣紫檀 (Formosan koa)、南美櫻桃木 (Patagonian Cherry)、花梨木 (Burma Padauk)、紅檀香 (Cabreuva) 等，都屬於高級等之硬木，這些木頭都非常適合應用於較頻繁使用的空間與物品。

一般木材：主要硬度從 1200-1800 為主楓木 (Maple)、山毛櫸 (Beech)、胡桃 (Walnut) 等，此等級的木材常見於製作櫥櫃等消費商品，為常用的商用木材。

軟木材：主要硬度從 600-1200 為主，如松 (Pine)、雲杉 (Engelmann Spruce) 等，因硬度較低價格也較低且容易取得，故常使用在一般家具或一些 DIY 材料。(資料來源：木百貨)

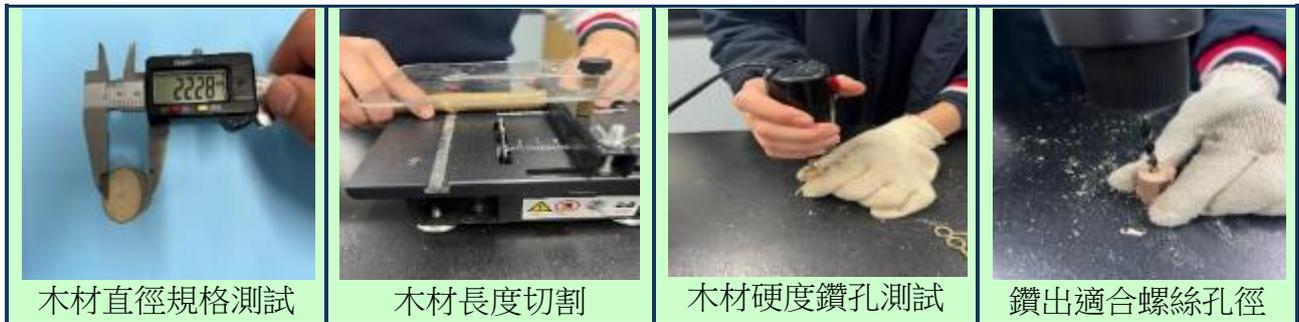
(二)發聲用螺絲：

螺絲名稱	洋眼螺絲	魚眼螺絲	手擰螺絲	膠頭螺絲	吊環
螺絲規格與紋路			<ol style="list-style-type: none"> 規格會以螺絲外徑區分大小。 螺絲紋路分為粗牙和細牙兩種。 牙距：也叫螺距，指的是相鄰螺牙在中徑線上對應兩點的軸向距離或相鄰牙山或牙穀間的距離。 		
螺絲照片					
	洋眼螺絲	魚眼螺絲	手擰螺絲	膠頭螺絲	吊環螺絲

1-2：磨鳥笛如何靠摩擦發出聲音？

一、**研究想法**：在只有影片的片段無任何相關資料下，我們嘗試自己找出磨鳥笛如何利用摩擦發聲的原理，並試著製作樣品實際操作，理解如何利用螺絲摩擦如何產生聲音，更進一步讓聲音可以模擬接近實際的鳥叫聲。

二、**研究過程**：經過不斷的搜尋材料與嘗試不同組合？我們發現光是木頭的種類和硬度就有不同差別，影片上講得非常簡單容易；實際搭配起來卻是只有摩擦的高音，卻無鳥叫聲的悅耳，我們發現螺絲的紋路、牙距與木材的特性影響著是否可以發出類似鳥叫的聲音。



三、**研究結果**：利用手指來回旋轉螺絲，會有不同的鬆緊度，產生不同高低音變化



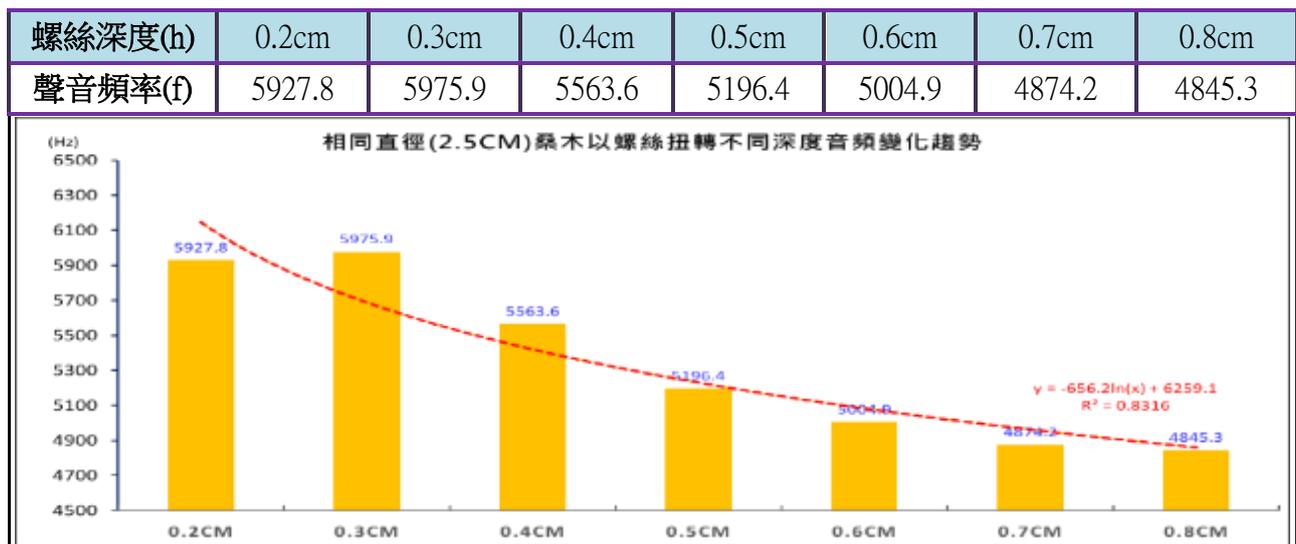
1-3：螺絲鑽入深度與木材直徑大小產生的聲音變化？

一、研究想法：既然知道是由螺絲旋入木材摩擦後產生如鳥叫般的音頻，那不同直徑大小的木材與旋入木材的深入對於音頻有何種變化產生。

二、研究過程：經過不斷嘗試不同組合？我們發現螺絲旋入深度會影響到音頻的變化，我們也學到振動體大小會影響聲音高低；如果改變木材直徑大小，是否也會因為影響木材振動發聲而產生不一樣的音頻變動。



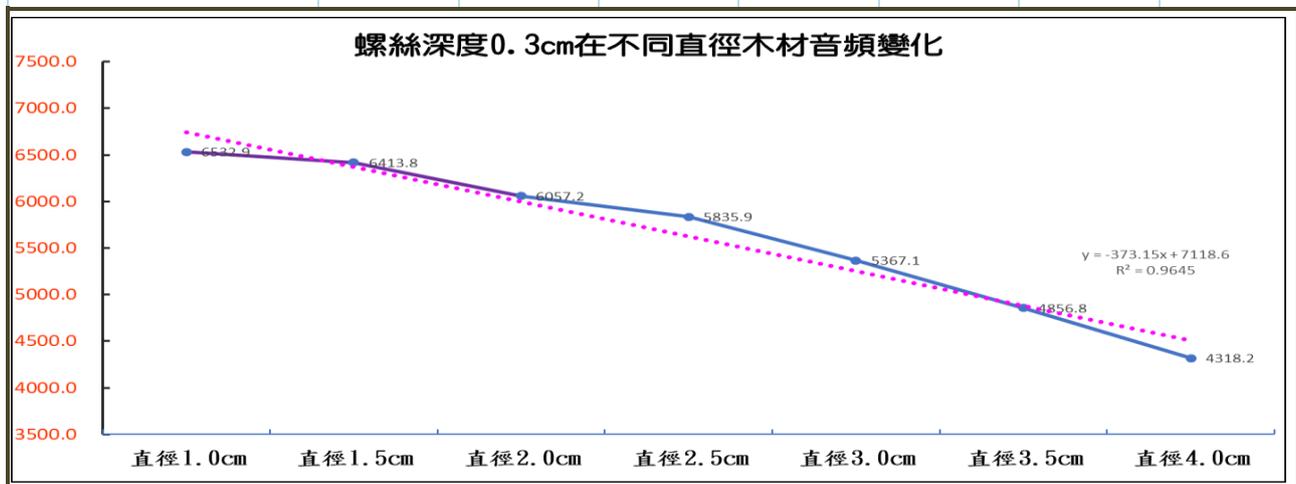
三、研究結果：(1)旋入深度音頻變化 (表一)

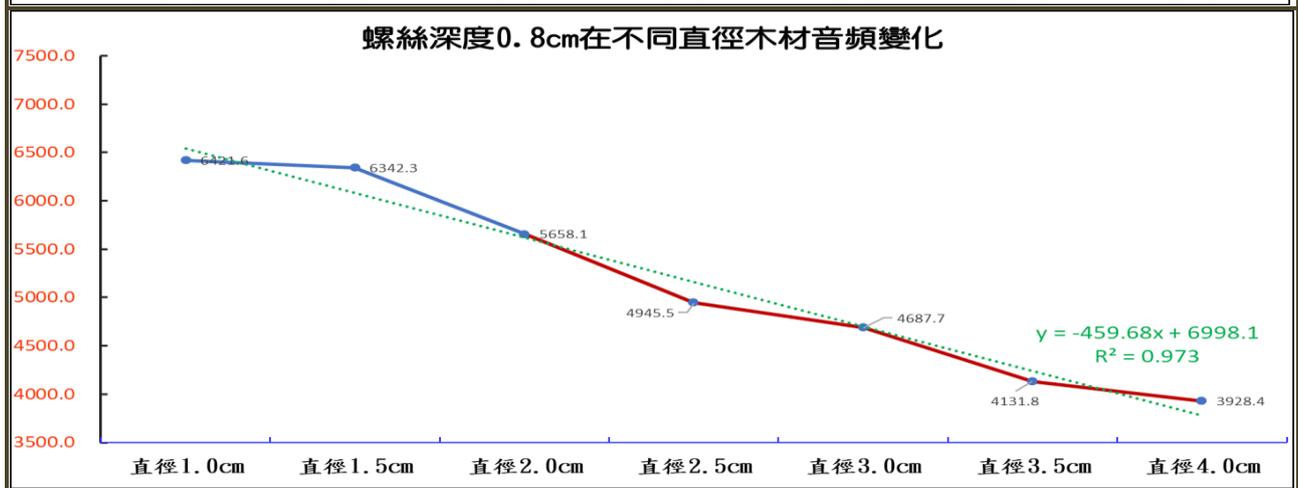
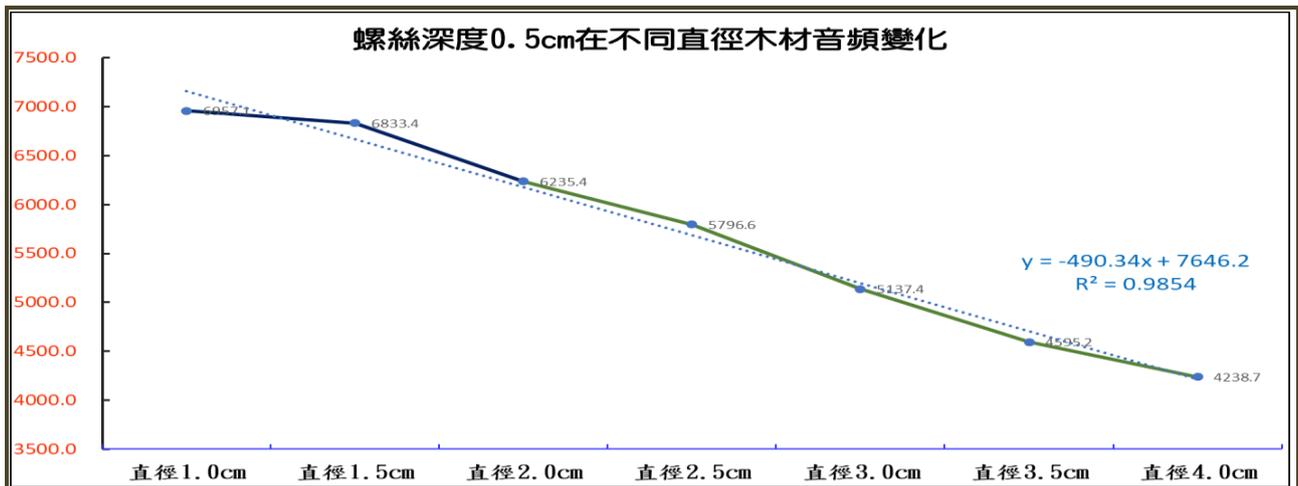


*隨螺絲深度不同判斷出：螺絲深度(h) \propto 音頻(f)，深度增加；頻率降低，兩者呈負相關。

(2)不同木材直徑(同棵桑木)固定螺絲旋入聲音變化(表二)

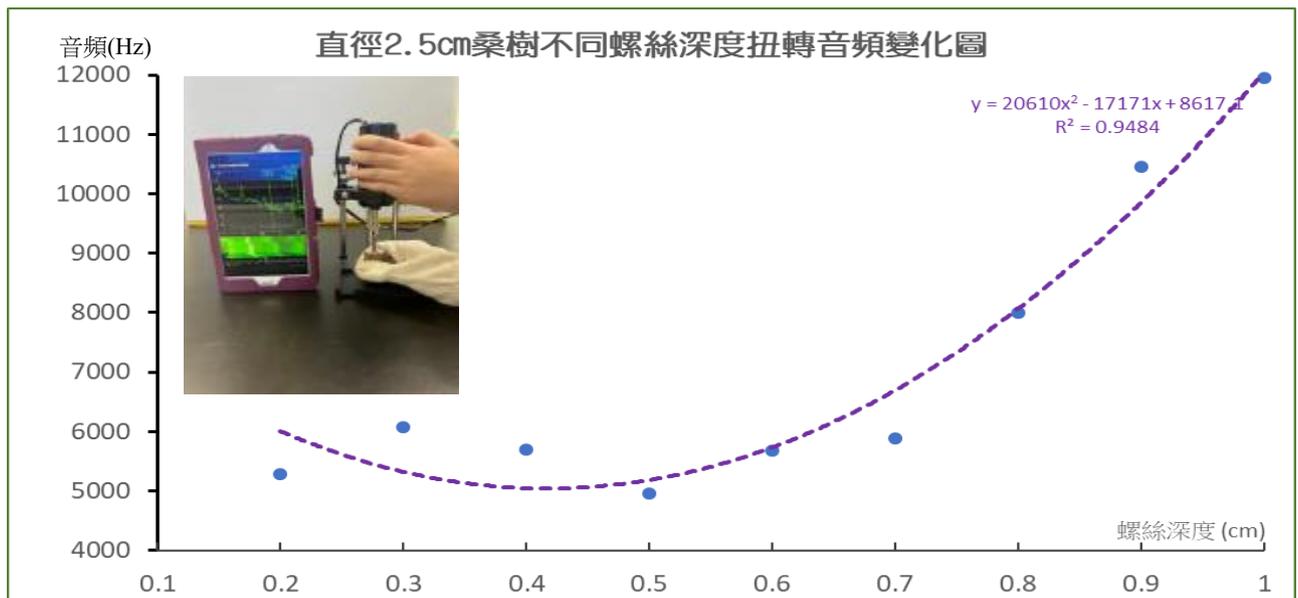
木材直徑(d)	1.0cm	1.5cm	2.0cm	2.5cm	3.0cm	3.5cm	4.0cm
螺絲深度 0.3cm	6532.9	6413.8	6057.2	5835.9	5367.1	4856.8	4318.2
螺絲深度 0.5cm	6957.1	6833.4	6235.4	5796.6	5137.4	4595.2	4238.7
螺絲深度 0.8cm	6421.6	6342.3	5658.1	4945.5	4687.7	4131.8	3928.4





*固定螺絲深度改變木材直徑判斷出：木材直徑(d)∝音頻(f)，當相同材質木材直徑增加(振動體變大)；音頻會隨著降低，兩者呈現負相關。

(3)以電動螺絲起子固定轉動扭力 2N.m，持續鑽入木材(萬力夾固定)音頻變化分析(圖四)



持續鑽入測量結果音頻會先降再升，越轉越緊時音頻會升高，然後就轉不動鎖住無法摩擦。

目的二：研究不同木頭材質與螺絲種類變化的發聲關聯性。

2-1 發聲結構體~木材特性的研究？

一、研究想法：

我們發現磨鳥笛能夠發出聲音主要在於摩擦木材，也就是利用螺絲轉動摩擦產生振動而發聲，在自然課本中有學到不同的物質會有不同的音色，所以我們將所蒐集到的木材拿來一一測試，希望能夠找到可以完美呈現出鳥叫聲的木材種類或特性。

二、研究過程：

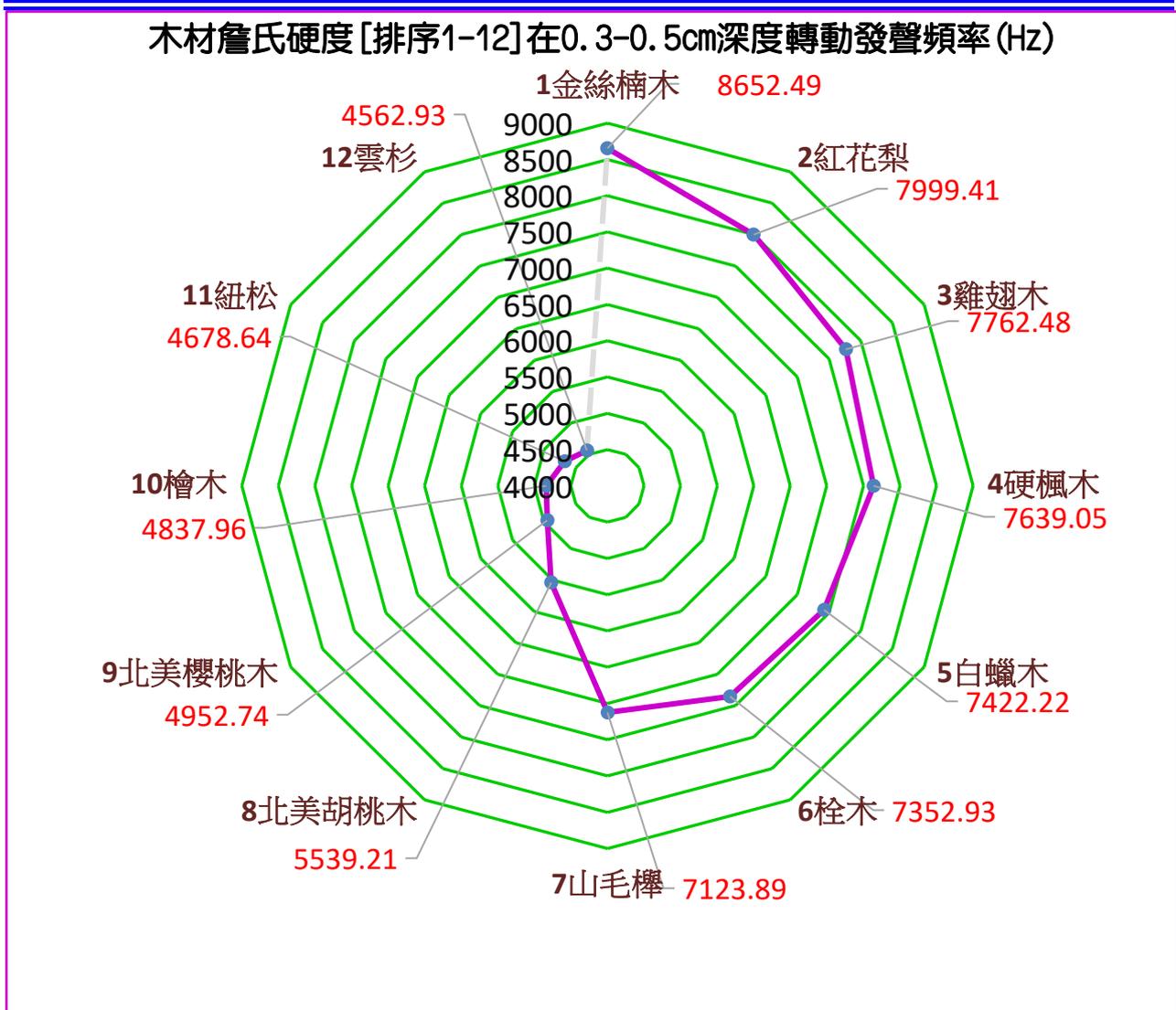
1. 將適合當作發聲結構體的木材種類一一列出。
2. 考慮硬度與摩擦的特性逐一測試。
3. 所使用的材料測試如下(表三)。

硬木材						
	樺木	花旗松	歐洲赤松	白蠟木	硬楓木	
	軟木材					
		雲杉	美西側柏	北美扁柏	松木	北美胡桃木
		原木材				
桑樹			光臘樹	楓香	水黃皮	楓樹
						
芭樂樹	黃槐		台灣肖楠	櫻花樹	龍眼木	

三、研究結果：

1. 將實驗結果整理如下表(表四)：

硬木材	櫟木	花旗松	歐洲赤松	白蠟木	硬楓木
可否發聲	可	可	可	可	可
軟木材	雲杉	美西側柏	北美扁柏	松木	北美胡桃木
可否發聲	可	可	可	可	可
原木材	桑樹	光臘樹	楓香	水黃皮	楓樹
可否發聲	可	可	可	可	可
原木材	芭樂樹	黃槐	台灣肖楠	櫻花樹	龍眼木
可否發聲	可	可	可	可	可

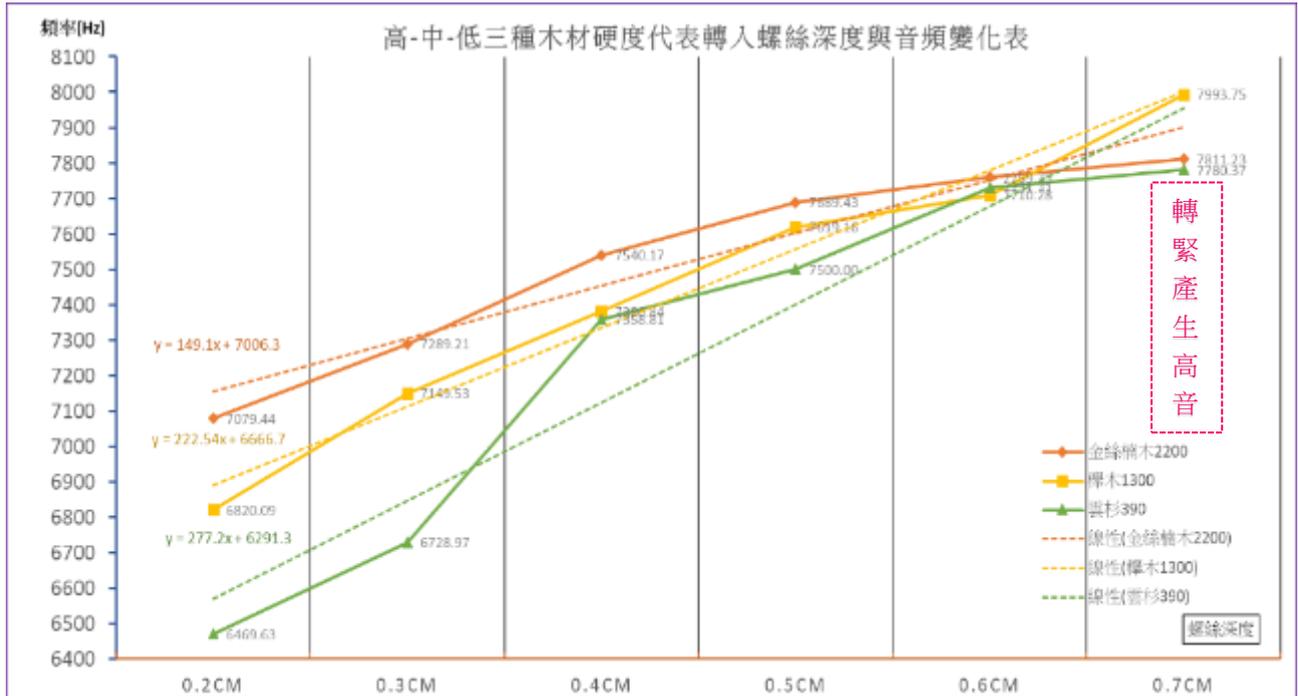


2. 我們發現材質越硬，需要越大力道轉動產生摩擦振動，並發出較高音頻的聲音。
3. 原木的含水量較高摩擦發聲不易，需低溫(40度)烘乾讓含水量降低(約15%↓)才能發聲。
4. 材質硬度高(扭力過大不好轉)或材質偏軟(沒摩擦力產生，例如3D列印木材)均不易發聲。
5. 分析不同硬度木材製成鳥笛音頻圖(舉例種類：肖楠、雲杉、扁柏、松木、構樹、桑樹)

木材名稱	音頻圖	聲音振幅變化(時間單位 0.1 秒)
肖楠(硬) (6670.60Hz)		
雲杉(軟) (4936.66Hz)		
扁柏(軟) (4479.40Hz)		
松木(軟) (6000.00Hz)		
構樹(原) (6119.16Hz)		
桑樹(原) (5789.72Hz)		

※從音頻圖變化趨勢與震幅圖形變化比較，可清楚分辨出木材硬度直接影響音頻與音量。

6.分別取已知最高-中間-最低三種不同硬度木材，以不同深度扭轉螺絲比較音頻變化情形



※能清楚看出木材硬度影響摩擦音頻，螺絲深度依然在 0.3-0.5cm 音頻的變化最明顯。

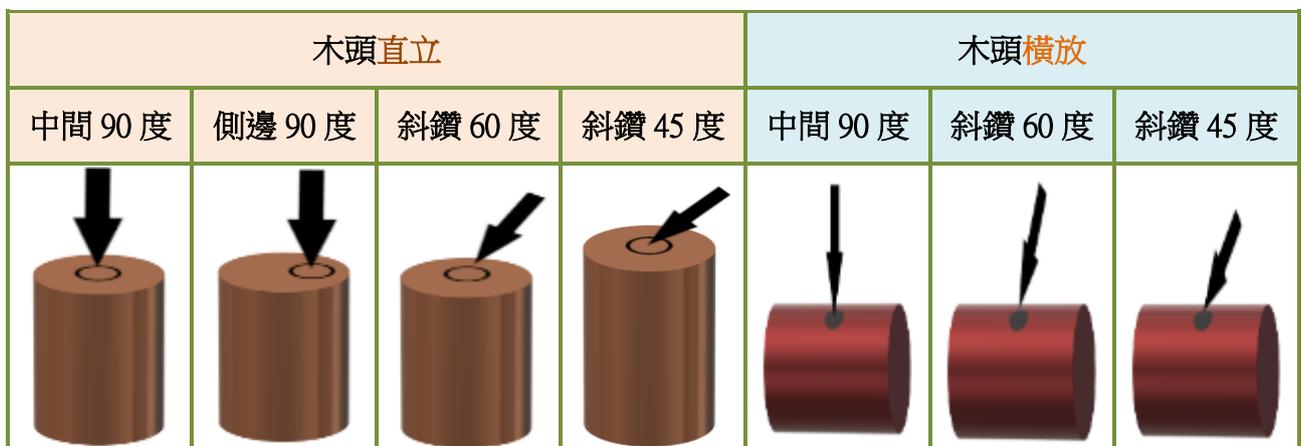
2-2：木紋方向(鑽孔位置)與聲音的關聯？

一、研究想法：

2-1 研究確認可以發聲當作振動體的木頭材質有哪些種類，我們更進一步進行不同方向鑽孔發聲測試，藉此歸納出聲音主要發聲位置，找出適合當成標準範例最佳鑽孔位置。

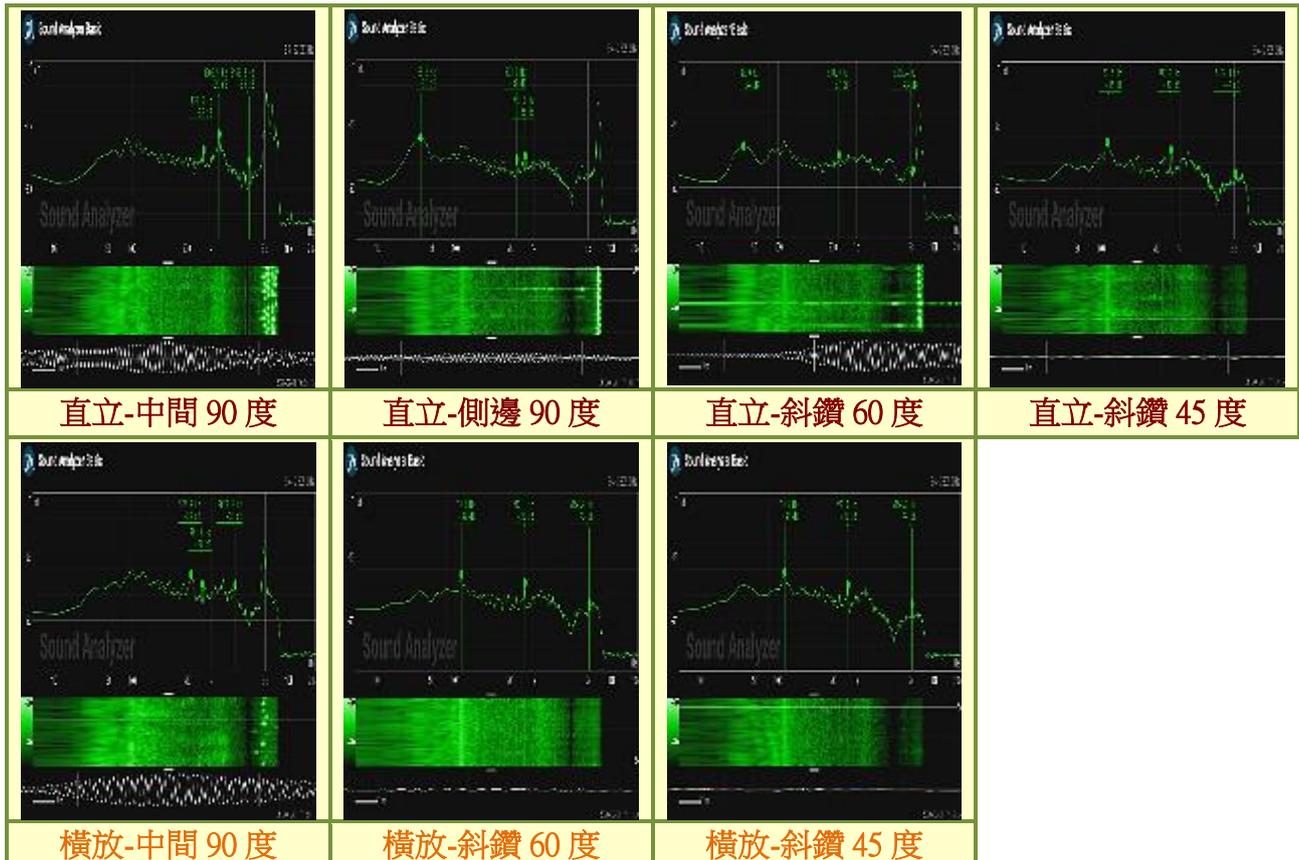
二、研究過程：

1. 取 2-1 研究所找出適合發聲的各類木材鑽孔，統一鑽孔孔徑大小為 5.5mm。
2. 鑽孔位置如下圖示以平板 APP 音頻程式紀錄所測到音頻並拍照紀錄。

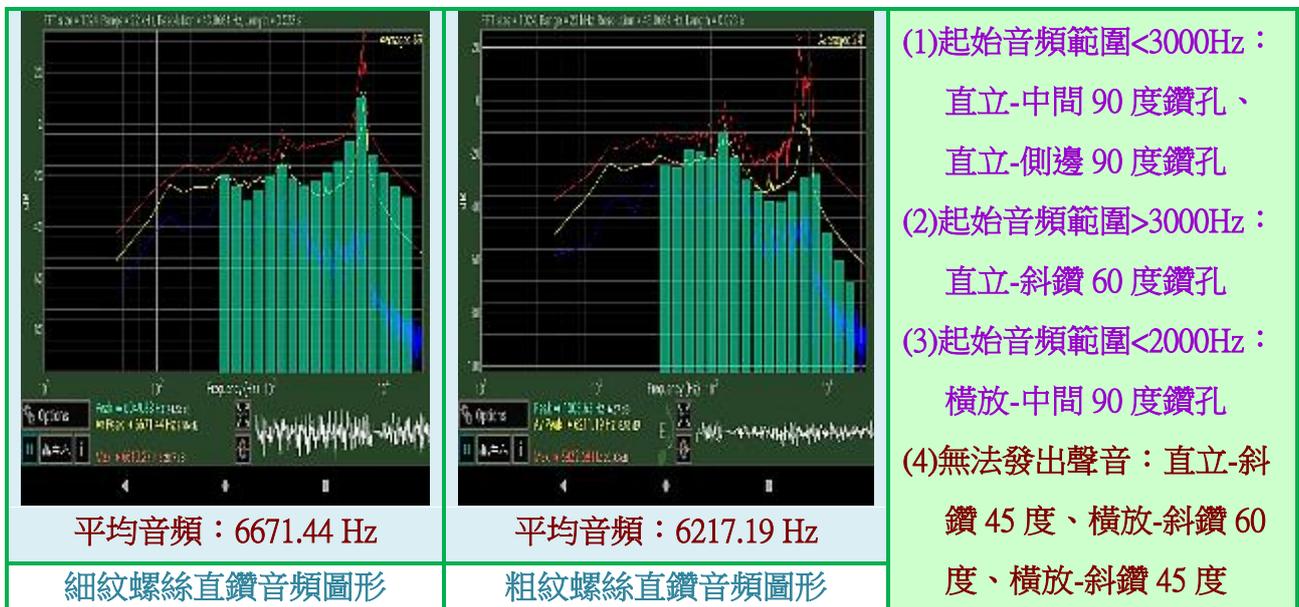


3. 利用音頻圖歸納整理不同鑽孔位置產生的音頻區間差異。

三、研究結果：1. 七種鑽孔位置相同規格螺絲轉動發聲所產生音頻圖 (圖五)



2. 音頻變化分析說明 (圖六)



3. 從變動的音頻波形變動圖分析不同鑽孔位置和角度摩擦，所產生聲音高低與頻率範圍。
4. 不同波形顏色顯示音色受到鑽孔位置磨擦到木材不同年輪部位，而有不同的發音特性。
5. 以垂直 90 度鑽孔最容易摩擦發出聲音，角度傾斜 60 度以下則無法發聲(會影響摩擦)。
6. 紋路粗細的音頻圖記錄就可以看出最主要音頻經轉換分析比較兩者差了 1.14 倍。

2-3：摩擦體~螺絲直徑與聲音的關係？

一、研究想法：

經由上述研究確認發聲振動體受木頭材質影響有不同的音頻，我們接著進行不同磨擦體(螺絲)發聲測試，藉此歸納找出螺絲直徑與烏笛發聲的關聯性，讓磨烏笛音色具有更豐富的變化，找出適合用來製作烏笛的螺絲最佳規格範圍。

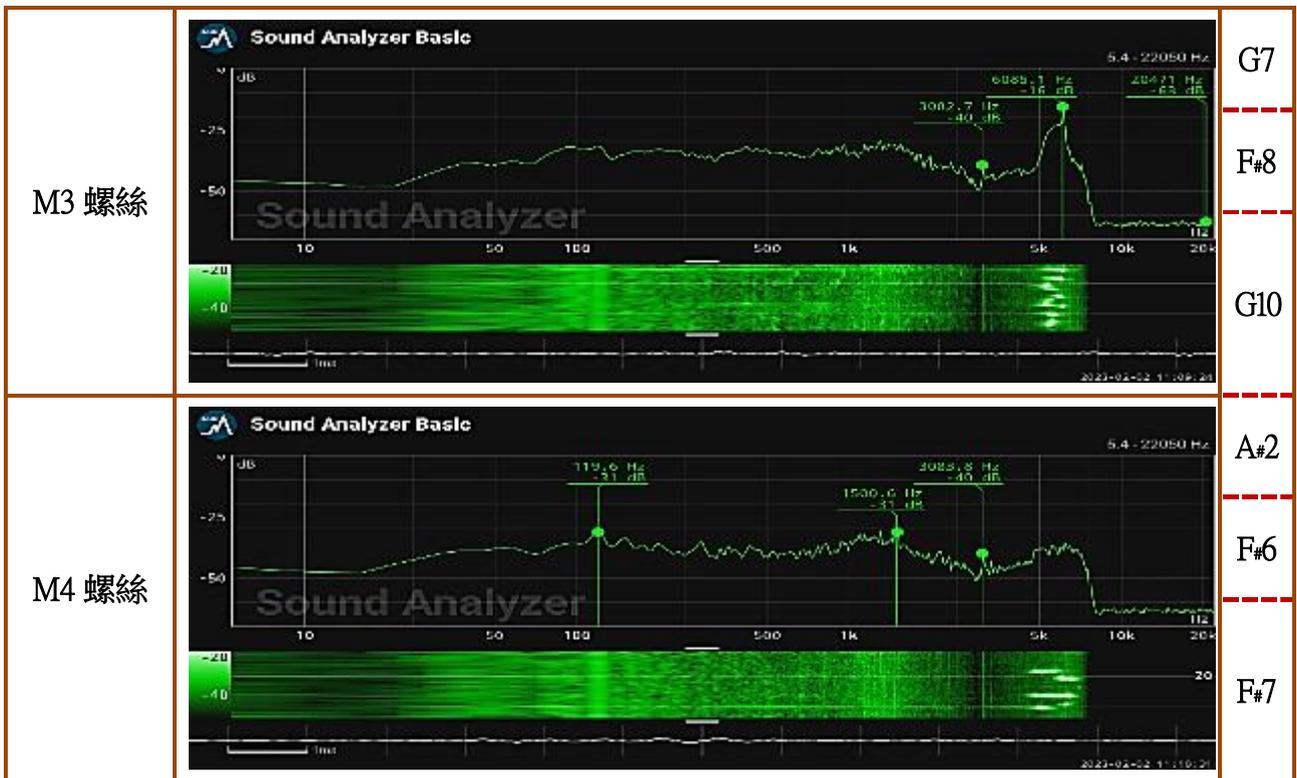
二、研究過程：

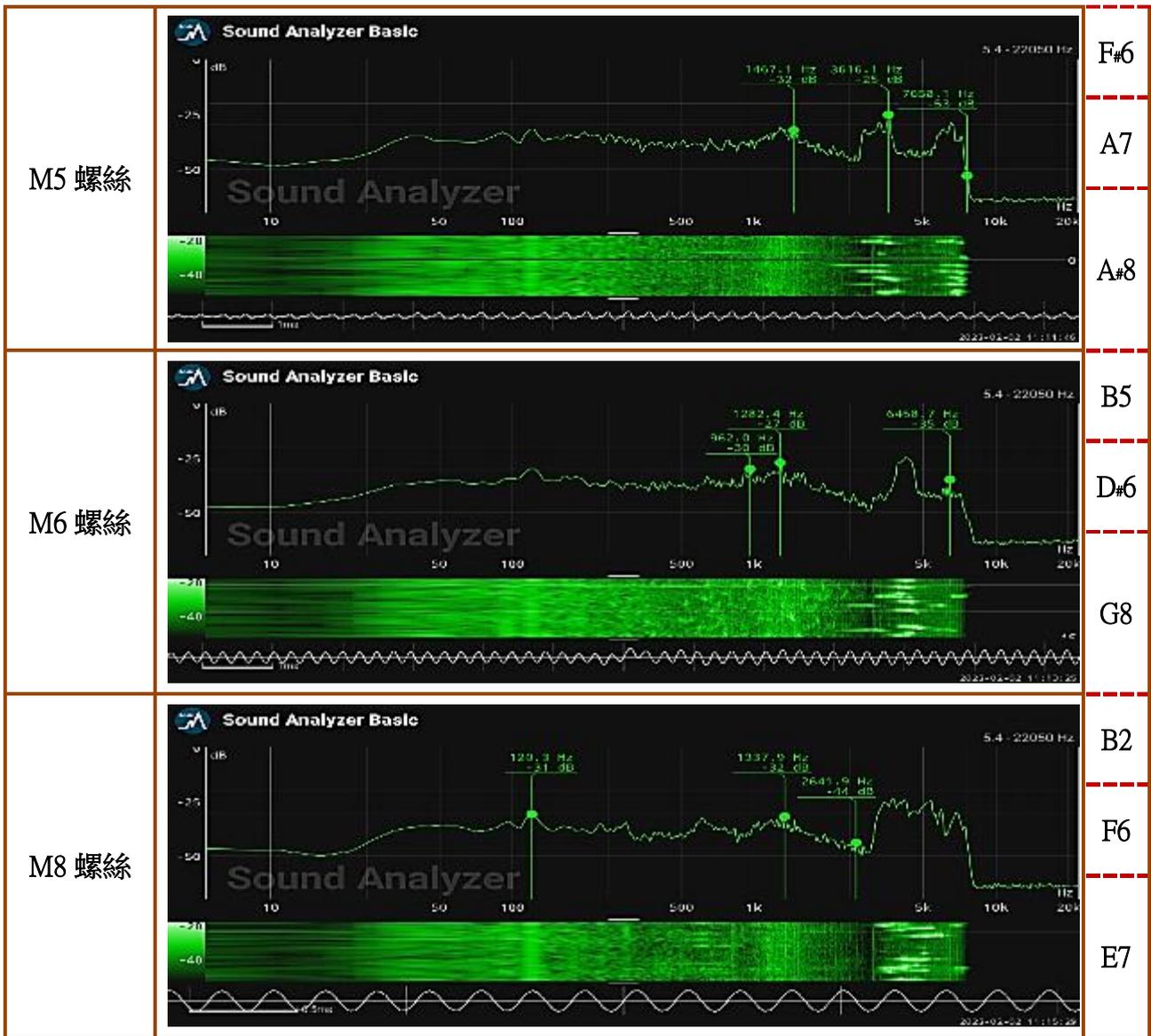
1. 以公制螺絲當作摩擦體的材料，藉由轉動與木材摩擦發聲。
2. M3 表示直徑約為 3mm，以此類推依照公制螺絲規格表選定 M3、M4、M5、M6、M8 五種規格螺絲進行實驗測試。



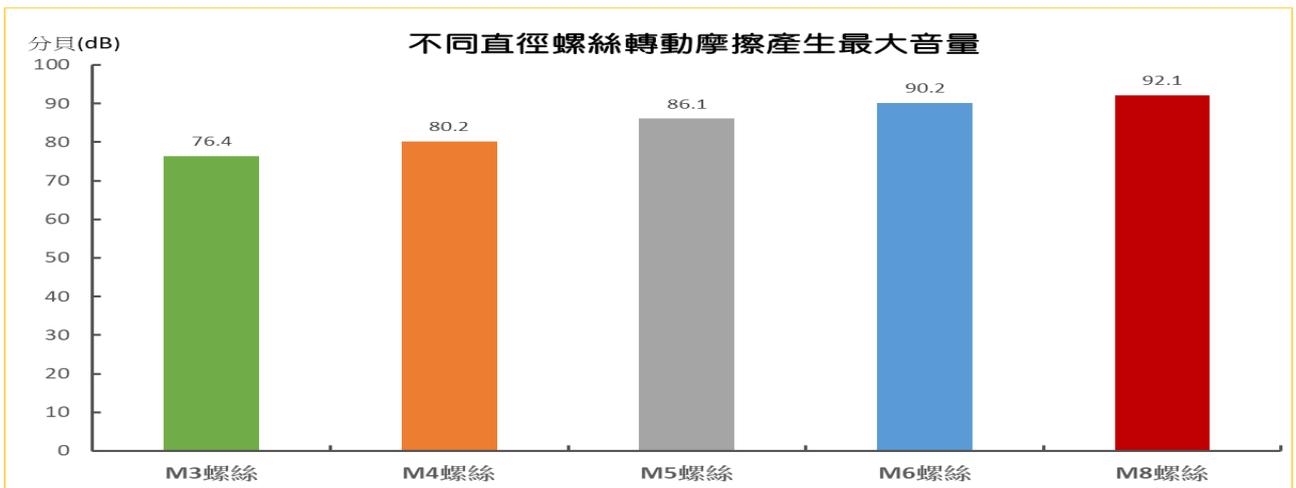
三、研究結果：

1. 五種螺絲摩擦產生音頻圖對照比較(以中央 90 度，垂直鑽孔、圖七)





2. 五種螺絲摩擦產生音量大小(單位：分貝)(圖八)



3. 螺絲直徑越小，摩擦音量越小，音頻偏高；反之，直徑越大，音量越大，音頻較正常。

4. 直徑與音量成正比並影響轉動扭力大小；過大螺絲則不易轉動，直徑以 M5~M8 為最佳。

2-4：螺紋間距對鳥笛聲音的影響？

一、研究想法：

我們在研究過程中，收集了各種螺絲，我們發現依照牙距有分成粗牙和細牙兩大類；以一英寸(25.4mm)的螺紋數量(牙數)，牙距=25.4÷牙數。(取自網路：公制與英制螺紋牙距表)

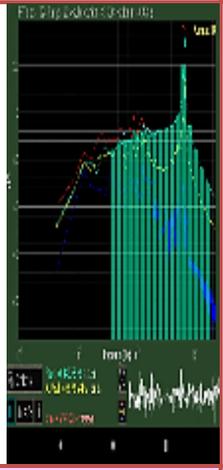
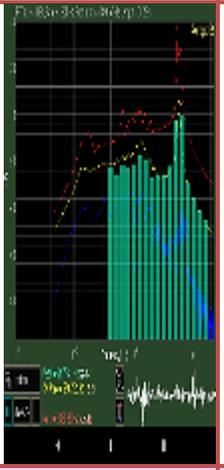
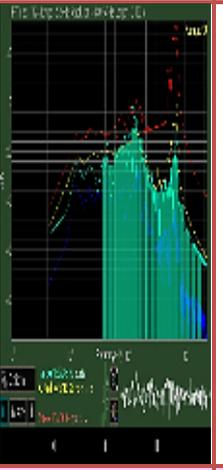
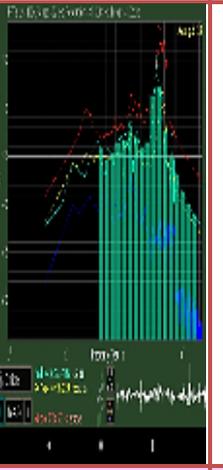
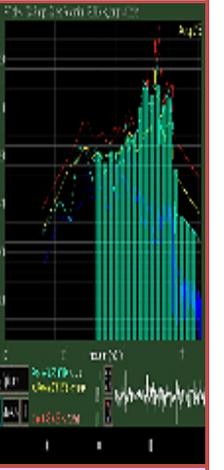
公制英制螺紋牙距表								
公制	牙距			英制 美制	稱呼	牙數		
	粗牙	細牙	極細牙			粗牙	細牙	韋氏牙
M3	0.5	0.35		4#	2.8	40	48	
M4	0.7	0.5		6#	3.5	32	40	
M5	0.8	0.5		8#	4.2	32	36	
M6	1.0	0.75		10#	4.8	24	32	
M7	1	0.75		12#	5.5	24	28	
M8	1.25	1.0	0.75	1/4	6.35	20	28	20
M10	1.5	1.25	1.0	5/16	7.94	18	24	18
M12	1.75	1.5	1.25	3/8	9.53	16	24	16
M14	2.0	1.5	1.0	7/16	11.11	14	20	14

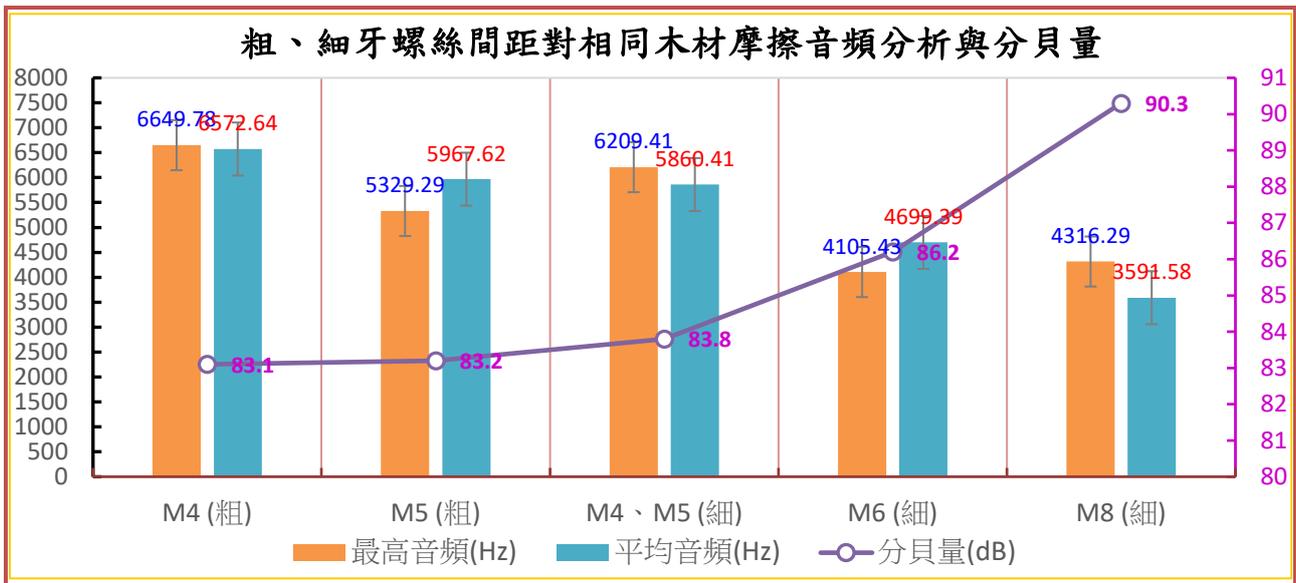
二、研究過程：

1. 利用 2-3 研究結果取 M5~M8 螺絲，再依據螺絲間距進行摩擦音頻分析。
2. 遇上困難，市售粗牙螺絲只有 M4 和 M5 兩種規格，只能以此兩種進行研究分析。

三、研究結果：

1.不同螺紋間距音頻圖示(黃色線為平均值)(表五)

規格	M4 (粗牙)	M5 (粗牙)	M4、M5 (細)	M6 (細牙)	M8 (細牙)
音頻圖					
最高音頻	6649.78Hz	5329.29Hz	6209.41Hz	4105.43Hz	4316.29Hz
平均音頻	6572.64Hz	5967.62Hz	5860.41Hz	4699.39Hz	3591.58Hz
分貝量	83.1 dB	83.2 dB	83.8 dB	86.2 dB	90.3 dB



2. 螺紋間距影響摩擦面積多寡，轉動直接影響高、低音變化。

3. 音量表現以細紋 M6 及 M8 最佳，聲音變化較為清晰，不尖銳刺耳。

目的三：探討磨鳥笛摩擦變化與音頻高低轉換的關係。

3-1：扭力大小和鳥笛聲音的變化？

一、研究想法：

我們雖然嘗試將鳥笛發出不同音頻，卻一直思考要如何將扭力大小表現出來，到底是用多大的力量可以轉出相對應的聲音頻率，在不同材質同樣的扭力聲音又有何差異變化。

二、研究過程：

1. 我們利用市售的扭力起子來進行轉動測試。
2. 現行常見的扭力標示單位分別有 Kg-m(公斤-米)、Nm(牛頓米)及 lb-ft(英鎊力)等三種，這三個單位之間的換算為 1kg-m=9.8Nm=7.231lb-ft。國內一般多使用 kgm，至於歐洲則常以 Nm 標註，北美地區則採用 lb-ft 為扭力單位，1N.m 約為 100cN.m。
3. 找出適合發聲的大小扭力，將範圍定在 1N.m 換算約為 0.102 kgf.m，轉動測量可發聲的最小扭力值為多少。

三、研究結果：1. 不同材質的木材發聲最低扭力(以 M5 螺絲為例，扭力單位 N.m)(表六)

硬木材	檫木	花旗松	歐洲赤松	白蠟木	硬楓木
最低扭力值	1.0	1.0	2.0	4.0	3.0
最大分貝量	82.8	81.7	86.3	95.4	90.2

軟木材	雲杉	美西側柏	北美扁柏	松木	北美胡桃木
最低扭力值	0.4	0.2	0.4	0.2	1.5
最大分貝量	83.5	88.1	93.1	87.8	83.3
原木材	桑樹	光臘樹	楓香	水黃皮	楓樹
最低扭力值	0.2	0.5	0.4	0.3	1.0
最大分貝量	86.2	88.7	82.5	82.1	87.4
原木材	芭樂樹	黃槐	台灣肖楠	櫻花樹	龍眼木
最低扭力值	1.5	1.5	0.8	0.5	0.8
最大分貝量	89.7	85.5	87.6	85.7	89.6



- 木材硬度越高，扭力值越大，摩擦音頻越高，硬度越低，扭力值小，音頻較低。
- 以松木、美西側柏和桑樹最容易轉動，發聲最低扭力 0.2 N.m，約為 0.204kgf.m 的力。
- 常見檫木約 1.0 N.m 力可轉動發聲，白蠟木則需要 4.0 N.m 才能轉出聲音。
- 只要木材含水量低於 15% 以下，幾乎都可以發出超過 80 分貝 ↑ 的音量。
- 扭力大小影響音量及音頻變化(會改變螺紋與木材的摩擦力)，造成振動的改變。

3-2：扭轉角度和鳥笛聲音的變化？

一、研究想法：

找出適合出力的扭力範圍後，我們觀察到透過螺絲旋轉造成摩擦讓鳥笛發出聲音，然後造成聲音高低的轉變似乎不只有轉動那麼簡單，於是我們更進一步測試不同扭轉角度鳥笛聲音是如何變化。

二、研究過程：

1. 利用量角器貼在鳥笛周圍
2. 轉動鳥笛螺絲紀錄發音時的角
3. 將所測得的音頻記錄下來並分析高低變化
4. 並利用分貝計紀錄所發出最大音量
5. 重複測試找出最正確音頻紀錄



自製扭轉角度發音測量器

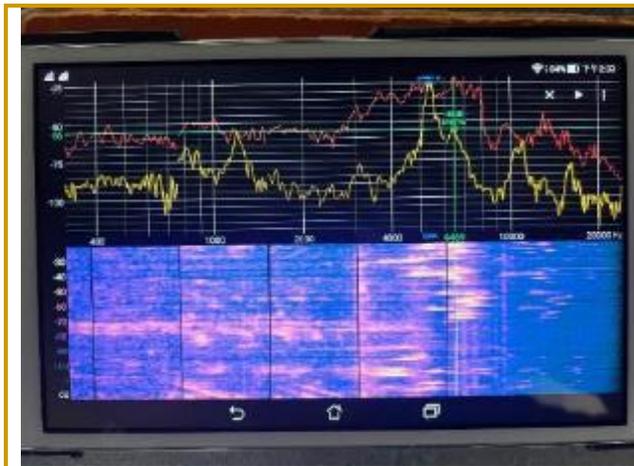
三、研究結果：

1. 不同角度轉動發音結果(表七)

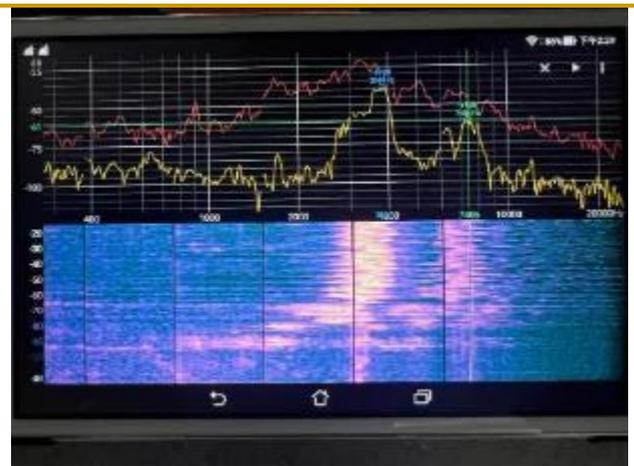
轉動角度	30度	45度	60度	90度	180度
照片圖示					
能否發聲	否	可	可	可	可
音頻/分貝	無	E7 (65dB)	D#7 (79.8 dB)	F7 (90.5dB)	Eb7 (86.5 dB)

2. 結果發現轉動角度小於 45 度時，無法發出聲音；超過 90 度音頻和音量則不變。

3. 轉動範圍在 45~90 度範圍內聲音變化最大(桃紅色塊顯示)。



轉動區間 30~60 度聲音變化

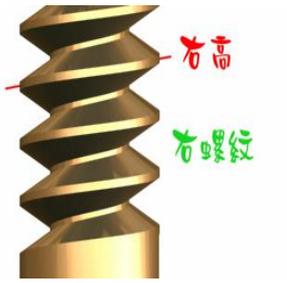
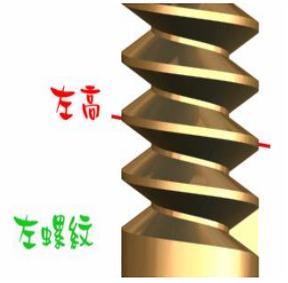


轉動區間 45~90 度聲音變化

3-3：扭轉鬆緊(單向與來回)和鳥笛聲音的變化？

一、研究想法：

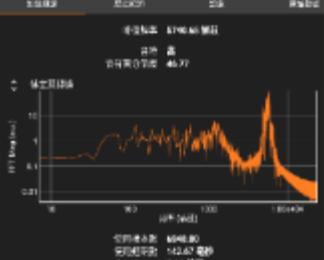
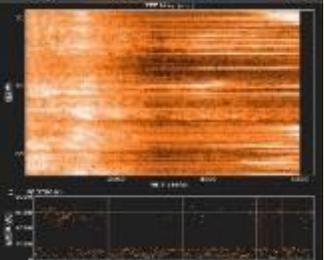
經過實驗 3-2 結果顯示轉動角度影響音頻變化，當來回轉動時，受到螺絲紋路的影響而有鬆緊的情況似乎也影響音頻變動，依螺紋繞軸之方向可分為：(國內螺絲以右螺紋為主)

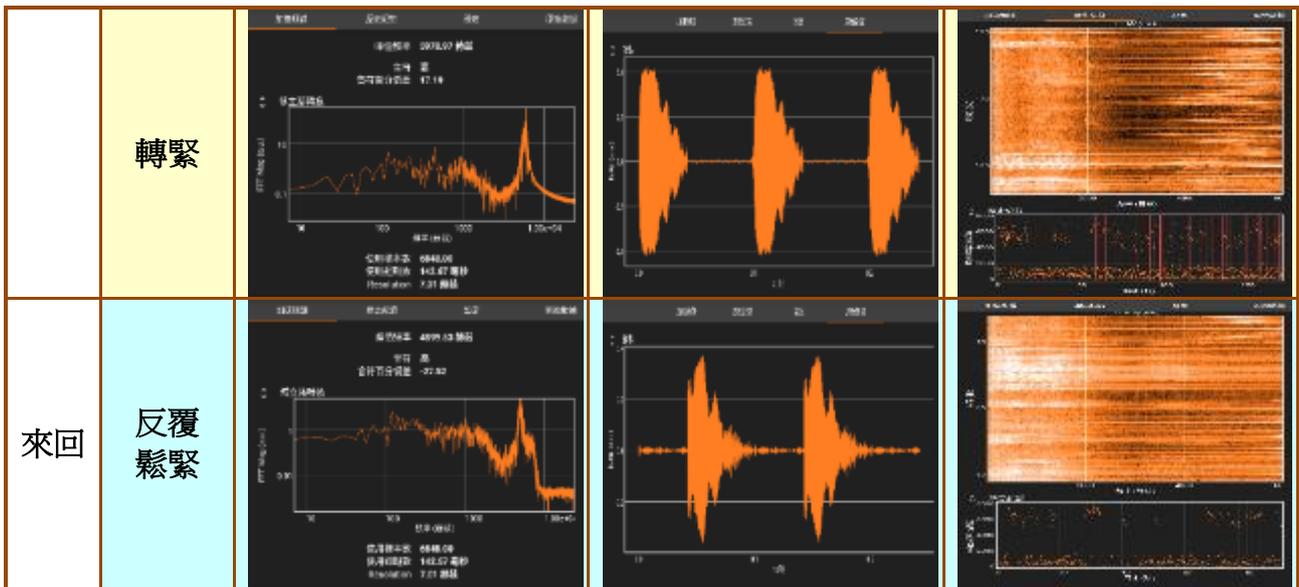
<p>1.右螺紋：判斷右螺紋之方法可用右手定則：依順時針旋轉會向前行進之螺紋。</p>		<p>2.左螺紋：判斷左螺紋之方法可用左手定則：依逆時針旋轉會向前行進之螺紋。</p>	
---	---	---	---

二、研究過程：

1. 轉動改變磨鳥笛螺絲鬆緊度，記錄音頻圖形變化。
2. 設定改變方式為轉鬆(單向)、轉緊(單向)、鬆緊反覆(來回)，記錄音頻變化。
3. 以來回轉動方式，配合 3-1 研究結果，分成一般用力、大力、小力轉動，記錄音頻變化。

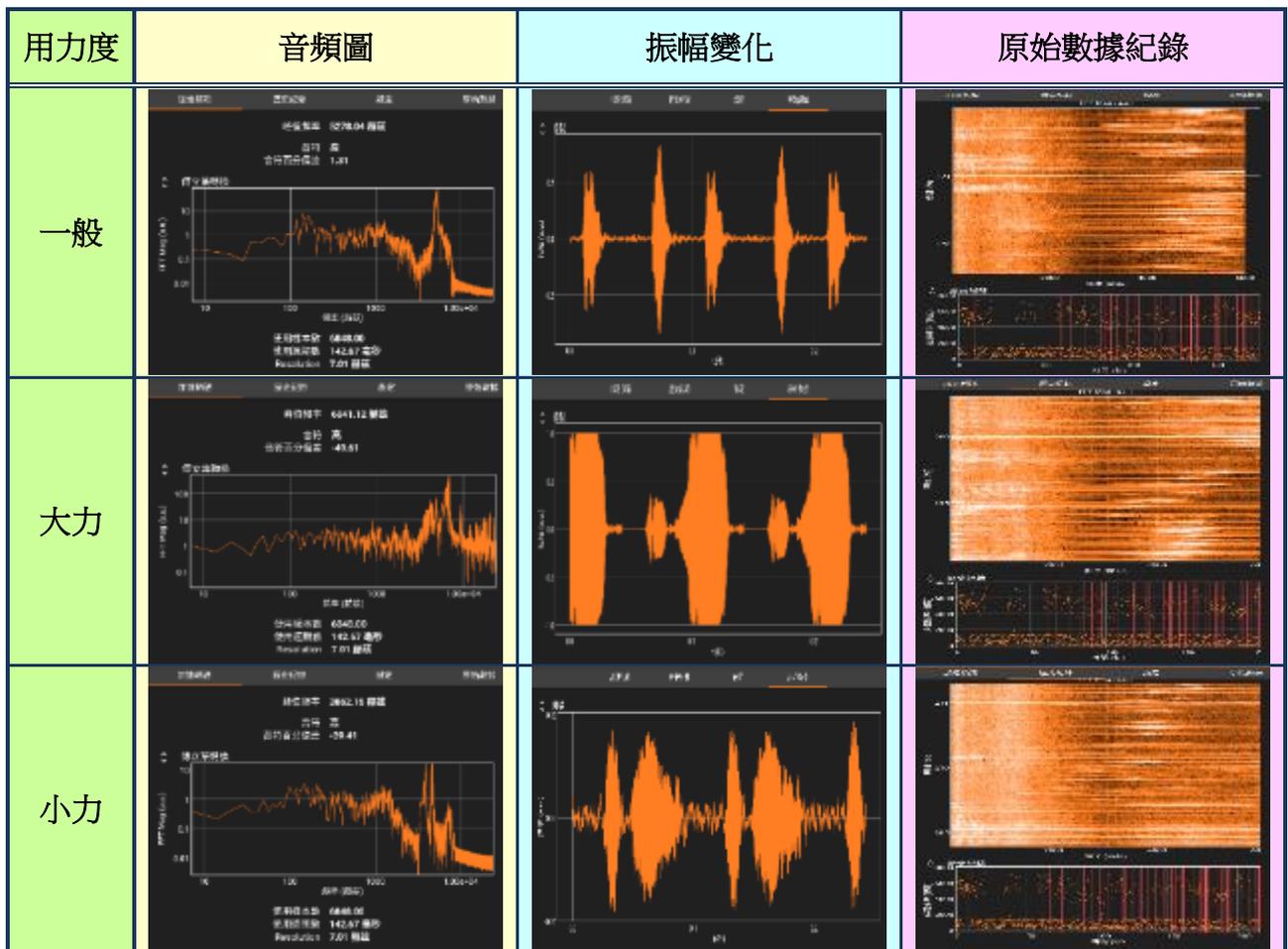
三、研究結果：1. 固定直徑(2.5cm)改變螺絲扭轉鬆緊度鳥笛音頻變化(表八)

方向	鬆緊度	音頻圖	振幅變化	原始數據紀錄
單向	轉鬆			



- (1) 轉鬆聲音振幅變化較小，音頻較多。
- (2) 轉緊聲音振幅變化增加，音頻偏高類似摩擦的尖銳音。
- (3) 來回鬆緊反覆轉動時，聲音振幅變化呈現不同的融合，音頻變化區間集中較悅耳。

2. 不同扭力來回轉動音頻變化(表九)



- (1) 用力大小會影響音頻高低的變化，扭力越大發出音頻會升高，上圖大力轉振幅可證明。

- (2) 若要呈現不同的鳥叫聲，可以透過力量忽大忽小的改變，讓鳥笛聲音更貼切實際鳥鳴。
- (3) 實驗證明改變扭力大小與螺絲轉動鬆緊變化，讓音頻與振幅變動多樣，頻率變化更大。

3-4：摩擦力改變對聲音的變化？

一、研究想法：

問題解決：在實驗過程中我們遇到了問題，我們都知道是因為摩擦力造成鳥笛聲音的變化；那如果改變摩擦力是否可以令鳥笛聲音的豐富度更增加，這樣的變化是增加摩擦力好；還是減少摩擦力好；或者有另外的方法改變聲音。

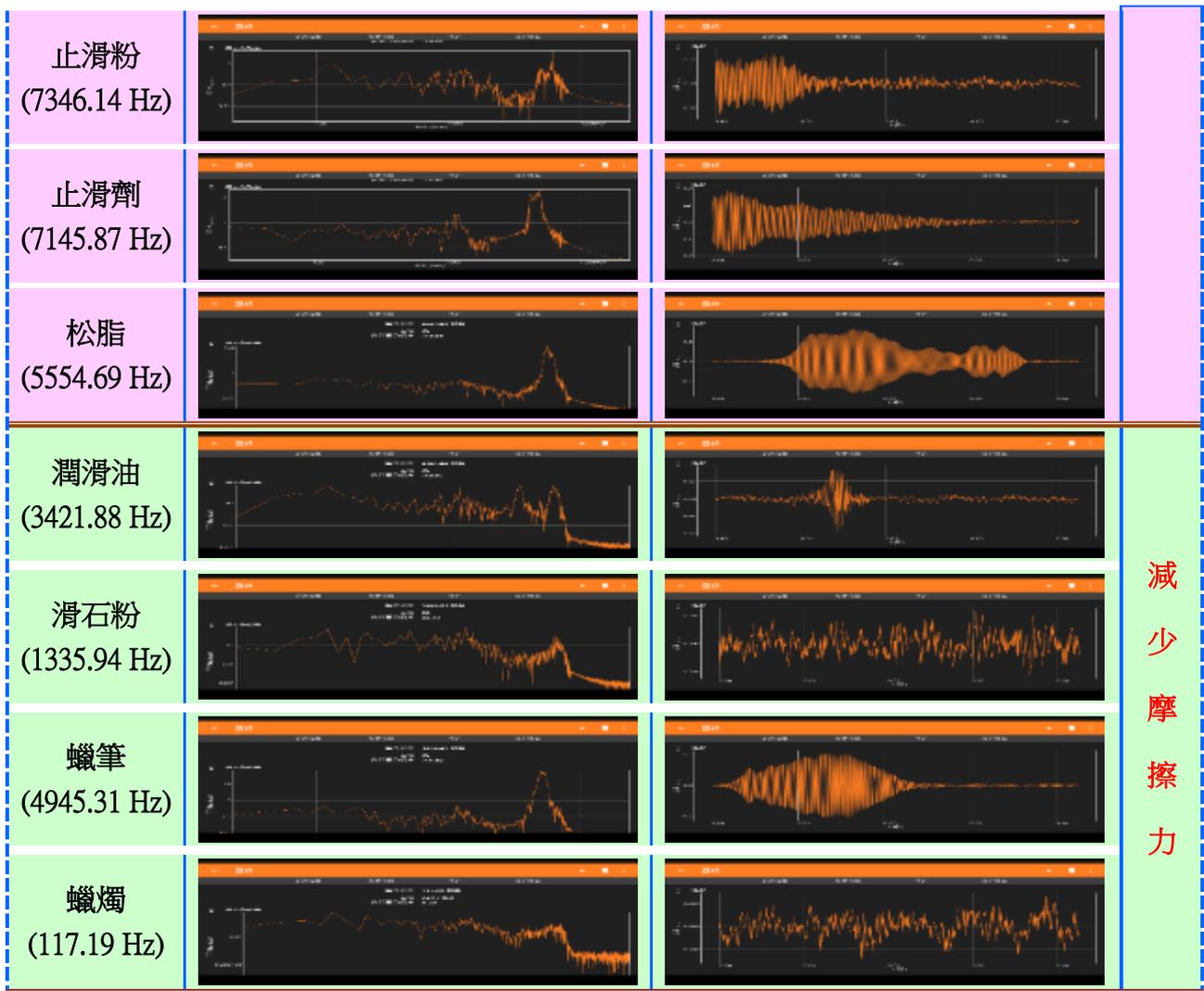
二、研究過程：

我們已經找出來回轉動與控制扭力的大小是讓鳥笛聲音變化的重要因素，聲音的基本條件在於振動體，也就是木材本身的硬度與密度，如果能改變再另外摩擦力，是否可以讓磨鳥笛更加貼近真實的鳥叫聲。

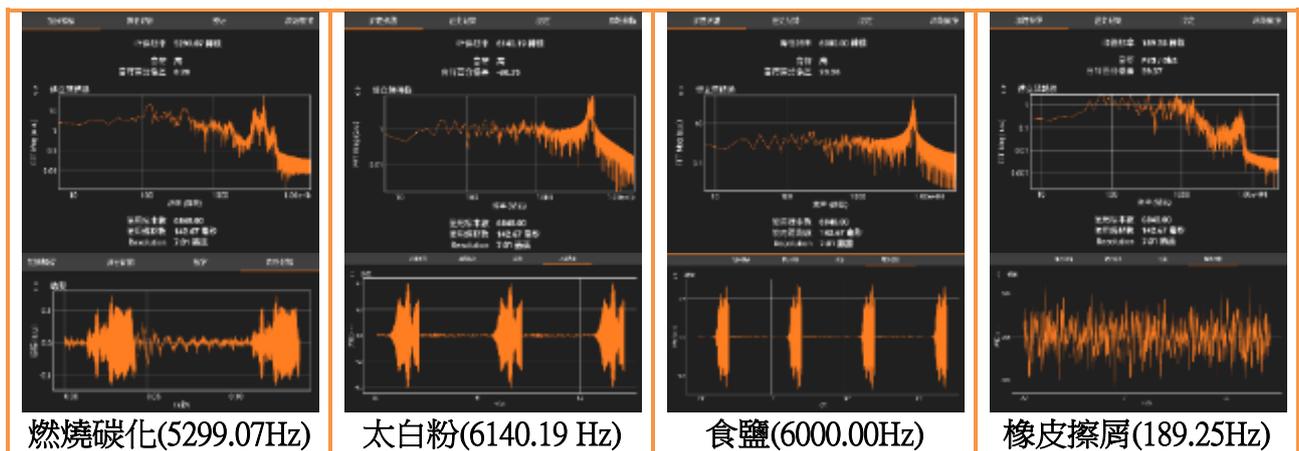
三、研究結果：

1. 改變摩擦力--磨鳥笛音頻(峰值頻率)變化(桑樹 / M5 螺絲)(表十)

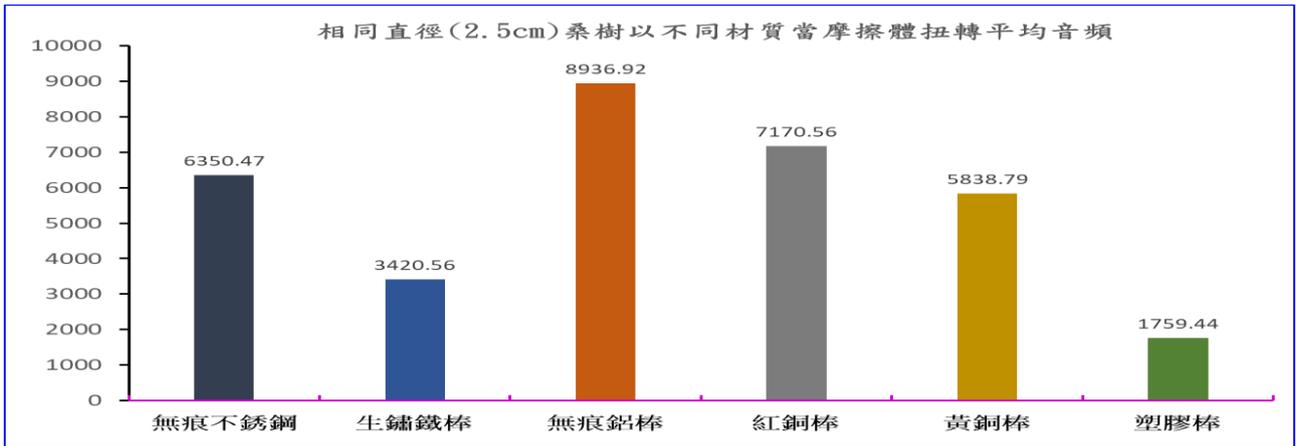
	傅立葉轉換音頻圖	振幅變化	
原始音頻圖 (5367.19 Hz)			增加 摩 擦 力
細沙 (5929.69 Hz)			
木屑粉 (6787.12 Hz)			
石灰粉 (5141.33 Hz)			



2. 特殊處理--磨鳥笛音頻振幅變化(圖八)



3. 增加摩擦力以木屑粉與松脂(香)效果最佳；減少摩擦力以蠟筆還有效果；燃燒碳化效果也很特別，推測燒焦表面生成碳粒會增加摩擦力，橡皮擦則會造成無法摩擦而沒聲音。
4. 音頻圖的振幅變化明顯的看出是否能夠發出鳥叫聲(泛音波形)或者是摩擦音(雜訊波形)。
5. 利用不同金屬棒(無刻紋)當摩擦體，實驗測試摩擦物改變是否影響到音頻變化(圖九)



※結果顯示鋁棒磨擦音頻會增加提高，生鏽鐵棒會降低音頻，改變摩擦體材質音頻也改變。

目的四：對照實際鳥類鳴叫製作出擬真度高且音頻多變的磨鳥笛

4-1：市面上常見鳥笛聲音分析比較

一、研究想法：

市面上有許多關於鳥笛的資料可以參考或收集，整理後可分為四大類：單音鳥笛、吸管鳥笛、伸縮鳥笛、水鳥笛，再加上本校先前於第六十屆全國科展製作的膜鳥笛，於是我們將六種類的鳥笛音頻紀錄，並且和磨鳥笛進行分析比較。

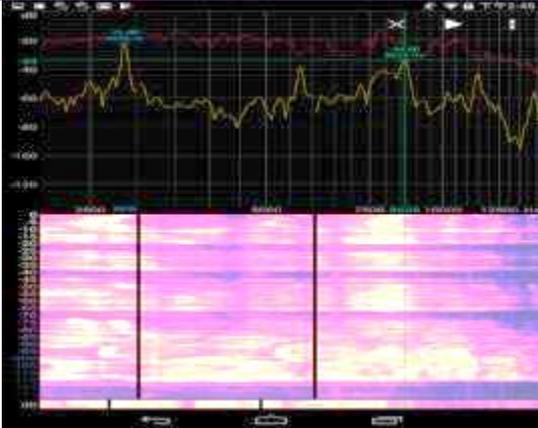
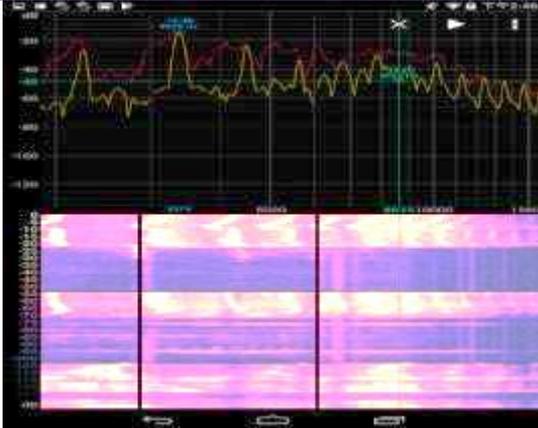
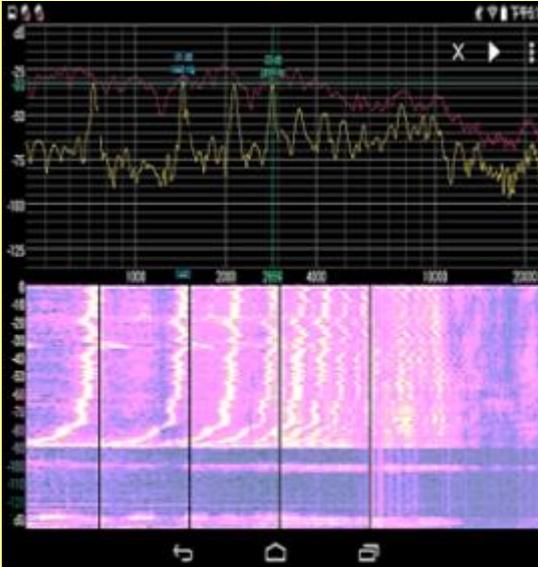
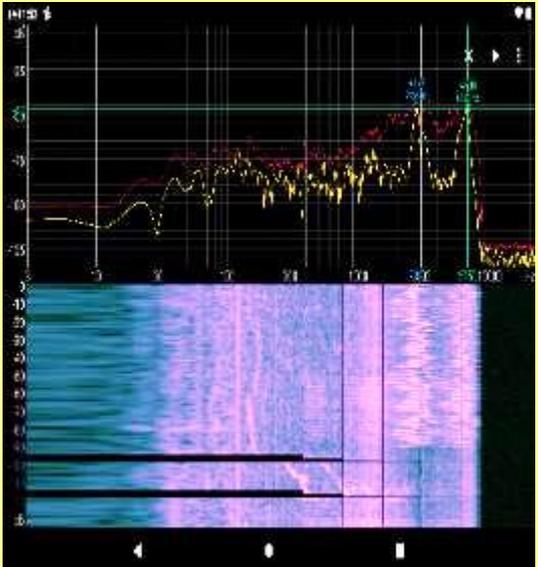
二、研究過程：

將六大類鳥笛分別吹奏後記錄音頻的傅立葉圖形變化，根據音頻圖形分析比較。

三、研究結果：

1. 六大類(含同校研究)鳥笛音頻圖形比較對照圖(表十一)

鳥笛類型	單音鳥笛	吸管鳥笛
音頻圖形		

鳥笛類型	伸縮鳥笛	水鳥笛
音頻圖形		
鳥笛類型	膜鳥笛(全國科展第 60 屆)	自製磨鳥笛
音頻圖形		

2. 發聲特性研究發現(本研究亮點之一)：

- (1) 單音鳥笛類似哨子，利用空氣吹入後發聲，音頻較為單調。
- (2) 吸管鳥笛聲音偏低；也是利用空氣吹入發聲，類似單音鳥笛，都只能發出固定音頻。
- (3) 伸縮鳥笛可以利用拉桿改變空氣柱量，造成音頻高低變化；但是音色受限空氣柱大小。
- (4) 水鳥笛則是利用笛管中的水波產生振動時改變空氣使音頻變動，聲音較豐富多變。
- (5) 膜鳥笛具有水鳥笛聲音多變與伸縮鳥笛能改變高低音的雙特性，發聲原理也是利用空氣流動發聲，特別處在於口內的半圓形紙片上的振動膜造成多變的音頻。
- (6) 比對實驗結果：本實驗磨鳥笛利用磨擦改變音頻，與上述吹奏類鳥笛發聲原理不同，較類似的產品則是市面上販售的木蛙，利用刮棒來回刮蛙背上的波浪突起處發出蛙叫聲。

4-2：分析對照常見鳥類或動物聲音頻率圖形

一、研究想法：

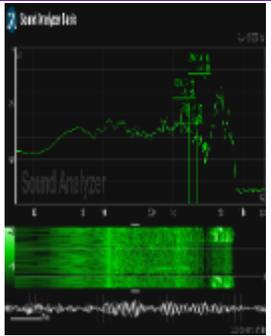
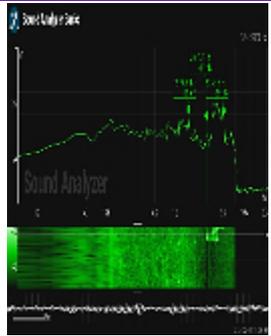
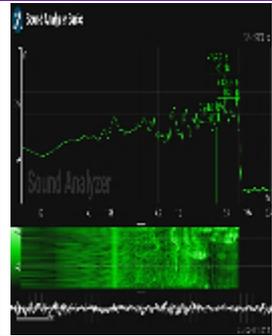
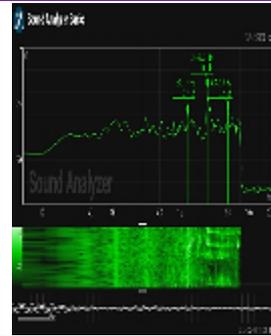
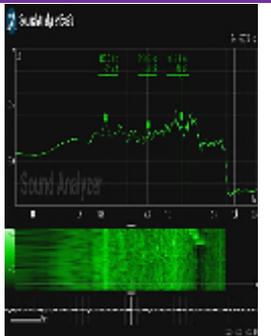
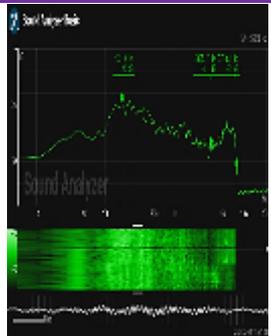
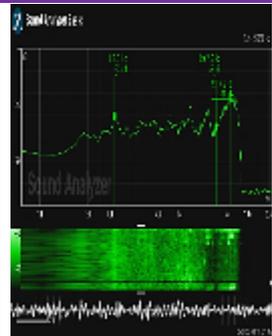
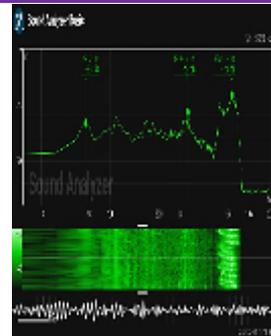
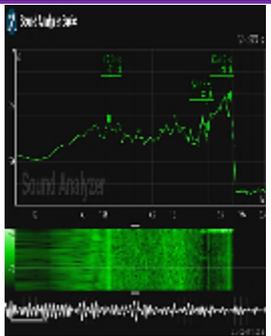
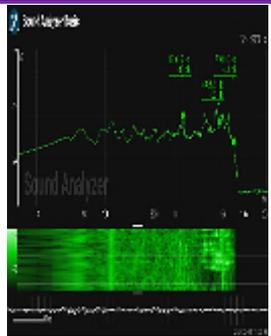
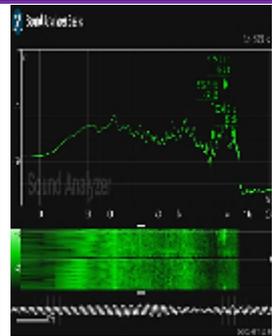
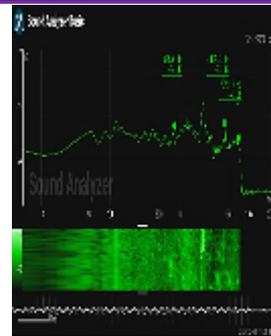
既然研究找出製作磨鳥笛的最佳配置條件，振動體材質也從實驗中找出最適合的木材，接下來就可以進行實際比對，將自製的磨鳥笛與真實鳥叫音頻進行比對確認相似度。

二、研究過程：

我們找到相似的鳥叫聲利用 APP 軟體製作出音頻圖，並記錄與製成音頻圖形比對。

三、研究結果：

台灣常見各種鳥類叫聲音頻圖形(圖十)

音頻圖				
鳥類名稱	粉紅鸚嘴(第 1 像)	台灣小鶯(第 2 像)	黑領掠鳥(第 3 像)	八哥(第 4 像)
音頻圖				
鳥類名稱	白頭翁	黃尾鶇	灰頭鶇鶯	綠繡眼
音頻圖				
鳥類名稱	白鶇鶯	棕背伯勞	棕面鶯	山紅頭

音頻圖				
發聲名稱	斯文豪氏赤蛙	老鼠叫聲	球鞋摩擦	刮黑板

- (1) 在台灣平地或山區常聽見的鳥叫聲，比對後磨鳥笛音頻最相似前四種鳥類聲音。
- (2) 鳥類的鳴聲，包括鳴唱及召喚、示威、警戒、乞食、模仿等不同類型鳴叫聲，磨鳥笛能夠發出的音頻以鳴唱、召喚和模仿叫聲接近。也類似斯文豪氏赤蛙與老鼠叫聲。
- (3) 以摩擦當作發聲原理和吹奏類的鳥笛不同，聲音以鳥類高頻叫聲較為類似。
- (4) 在戶外嘗試發現雖然音頻較高，鳥笛發音後還是會得到鳥類鳴叫聲的呼應頗有趣味。

4-3：製作最佳的磨鳥笛

一、研究想法與過程：

透過目的三和四的探討，實驗找出製作磨鳥笛最適合的木料材質，能夠產生不同聲音變化的最佳振動體螺絲規格，具有中、高兩種不同音域的變化，牙距紋路對聲音的影響，於是我們想大量的製作磨鳥笛，可讓更多人了解磨鳥笛的奧秘及趣味性。

二、研究結果：

1. **方便性**：磨鳥笛體積小，不占空間，容易大量製作與攜帶，也可做成配件或吊飾。
2. **安全性**：陶瓷製水鳥笛容易打破，伸縮鳥笛突起處會有戳傷危險，吹奏後如果沒乾燥內部會發霉發臭，磨鳥笛則無此問題。
3. **環保性**：利用廢棄木材、吊環，回收鞋帶或手擰螺絲就可以製作，可回收利用性高。
4. **低成本性**：與市售產品比較(從購物網比較單價)

鳥笛名稱	單音鳥笛	伸縮鳥笛	水鳥笛	自製膜鳥笛
價格(1個)	40元	30元	35元	約2~10元

5. **重複性**：磨鳥笛可重複發聲，使用後只要保持乾燥下次就可以再度磨擦發聲。

6. **教育性**：可推廣於實際教學或者手作體驗課，理解聲音的原理兼娛樂性。
7. **特殊發現**：磨鳥笛除了發出鳥鳴叫聲外，也能產生老鼠叫聲和斯文豪氏赤蛙的叫聲。

8. 自製磨鳥笛的 SWOT 分析表

Strengths 優勢

- ◆ 聲音多變、體積小、好攜帶
- ◆ 製作方便、材質取得容易
- ◆ 材質環保、重複性高、成本低
- ◆ 具教育性與娛樂性、耐玩度高

Weakness 劣勢

- ◆ 需要消耗木材或木料
- ◆ 重複摩擦耐用頻度需再提升
- ◆ 容易仿製被大量製造
- ◆ 防水性不佳、怕潮濕受潮

Opportunities 機會

- ◆ 鳥笛是世界共通童玩商品
- ◆ 取代一般伸縮鳥笛、水鳥笛
- ◆ 創新型態的鳥笛模式
- ◆ 減少木材的消耗回收再利用

Threats 威脅

- ◆ 市售鳥笛產品已量產
- ◆ 需要時間推廣與改變既定印象
- ◆ 塑膠鳥笛製品低價促銷
- ◆ 會被當成玩具、失去焦點

9. 相關發聲研究(利用摩擦)差異比較(表十二)：

摩擦相關發聲研究參考資料		本研究發現
龍洗盆	魚洗，又稱龍洗；物理學施力於器皿共振造成共鳴原理，於中國古代發明的特殊銅製水盆；以雙手摩擦盛水魚洗週邊製造聲效。	1.同樣是以磨擦發聲，發生關鍵在於木材硬度、螺絲紋路、扭力大小與摩擦面積。 2.增加木材直徑，並不會造成音頻變化差異太大，主要還是受到深度與摩擦面積影響。 3.透過改變摩擦深度與扭力大小變化，會因為摩擦力改變造成類似鳥鳴叫的高低音。 4.研究呈現發聲原理符合粘滑現象的定義。
竹蟬老祖宗(第 42 屆全國中小學科展)	1.竹蟬的筒長對聲音的響度有影響，但最大影響是竹蟬發出的聲音高低。 2.竹蟬和胡琴的發聲方式與發音特性相同。	
酒杯發出之音符(臺灣國際科展)	1.手指摩擦酒杯邊緣產生聲音與敲鐘所得的聲音之原理相同，都是面的振動產生駐波的結果。 2.液體高度愈高或液體密度愈大，杯所發出之頻率愈低。 3.輕敲酒杯壁產生之聲音頻率與摩擦酒杯邊緣產生之聲音頻率相同，因都引起杯壁的橫向振動。	
「木」響 「蛙」鳴-刮出自然樂章(第 61 屆全國中小學科展)	主要頻率(基音)變低的條件： 1.相同材質：蛙身愈大。 2.相同材質及共振腔大小：蛙身厚度愈厚。 3.不同材質但相同蛙身大小：蛙身愈重。 4.相同材質及蛙身大小：蛙口高度愈大、蛙口深度愈深、蛙口開口位置愈接近底部或頂部。	

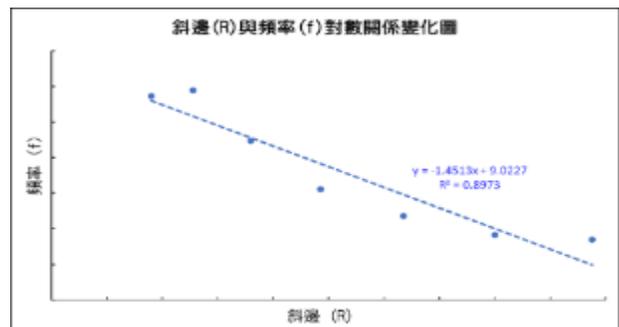
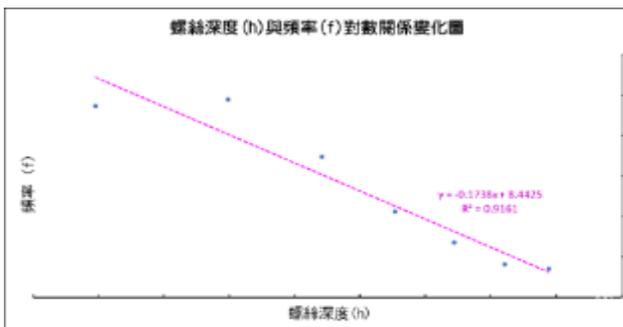
柒、討 論

研究目的	原因 探 討
<p>目的一： 瞭解磨 鳥笛聲 音產生 的要素？</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 木材依照功能與硬度分為硬木材、軟木材、一般木材三種。 2. 不同硬度所造成的木材摩擦力大小不同，木質密地也影響發聲特性。 3. 螺絲以公制規格依照直徑區分，螺絲紋路會以牙距分為粗牙和細牙。 4. 各種大小螺絲牙距都不同，有一定的制式規格。 5. 透過轉動螺絲因為牙距而有不同的鬆緊度變化，造成與木材的摩擦力變化而發出高低不同的音頻變動。
<p>目的二： 研究不 同木頭 材質與 螺絲種 類變化 的發聲 關聯性？</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 木材含水量要達到一定的乾燥度，需低於 15%以下才能發出聲音。 2. 硬度高的木材摩擦發出的音頻越高。 3. 剛鋸下的木材因為含水量高不適合製作鳥笛也無法發聲。 4. 從音頻圖可以看到不同木材特性與發聲時所產生音頻的特性都不同。 5. 木紋方向與鑽孔位置、角度都會影響鳥笛發聲特性，以直鑽 90 度最佳。 6. 螺絲直徑 M5、M6 音頻變化最多，越小則音頻偏高，變化較小。 7. 螺絲直徑越大摩擦所發出的音量越大，兩者關係成正比。 8. 螺紋間距(牙距)影響摩擦面積多寡，造成高低音頻變化，以細紋 M6 與 M8 規格音頻圖顯示聲音變化最清晰。
<p>目的三： 探討磨 鳥笛摩 擦變化 與音頻 高低轉換 的關係？</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以不同硬度木材測試最低扭力的結果，硬度越高扭力就越大，反之硬度越小扭力就越小，單位為 N.m(牛頓.米)。 2. 扭力越大發出音量也越高，此特性與木材硬度有關聯。 3. 只要木材夠乾燥含水量低於 15%，都能發出高於 80 分貝以上的音量。 4. 木材含水量越低，會提高轉動摩擦力，發出音頻越高，兩者變化成正比。 5. 扭轉角度小於 45 度無法發聲(摩擦力不足)，超過 90 度音頻和音量不變。 6. 螺紋方向影響螺絲轉動的鬆緊度，反覆來回轉動發出音頻變化最佳。 7. 可以依照木材特性適當增加摩擦力，以木屑粉、松脂、止滑粉效果最好。 8. 燃燒碳化方式處理，意外地可以造成不同摩擦力改變音頻與音量變化。
<p>目的四：</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 磨鳥笛因為是透過摩擦力大小與摩擦角度，加上螺紋方向改變鬆緊產生音頻變化，與市面上販售利用吹奏改變空氣量發聲原理不同。

對照實際
鳥類鳴叫
製作出擬
真度高且
音頻多變
的磨鳥笛？

2. 利用摩擦力變化讓聲音有如鳥鳴聲，為磨鳥笛發聲特性。
3. 不同於一般吹奏類的鳥笛，磨鳥笛更容易發聲，透過力量改變、摩擦方向與摩擦部位不同，讓鳥笛發聲變化更為豐富。
4. 透過與實際鳥叫聲的音頻圖比對，磨鳥笛聲音較接近鳥類在高聲鳴叫的音頻，相似的鳥種有粉紅鸚嘴、台灣小鶯、黑領棕鳥等，會發出較高音頻較聲的鳥類相似。
5. 磨鳥笛可以導入聲音教學單元，讓同學自己選取材料，利用所學的發聲原理與研究結果，做出屬於自己獨一無二兼具教育與娛樂的意義。
6. 與相關摩擦發聲的研究發現，磨鳥笛發聲可用粘滑現象（stick-slip phenomenon）解釋，和指甲抓黑板、拉小提琴其實應用的是同一個原理。

捌、結 論



應用回收環保觀點與實際課程結合，希望能夠利用手邊的物品自製磨鳥笛，以實驗將看不見摸不著的聲音；轉化成多變的鳥叫聲，提升學生對於聲音的理解與應用興趣：

1. 磨鳥笛的發音構造—木材、手擰螺絲、摩擦力三者互相影響，結構體材質為音色關鍵。
2. 由一般對數線性分析，螺絲深度(h) \propto 音頻(f)呈現負相關，斜邊(R) \propto 音頻(f)也呈現負相關。
3. 不同硬度木材轉入螺絲深度(h) \propto 音頻(f)呈現正相關，硬度越高轉入越深音頻也越高。
4. 木材含水量低於 15%，以平均直徑 2.5~3.0cm 製作為最佳，圓柱形則方便握取。
5. 發聲結構體材質以一般木材或軟木材聲音最具有變化性，呈現較不刺耳的樂音。
6. 摩擦體(螺絲)最適當轉動發聲的深度為原長度 1/3~1/4，轉動時音頻變化最多樣。
7. 牙距會造成不同音頻變化，以細牙發聲效果最好，因為摩擦面積最多、最大。
8. 木材橫切從年輪面 90 度垂直鑽孔、摩擦深度 0.3~0.5cm 的磨鳥笛發聲音量與音頻都最佳。
9. 螺絲直徑越大摩擦所發出的音量越大，兩者關係成正比，以 M5、M6(d=5、6mm)最合適。

- 10.木材硬度影響轉動扭力大小，兩者呈現正相關，最低扭力值 0.2 N.m 就能轉動發聲。
- 11.扭轉的角度以來回 45~90 度間發聲最清晰，藉由螺絲鬆緊度的變化改變摩擦力發聲。
- 12.增加摩擦力可以讓烏笛聲音豐富度變化增大，以木屑粉、松脂、燃燒碳化成效最佳。
- 13.磨烏笛透過摩擦力改變音頻變化(粘滑現象)，與吹奏改變空氣量發聲原理的烏笛不同。
- 14.烏笛製作成本低，可用於教學，與高音頻鳥鳴叫聲類似，例如：粉紅鸚嘴、台灣小鶯。

玖、參考資料

1. 國小自然與生活科技五下單元四聲音與樂器 (2020)。新北市：康軒文教。4 版。
2. 李祐君、呂立中、馬漢威、張晏溶、林育萱、方翊安。(2002)。竹蟬是胡琴的老祖宗—探究弦樂器的構造、發聲方式及製作簡易絃樂器。中華民國第42屆中小學科學展覽會作品。
3. 陳冠文、王智楷。(2004)。酒杯發出之音符。臺灣國際科展。
4. 何嫚容、彭少鈞、陳瓊專、陳宜均、洪韻筑、陳儀恕。(2009)。薄膜振動吸管笛的研究。中華民國第 49 屆中小學科學展覽會作品。
5. 張維純、余鈺庭、李宗澄、許哲璋、翁英僑、廖方齊。(2011)。握在掌心的音樂—手笛。中華民國第 51 屆中小學科學展覽會作品。
6. 陳羿安、王皓穎、吳昀曄、吳翎甄、詹詠婕、劉宇珍。(2013)。葉葉生歌。中華民國第 53 屆中小學科學展覽會作品。
7. 高珮毓、蔡宜真、蔡昀修、林昱安、陳于謙、高國維。(2016)。鳥鳴鶯啼-探討烏笛的製作與推廣。中華民國第 56 屆中小學科學展覽會作品。
8. 蘇宥澄、傅予葳、傅沛容、李昕潔、魏雯娟。(2020)。吹音裊裊～「膜」烏笛。中華民國第 60 屆中小學科學展覽會作品。
9. 王禹晴、呂安婕、段唯涵、李佳臻。(2021)。「木」響「蛙」鳴-刮出自然樂章。中華民國第 61 屆中小學科學展覽會作品。
10. 烏笛製作教學 (2022 年 12 月)。https://www.youtube.com/watch?v=3k6d3PEaSZg&t=7s

【評語】 080103

實驗設計相當用心，認真嘗試並改進不同實驗設計，實驗數據取樣與觀測仔細，變因設想面廣，能夠運用數位工具進行觀測與分析。

實驗數據分析建議在進行數據擬合的時候先行理解擬合是為了進行物理理論的詮釋或者是為了進行預測。

作品海報



噪音 變 樂音 ～

磨鳥笛

摘要

摩擦音一向是令人不悅的噪音，經由實驗自製出聲音多變的磨鳥笛；發聲原理不同於販售的數種鳥笛，從磨鳥笛組成要件~木頭材質、螺絲粗細、紋路、扭力大小、比對鳥叫聲探究；1. 磨鳥笛要能夠發聲須注意**木材硬度、螺絲紋路、螺絲直徑、摩擦角度**等特性。2. 發聲結構體(木材) **硬度在 600~1800 最合適**，例如：榿木、雲杉、松木、桑樹。3. 螺絲直徑 5~6mm，細牙，牙距 0.5~0.75cm，**深度 0.3~0.5cm 最適合**當作摩擦體。4. 木材**含水量多寡影響聲音有無、高低音及泛音的變化**，與螺絲轉動摩擦力大小有關。5. 改變**扭力大小與角度**，造成螺絲鬆緊度改變產生不同音頻和音量的轉換。6. 增加**摩擦力**可讓磨鳥笛聲音擬真度提高，**扭力與振幅成正比**。7. **螺絲深度 (h) ∝ 音頻 (f)**，**木材半徑 (r) ∝ 音頻 (f)** 結果顯示為**負相關**。

壹、研究動機

鳥笛是最常被拿來當作模擬鳥叫聲的樂器，我們認為還有探究的空間，其中摩擦所產生的尖銳音，向來是令人感報不舒服的噪音之一；卻可經過巧手改造變成奇妙的鳥笛，在所學到聲音單元中學習簡易鳥笛的製作；並不能滿足我們的好奇心，總覺得擬真度不足夠且十分陽春簡陋；於是我們利用手邊容易取得的廢棄木材和各種螺絲當作鳥笛主體，要製作出利用摩擦力容易發聲，且聲音多變及相似度高的磨鳥笛。

貳、研究目的

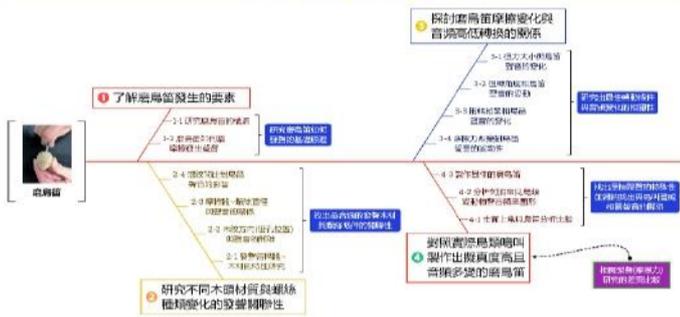
想研究如何製作出音頻豐富的磨鳥笛，所以列了下列四個研究目的與相關的問題進行探究：

- 目的一：瞭解磨鳥笛聲音產生的要素。
- 目的二：研究不同木頭材質與螺絲種類變化的發聲關聯性。
- 目的三：探討磨鳥笛摩擦變化與音頻高低轉換的關係。
- 目的四：對照實際鳥類鳴叫製作出擬真度高且音頻多變的磨鳥笛。

參、研究設備與器材

公制各類螺絲	各式木工鑽頭	簡易切割台	廢棄木材
工作手套	實驗烘箱	木工手鋸	含水量檢測器
平板電腦	游標卡尺	電鑽	棉布手套
鑽孔固定器	分貝計	扭力起子	護目鏡

肆、研究流程



伍、研究結果與討論

目的一：1-1 研究磨鳥笛的構造？

研究結果：(1) 材料分析：木材硬度最常用測試為詹氏硬度 (Janka Ball Hardness Test)，分為硬木材、軟木材、一般木材。



(2) 發聲用螺絲大小與牙距規格說明：

螺絲名稱	洋眼螺絲	魚眼螺絲	手擰螺絲	膠頭螺絲	吊環
螺絲規格與紋路					
螺絲照片					

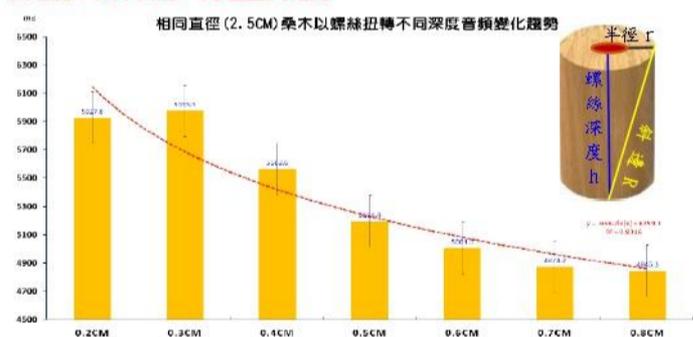
1-2 磨鳥笛如何靠摩擦發出聲音？ 研究結果：螺絲與木材摩擦發聲



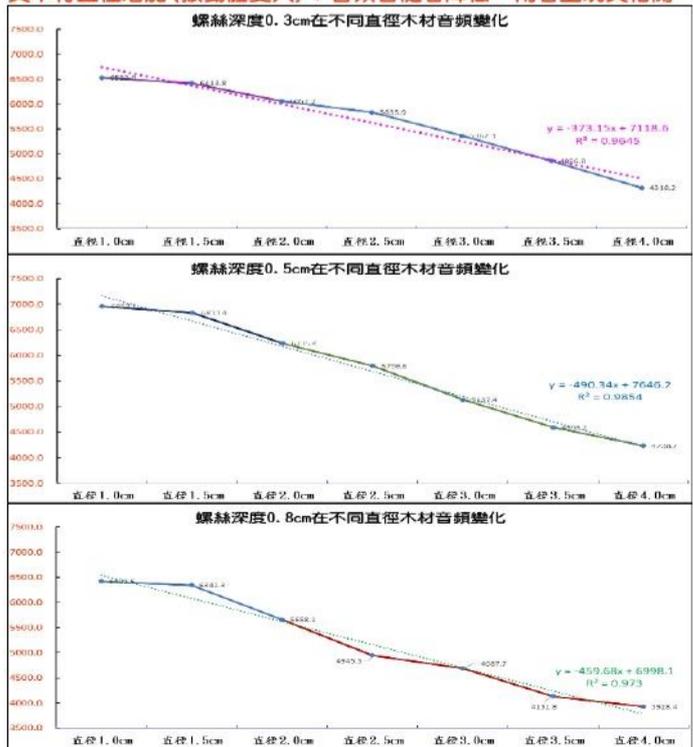
★利用來回扭轉螺絲，會產生不同的鬆緊度，造成多種的高低音變化。

1-3 螺絲鑽入深度與木材直徑大小產生的聲音變化？

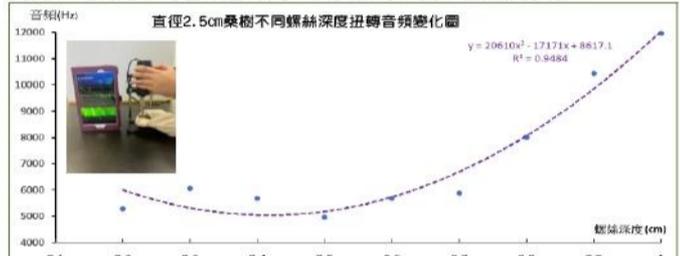
研究結果：(1) 隨螺絲扭入深度不同判斷出：螺絲深度 (h) ∝ 音頻 (f)，深度增加；頻率降低，兩者呈負相關。



(2) 固定螺絲深度改變木材直徑判斷出：木材直徑 (d) ∝ 音頻 (f)，當相同材質木材直徑增加(振動體變大)；音頻會隨著降低，兩者呈現負相關。

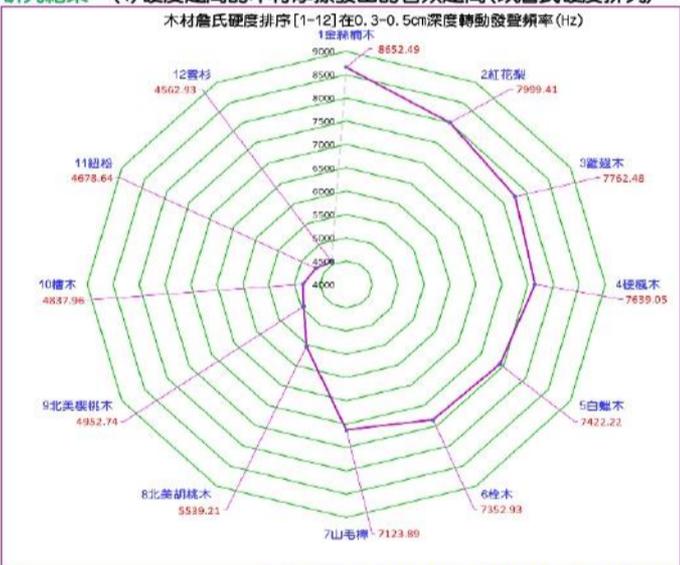


(3) 以電動螺絲起子固定轉動扭力 (2N.m)，持續鑽入測量結果音頻會先降再升，越轉越緊時音頻會升高，然後就轉不動鎖住無法摩擦。



目的二：2-1 發聲結構體~木材特性的研究？

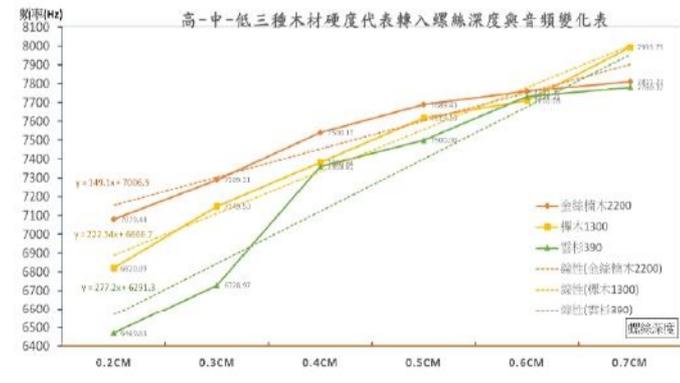
研究結果：(1) 硬度越高的木材摩擦發出的音頻越高(以詹氏硬度排列)。



(2) 從音頻圖與振幅變化可以看出不同木材特性與發聲時所產生音頻的特性都不大同，可清楚分辨出材硬度直接影響音頻與音量。

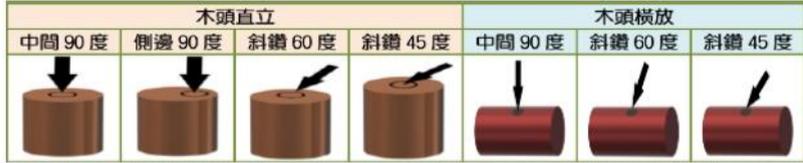
木材名稱	音頻圖	聲音振幅變化 (時間單位 0.1 秒)
肖楠(硬木) (6670.60Hz)		
雲杉(軟木) (4936.66Hz)		
扁柏(軟木) (4479.40Hz)		
松木(軟木) (6000.00Hz)		
構樹(原木) (6119.16Hz)		
桑樹(原木) (5789.72Hz)		

(3) 取已知最高-中間-最低三種不同硬度木材，不同深度扭轉螺絲與音頻呈正相關

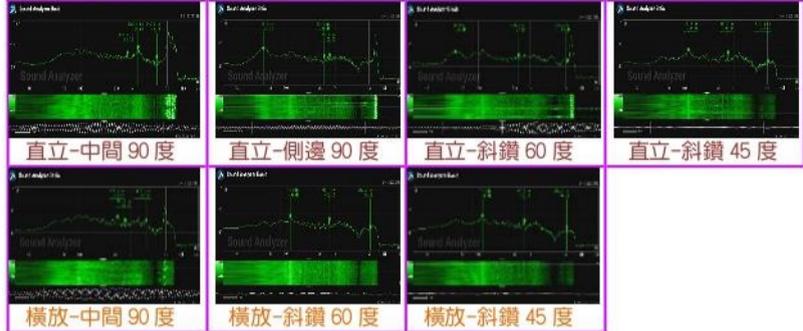


2-2 木紋方向(鑽孔位置)與聲音的關聯?

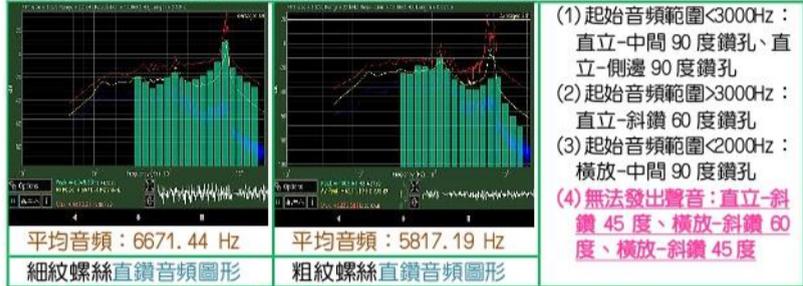
不同鑽孔角度說明



研究結果：(1) 音頻圖顯示直立-中間 90 度發聲效果最佳，直立產生音頻優於橫放。



(2) 音頻變化分析說明：細紋螺絲比粗紋螺絲更容易發聲且省力

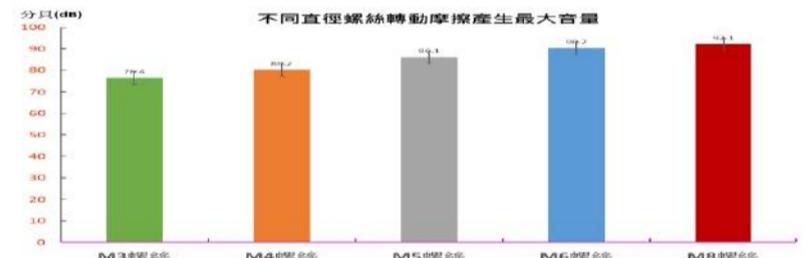


2-3 摩擦體~螺絲直徑與聲音的關係?

研究結果：(1) 螺絲直徑 M5、M6 音頻變化最多，直徑影響音頻變化不影響音量



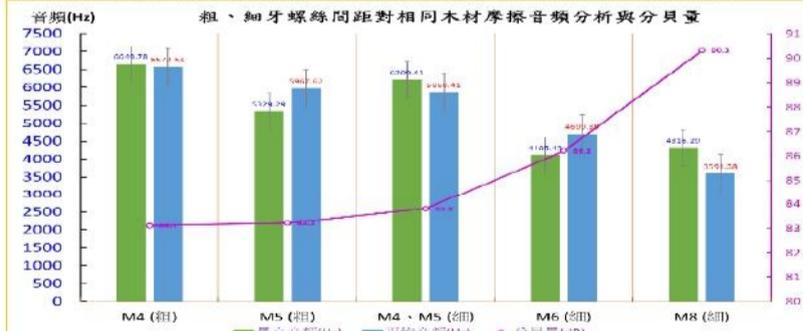
(2) 螺絲直徑越大摩擦產生音量就越大，直徑會影響扭力大小。



2-4 螺紋間距對鳥笛聲音的影響?

牙距有分成粗牙和細牙兩大類；以一英寸(25.4mm)的螺紋數量(牙數)，牙距 = 25.4 ÷ 牙數。

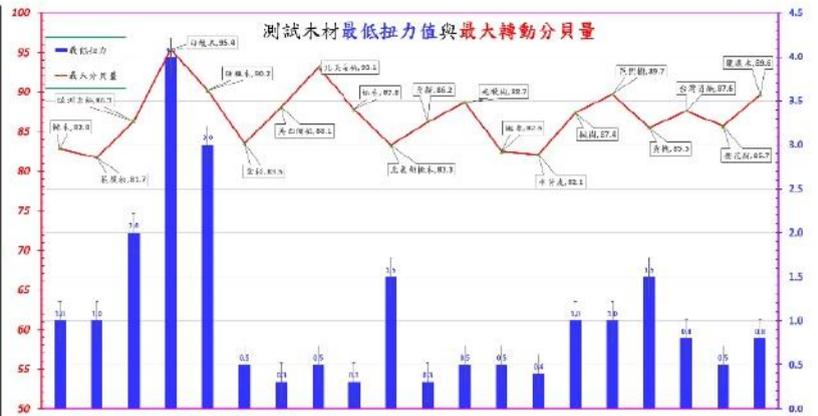
研究結果：音頻圖顯示不同螺紋間(牙)距影響音頻變化，而分貝量與間距無關。



目的三：3-1 扭力大小和鳥笛聲音的變化

研究結果：木材硬度與最低扭力呈正相關，並影響音量(M5 螺絲，扭力單位 N.m)

硬木材	樟木	花旗松	歐洲赤松	白蠟木	硬楓木
最低扭力值	1.0	1.0	2.0	4.00	3.0
最大分貝量	82.8	81.7	86.3	95.4	90.2
軟木材	雲杉	美西側柏	北美扁柏	松木	北美胡桃木
最低扭力值	0.4	0.2	0.4	0.2	1.5
最大分貝量	83.5	88.1	93.1	87.8	83.3
原木材	桑樹	光臘樹	楓香	水黃皮	楓樹
最低扭力值	0.2	0.5	0.4	0.3	1.0
最大分貝量	86.2	88.7	82.5	82.1	87.4
原木材	芭樂樹	黃槐	台灣肖楠	櫻花樹	龍眼木
最低扭力值	1.5	1.5	0.8	0.5	0.8
最大分貝量	89.7	85.5	87.6	85.7	89.6



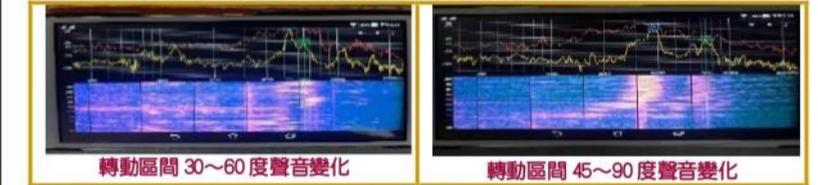
3-2 扭轉角度和鳥笛聲音的變化

研究結果：(1) 不同角度轉動發音結果，30~180 度扭轉可發聲。

轉動角度	30 度	45 度	60 度	90 度	180 度
照片顯示					
能否發音	否	可	可	可	可
音頻/分貝	無	E7 (65dB)	D#7 (79.8 dB)	F7 (90.5dB)	Eb7 (86.5 dB)

(2) 結果發現轉動角度 < 45 度時無法發出聲音，> 90 度音頻和音量不變。

(3) 轉動範圍在 45~90 度範圍內聲音變化最大(桃紅色塊顯示)。



3-3 扭轉鬆緊(單向與來回)和鳥笛聲音的變化?

研究結果：(1) 改變螺絲扭轉鬆緊造成鳥笛音頻多樣的變化，反覆鬆緊是關鍵。

方向	鬆緊度	音頻圖	振幅變化	原始數據紀錄
單向	轉鬆			
	轉緊			
來回	反覆鬆緊			

(2) 不同扭力來回轉動造成振幅變化明顯也是音量變化的關鍵。

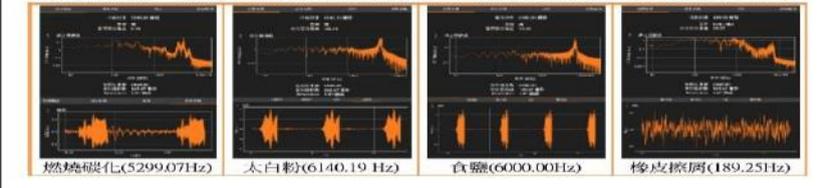
用力度	音頻圖	振幅變化	原始數據紀錄
一般			
大力			
小力			

3-4 摩擦力改變對聲音的變化?

研究結果：(1) 改變摩擦力一磨鳥笛音頻(峰值頻率)與振幅均改變，音頻增加。

原始音頻圖 (5367.19 Hz)	傅立葉轉換音頻圖	振幅變化
細沙 (5929.69 Hz)		
木屑粉 (6787.12 Hz)		
石灰粉 (5141.33 Hz)		
止滑粉 (7346.14 Hz)		
止滑劑 (7145.87 Hz)		
松脂 (5554.69 Hz)		
潤滑油 (3421.88 Hz)		
滑石粉 (1335.94 Hz)		
蠟筆 (4945.31 Hz)		
蠟燭 (117.19 Hz)		

(2) 特殊處理一磨鳥笛音頻振幅變化以碳化造成變化最明顯，音頻也隨之改變。



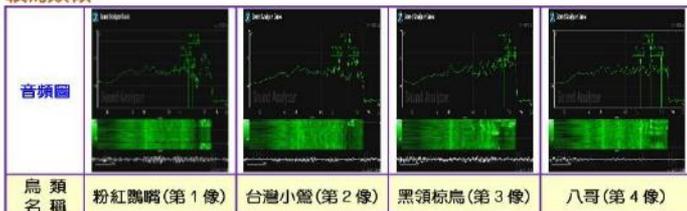
目的四：4-1 市面上常見鳥笛聲音分析比較？

六大類(含同校研究)鳥笛音頻圖形比較對照圖

鳥笛類型	單音鳥笛	吸管鳥笛
音頻圖形		
鳥笛類型	伸縮鳥笛	水鳥笛
音頻圖形		
鳥笛類型	膜鳥笛(全國科展第 60 屆)	自製磨鳥笛
音頻圖形		
(研究亮點) 發聲特性	<ol style="list-style-type: none"> 單音鳥笛類似哨子，伸縮鳥笛可以利用拉桿改變空氣柱量，吸管鳥笛都利用空氣吹入後發聲，音頻較為單調。 水鳥笛則是利用笛管中的水波產生振動時改變空氣使音頻變動，聲音較豐富多變。 膜鳥笛具有水鳥笛聲音多變與伸縮鳥笛能改變高低音的雙特性，發聲原理也是利用空氣流動發聲，特別處在於口內的半圓形紙片上的振動膜造成多變的音頻。 比對實驗結果：本實驗磨鳥笛利用摩擦改變音頻，與上述吹奏類鳥笛發聲原理不同，較類似的產品則是市面上販售的木蛙，利用刮棒來回刮蛙背上的波浪突起處發出蛙叫聲。 	

4-2 分析對照常見鳥類或動物聲音頻率圖形？

(1) 在台灣平地或山區常聽見的鳥叫聲，比對後磨鳥笛音頻最相似前四種鳥類聲音。(2) 鳥類的鳴聲，包括鳴唱及召喚、示威、警戒、乞食、模仿等不同類型鳴叫聲，磨鳥笛能夠發出的音頻以鳴唱、召喚和模仿等叫聲接近。(3) 以摩擦當作發聲原理和吹奏類的鳥笛不同，聲音以鳥類高頻叫聲較為類似。



4-3 製作最佳的磨鳥笛？

1. 方便性、2. 安全性、3. 環保性、4. 低成本性、5. 重複性、6. 教育性、7. 特殊發現：磨鳥笛除了發出鳥鳴叫聲外，也能產生老鼠叫聲和斯文豪氏赤蛙的叫聲。

8. 自製磨鳥笛的 SWOT 分析表

Strengths 優勢	Weakness 劣勢
<ul style="list-style-type: none"> • 聲音多變、體積小 • 製作容易、材質取得方便 • 材質環保、重複性高、低成本 • 具教育性與娛樂性、耐玩度高 	<ul style="list-style-type: none"> • 需要消耗原木 • 重複摩擦耐用頻度可再提升 • 容易仿製大量製造 • 防水性不佳、怕潮濕
Opportunities 機會	Threats 威脅
<ul style="list-style-type: none"> • 鳥笛是世界共通童玩商品 • 取代一般伸縮鳥笛、水鳥笛 • 創新型態的鳥笛模式 • 減少木材的消耗回收再利用 	<ul style="list-style-type: none"> • 市售鳥笛產品已壟斷 • 需要時間推廣與改變既定印象 • 塑膠鳥笛製品低價促銷 • 曾被當成玩具

9. 相關發聲研究(利用摩擦)差異比較：

相關摩擦發聲研究	本研究發現
龍洗盆	竹鐸老祖宗(第 42 屆全國中小學科展)
酒杯發出之音符(臺灣國際科展)	「木」響「蛙」鳴-刮出自然樂章(第 61 屆全國中小學科展)
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 同樣是以磨擦發聲，發生關鍵在於木材硬度、螺絲紋路、扭力大小與摩擦面積。 2. 主要是受到螺絲扭轉深度與摩擦面積影響 3. 透過改變摩擦深度與扭力大小變化，會因為摩擦力改變造成類似鳥鳴叫的高低音。 4. 研究呈現發聲原理符合粘滑現象的定義。

★研究結果成因討論整理如下：

目的	目的	目的	目的
<ol style="list-style-type: none"> 1. 木材依功能與硬度區分。不同硬度與密度造成的木材摩擦力大小不同，並影響發聲特性。 2. 公制規格螺絲依照直徑區分，螺絲紋路會以牙距分為粗牙和細牙。 3. 透過轉動螺絲，利用牙距而有不同的鬆緊度變化，造成與木材的摩擦力改變而發出高低不同的音頻變動。 4. 發聲產生部分在木材，雖然肉眼看不到振動，卻可以透過音頻變化與相關條件研究結果比對分析，得到符合的驗證。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 木材含水量要達到一定的乾燥度，需低於 15% 以下才能發出聲音。剛鋸下的木材因為含水量高不適合製作鳥笛無法發聲。 2. 木材硬度越高摩擦音頻越高，轉動螺絲需要的扭力就越大，硬度與音頻、扭力與分量，兩者皆呈正相關。 3. 木紋方向與鑽孔位置、角度都會影響鳥笛發聲特性，以直鑽 90 度為最佳發聲位置。 4. 螺絲直徑 M5、M6 音頻變化最多，實驗顯示最適合作為摩擦體規格，越小則音頻偏高，變化較小。 5. 螺絲直徑越大摩擦發出的音量越大，兩者關係成正比。螺絲間距(牙距)影響摩擦面積多寡，造成高、低音頻變化，以細紋 M6 聲音變化最多元。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不同硬度木材測試最低扭力的結果，硬度越高扭力就越大，反之硬度越小扭力就越小，單位為 N.m(牛頓.米)。 2. 木材含水量低於 15%，都能發出高於 80 分貝以上的音量，含水量越低，會增加轉動所需摩擦力，發出音頻越高，兩者變化成正比。 3. 扭轉角度 < 45 度無法發聲(摩擦力不足)，> 90 度音頻和音量不變。 4. 螺絲方向影響轉動鬆緊度，反覆來回轉動發出音頻變化最豐富，大小力直接改變音量大小。 5. 依木材特性適當增加摩擦力，以木屑粉、松脂、止滑粉效果最好；燃燒碳化方式處理，可以改變摩擦部位質地粗糙度，造成摩擦力改變，使音頻與音量變化加大。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 磨鳥笛是透過摩擦力大小與摩擦角度，加上螺紋方向改變鬆緊度產生音頻變化，與市面上販售利用吹奏改變空氣量發聲原理大不同。利用摩擦力變化讓聲音有如鳥鳴聲為磨鳥笛發聲特性。 2. 不同於一般吹奏類鳥笛，磨鳥笛更容易發聲，透過力量改變、摩擦方向與摩擦部位不同，讓鳥笛發聲變化更豐富。 3. 磨鳥笛聲音較接近鳥類在高聲鳴叫的音頻，相似的鳥種有粉紅鸚鵡、台灣小鶯、黑領棕鳥等，與會發出較高音頻叫聲的鳥類相似。 4. 磨鳥笛可以導入聲音教學單元，讓同學自己選取材料，利用所學的發聲原理與研究結果，做出屬於自己獨一無二兼具教育與娛樂的意義。 5. 與相關摩擦發聲的研究比對發現，磨鳥笛發聲可用粘滑現象(stick-slip phenomenon)解釋，和指甲抓黑板、拉小提琴其應用的是同一個原理。

陸、結論

應用回收環保觀點與實際課程結合，希望能夠利用手邊的物品自製磨鳥笛，以實驗將看不見摸不著的聲音；轉化成多變的鳥叫聲，提升學生對於聲音的理解與應用興趣：

1. 磨鳥笛的發音構造 - 木材、手擰螺絲、摩擦力三者互相影響，結構體材質為音色關鍵。
2. 由一般對數線性分析，螺絲深度(h) ∝ 音頻(f) 呈現負相關，斜邊(R) ∝ 音頻(f) 也呈現負相關。
3. 不同硬度木材轉入螺絲深度(h) ∝ 音頻(f) 呈現正相關，硬度越高轉入越深音頻也越高。
4. 木材含水量低於 15%，以平均直徑 2.5~3.0cm 製作為最佳，圓柱形方便提取。
5. 發聲結構體材質以一般木材或軟木材聲音最具有變化性，呈現較不刺耳的樂音。
6. 摩擦體(螺絲)最適當轉動發聲的深度為原長度 1/3-1/4，轉動時音頻變化最多樣。
7. 牙距會造成不同音頻變化，以細牙發聲效果最好，因為摩擦面積最多、最大。
8. 木材橫切從年輪面 90 度垂直鑽孔、摩擦深度 0.3~0.5cm 的磨鳥笛發聲音量與音頻都最佳。
9. 螺絲直徑越大摩擦發出的音量越大，兩者關係成正比，比對音頻變化和音量的大小，結果以 M5、M6 (d = 5、6 mm) 最合適；螺絲過大反而會讓音頻降低減少變化性。
10. 木材硬度影響轉動扭力大小，兩者呈現正相關，最低扭力值 0.2 N.m 就能轉動發聲。
11. 扭轉的角度以來回 45~90 度間發聲最清晰，藉由螺絲鬆緊度的變化改變摩擦力發聲。
12. 增加摩擦力可以讓鳥笛聲音豐富度變化增大，以木屑粉、松脂、燃燒碳化成效最佳。
13. 磨鳥笛透過摩擦力改變音頻變化(粘滑現象)，與吹奏改變空氣量發聲原理的鳥笛不同。
14. 鳥笛製作成本低，可用於教學，與高音頻鳥鳴叫聲類似，例如：粉紅鸚鵡、台灣小鶯。

柒、參考資料

1. 高珮毓、蔡宜真、蔡昀修、林昱安、陳于謙、高國維 (2016)。鳥鳴鶯啼-探討鳥笛的製作與推廣。中華民國第 56 屆中小學科學展覽會作品。
2. 陳冠文、王智楷 (2004)。酒杯發出之音符。臺灣國際科展。
3. 蘇宥澄、傅子威、傅沛容、李昕潔、魏雯娟 (2020)。吹音哀哀~「膜」鳥笛。中華民國第 60 屆中小學科學展覽會作品。
4. 王禹晴、呂安婕、段唯涵、李佳臻 (2021)。「木」響「蛙」鳴-刮出自然樂章。中華民國第 61 屆中小學科學展覽會作品。

