

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 生活與應用科學(二)科

第三名

082927

吹音裊裊～「膜」鳥笛

學校名稱：臺北市私立靜心高級中學(國小部)

作者：	指導老師：
小六 蘇宥澄	謝智偉
小六 傅予葳	石光源
小六 傅沛容	
小六 李昕潔	
小六 魏雯娟	

關鍵詞：動膜、音頻、擬真鳥叫

摘 要

自製的「膜」鳥笛有別於市面上常見四種已知傳統鳥笛的發聲結構與原理，研究中發現膜鳥笛的組成要件～1.振動膜材質、2.內、外圓比、3.五大嘴型(共振腔)、與實際鳥叫音頻探討生物擬真度(BTI)；重要結果如下：

一、材質上：

1. 振動膜最佳材質為人工腸衣。
2. 口含片半徑需在 1.4~1.6cm 之間，依嘴巴大小調整。
3. 內、外圓半徑比例(r : R)以 1 : 3 與 2 : 5 最佳，外圓 R=1.5cm 最適合一般上顎空間。
4. 振動膜(r)以 0.5~0.6cm 為最佳，半徑越大，音頻愈低。

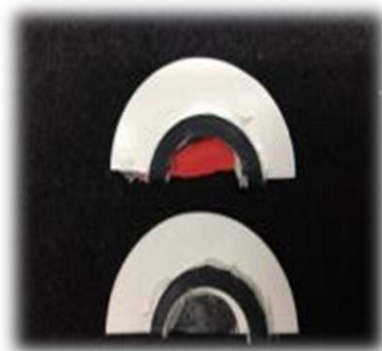
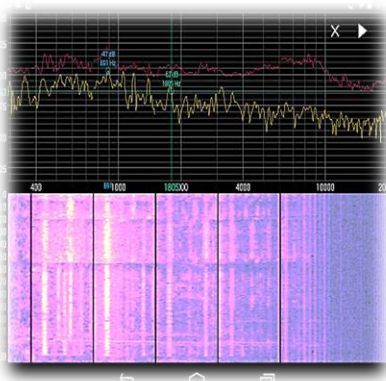
二、吹奏嘴型上：

1. 上顎與舌頭空間的空氣量影響聲音高低及音頻變化。
2. 改變嘴型與雙唇間空隙，會產生響度和音調改變。

三、應用上：

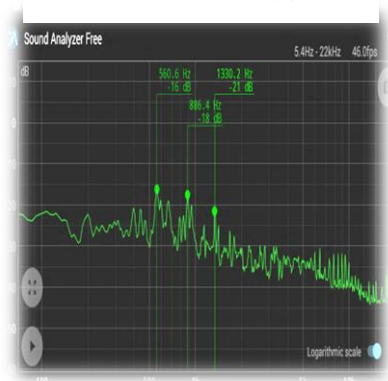
1. 圖四、五、六印證可吹出擬真度(BTI)高鳥類叫聲。
2. 具水鳥笛聲音多變與伸縮鳥笛改變音高的雙特性。

APP 軟體 (Spectroid)
音頻圖擷取



「膜」鳥笛

APP 軟體
(Sound Analyzer Free)
主要吹音音頻分析



壹、研究動機

鳥笛是最常被拿來當作模擬鳥叫聲的樂器，市面上常見的有單音鳥笛、吸管鳥笛、伸縮鳥笛與水鳥笛等四種，在所學過的聲音單元中就有教導簡易的伸縮鳥笛製作；但是我們並不滿足現有的鳥笛，總覺得擬真度不足和娛樂性居多；於是我們想利用手邊容易取得的紙杯和各種材質當作笛膜，要製作出簡單容易吹奏，聲音多變及擬真度高的膜鳥笛。

貳、名詞解釋

- 一、**膜鳥笛**：聲音的頻率與口腔內吹氣空氣量多寡有關，利用嘴型的變化與改變口腔空氣量，產生高低不同的聲音，進而模擬各種聲音及**擬真鳥叫聲(Bio Tree Index：BTI)**。
- 二、**音階**：音階就是依照 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**：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。

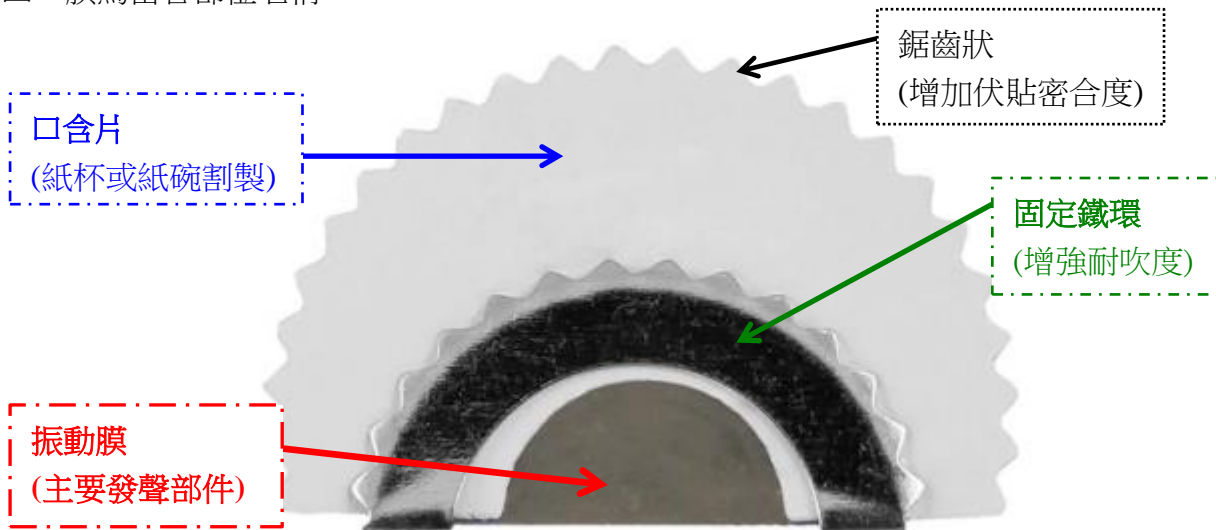
音階標準頻率(Hz)

https://en.wikipedia.org/wiki/Musical_note

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、膜鳥笛各部位名稱：



圖二、自製膜鳥笛構造對照

參、研究目的

想研究如何製作出聲音多變的膜鳥笛，所以列了下列四個研究目的與相關的問題進行探究：

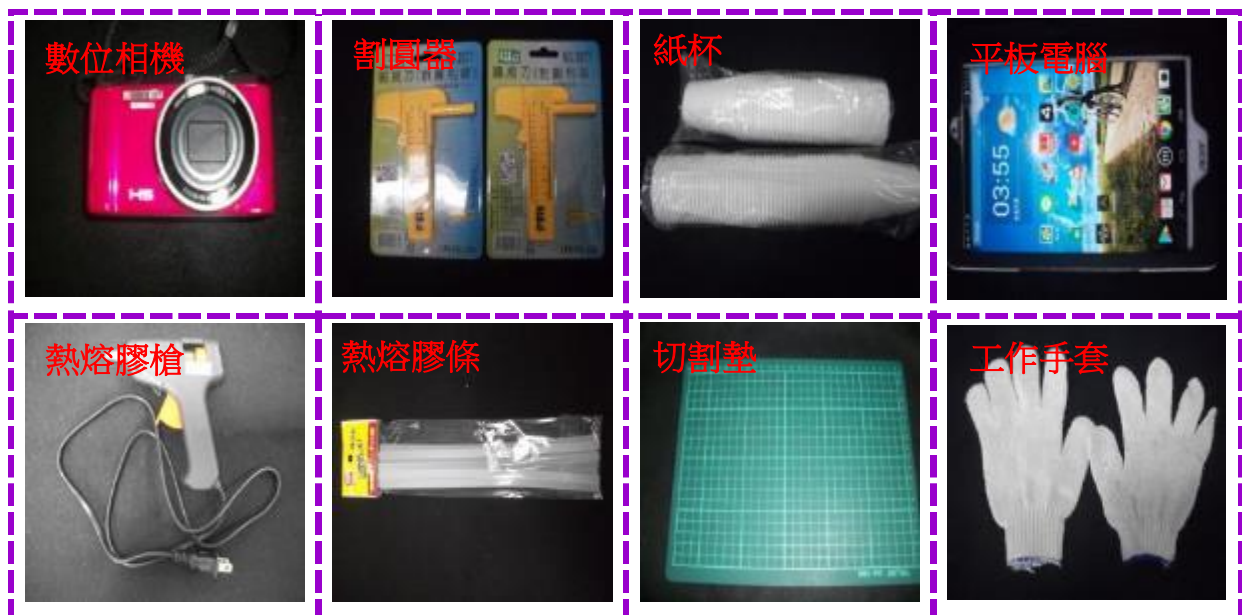
目的一：瞭解膜鳥笛聲音的因素。

目的二：研究不同內膜材質振動與聲音變化的關聯。

目的三：膜鳥笛內、外圓最佳比例與音頻變化的關係。

目的四：比對實際鳥類鳴叫製作出擬真度高、聲音多變的膜鳥笛。

肆、研究設備及器材



伍、研究過程

找出最合適的振動膜材質與音頻關聯性質

2-1 振動膜材質的研究

2-2 材質與聲音的變化特性

研究製作出最佳比例與聲音變化的相關性

3-1 最佳外圓(口含片)半徑

3-2 最佳內圓(振動膜)半徑

3-3 內圓(振動膜)形狀對聲音的影響

3-4 有無內圓鋁環壓條的聲音差別

二、研究不同內膜
材質振動與聲音變
化的關聯

三、膜鳥笛內、外
圓最佳比例與音頻
變化的關係

自製膜鳥笛

一、瞭解膜鳥笛
聲音的因素

四、比對實際鳥類鳴
叫製作擬真度高、聲
音多變的膜鳥笛

研究膜鳥笛在口腔內如何發聲的基礎原理

1-1 研究膜鳥笛的構造

1-2 膜鳥笛如何發出聲音

研究結論

歸納比對所吹出的聲音與鳥叫聲的擬真度

4-1 分析常見鳥類聲
音頻率圖形

4-2 常見鳥笛聲音比較

4-3 製作最佳的膜鳥笛

推廣製作
與教學應用

陸、研究方法與結果

目的一：瞭解膜烏笛聲音的因素？

1-1：研究膜烏笛的構造？

一、研究想法：從影片中觀察膜烏笛的構造與如何發聲。


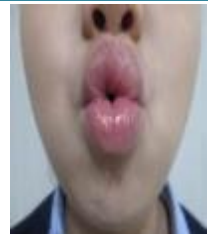



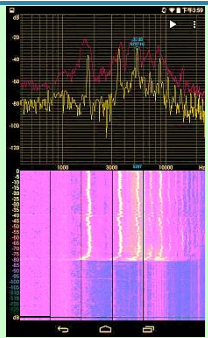
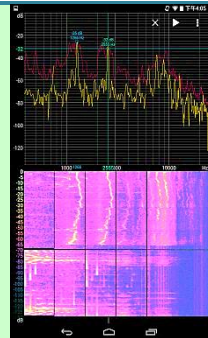
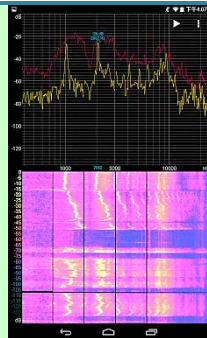
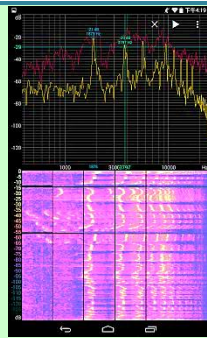
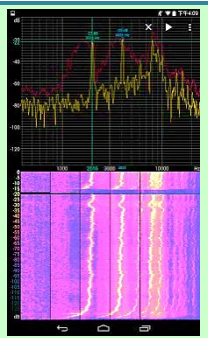
二、研究過程：嘗試自製膜烏笛，試吹找出符合的製作材料，並以相機拍下符合發聲的嘴型。

三、研究結果：

〔表一〕(一)材料分析：符合製作口含片材料(必須防水，具有相當軟硬度能伏貼口腔上顎)。

實驗項目	鋁箔包	紙盒包	紙碗	紙杯	防水相紙
說明	1.紙佔 75% 2.聚乙烯(PE)佔 20%具有防水功能。 3.鋁箔佔 5%	1.紙佔 80% 2.聚乙烯(PE) 等多種聚合物材質佔 20%具有防水功能。	1.紙 2.聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、低密度聚乙烯 (LDPE)	1.紙 2. 聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、低密度聚乙烯 (LDPE)	1.紙 2. 聚乙 烯 醇 (PVA) 3.二氧化矽 4.防水 PE 塗層
材料照片					
製作結果	偏硬、不伏貼	硬、不伏貼	◎軟、伏貼	◎軟、伏貼	X、有毒性

〔表二〕(二)發聲嘴型：膜烏笛發聲基本嘴型共可分為「一」、「ㄨ」、「U」、「ㄣ」、「ム」5種。

嘴型名稱	「一」型	「ㄨ」型	「U」型	「ㄣ」型	「ム」型
說明	嘴巴發出「一」的嘴型	嘴巴發出「ㄨ」的嘴型	嘴巴發出「U」的嘴型	嘴巴發出「ㄣ」的嘴型	嘴巴發出「ム」的嘴型
嘴型照片					
音頻照片					
發聲音名	6G#、7G#、7Ab	6F#、6Ab、7Ab	6Db、6E、6C	6Bb、7A、8Fb	6G、7G、9D#

1-2：膜鳥笛如何發出聲音？

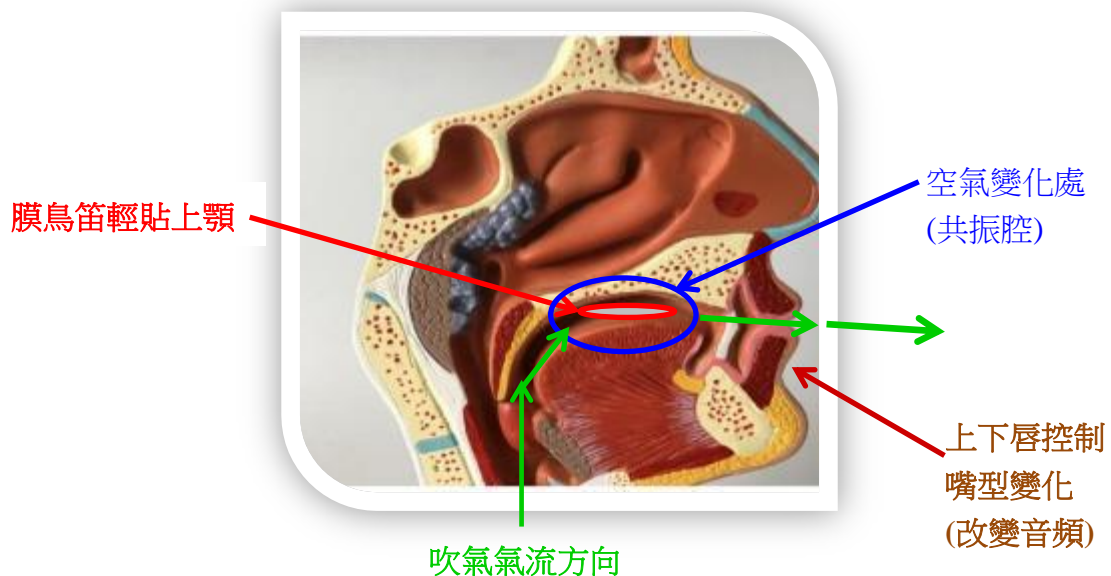
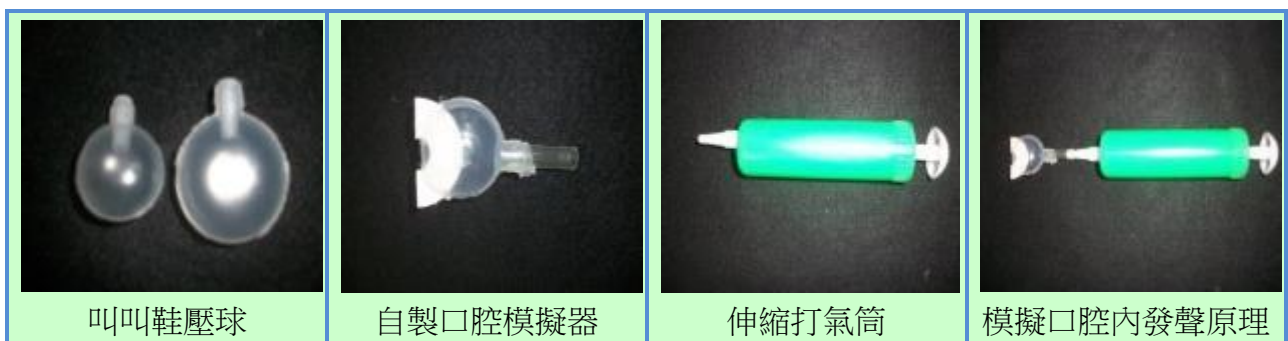
一、研究想法：

在沒有任何相關資料只有影片的片段下，我們嘗試自己找出膜鳥笛在嘴中發聲的原理，並試著製作模型以方便了解在口腔內發聲的情況，並解釋如何產生聲音，更進一步讓聲音可以模擬鳥叫聲。

二、研究過程：

經過不斷的搜尋材料與思考？我們發現幼兒叫叫鞋內的壓球其中的空氣含量，狀態類似嘴巴口腔內上顎與舌頭所包覆出的空間，利用壓球配合製作出的膜鳥笛與打氣筒結合，試著模擬口腔內發聲的空氣狀況，了解口腔內空氣變化如何產生高低音，以及膜鳥笛發聲的振動體位置。

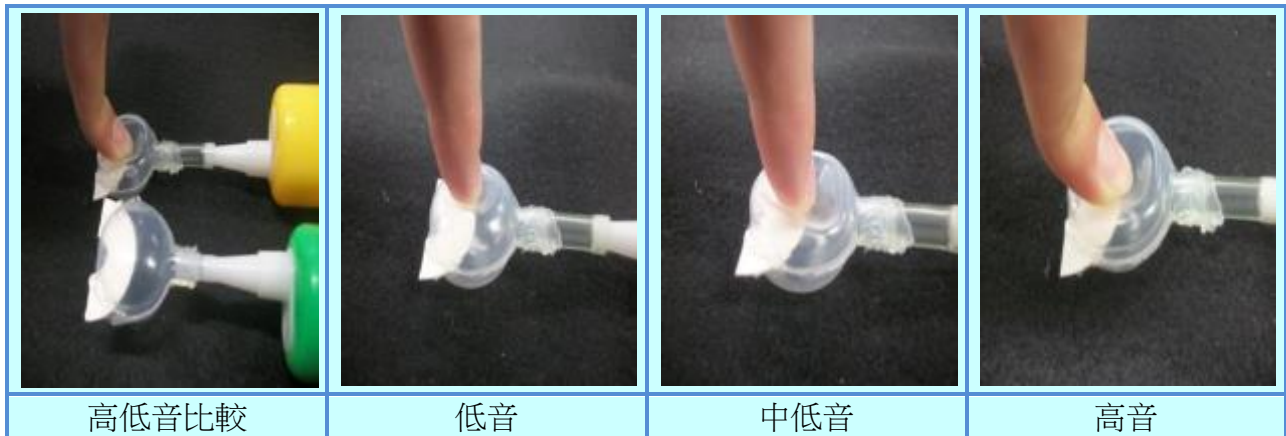
〔表三〕基本發聲情形：自製口腔吹奏器



圖三 口內吹奏發聲出氣模型示意圖

三、研究結果：

1. 〔表四〕利用手指按壓改變壓球內的空氣(模擬口腔內)，產生不同高低音變化



2. 〔表五〕膜鳥笛放置口腔內示意圖



目的二：研究不同內膜材質振動與聲音變化的關係。

2-1 振動膜材質的研究？

一、研究想法：











我們發現膜鳥笛能夠發出聲音主要在於內膜，也就是空氣通過振動膜所產生振動而發聲，在自然課中有學過不同的物質會有不同的音色，所以我們將所想到的材料拿來一一測試，希望能夠找到可以完美呈現出鳥叫聲的振動膜。

二、研究過程：

1. 將適合當作的振動膜的材料一一列出。

2. 考慮防水性與振動的特性逐一測試。

3. 所使用的材料測試如下。

			
手扒雞手套	PE 手套	乳膠手套	橡膠手套
			
氣球	PE 保鮮膜	PMP 保鮮膜	PVC 保鮮膜
			
烘焙紙	瓶蓋內膜	軟糖包裝紙	人工腸衣

三、研究結果：

1. 〔表六〕實驗結果整理如下：

材質	手扒雞手套	PE 手套	乳膠手套	橡膠手套	氣球	PE 保鮮膜
可否吹奏	可	可	可	可	可	可
材質	PMP 保鮮膜	PVC 保鮮膜	烘焙紙	瓶蓋內膜	軟糖包裝紙	人工腸衣
可否吹奏	可	可	否	否	否	可

2. 我們發現材質薄較易產生振動發出聲音。

3. 具有彈性的材質會產生較固定的振動而發聲，音頻區間規律。

4. 材質過硬或不具彈性則不易產生振動而發聲。

2-2：材質與聲音的變化特性？

一、研究想法：

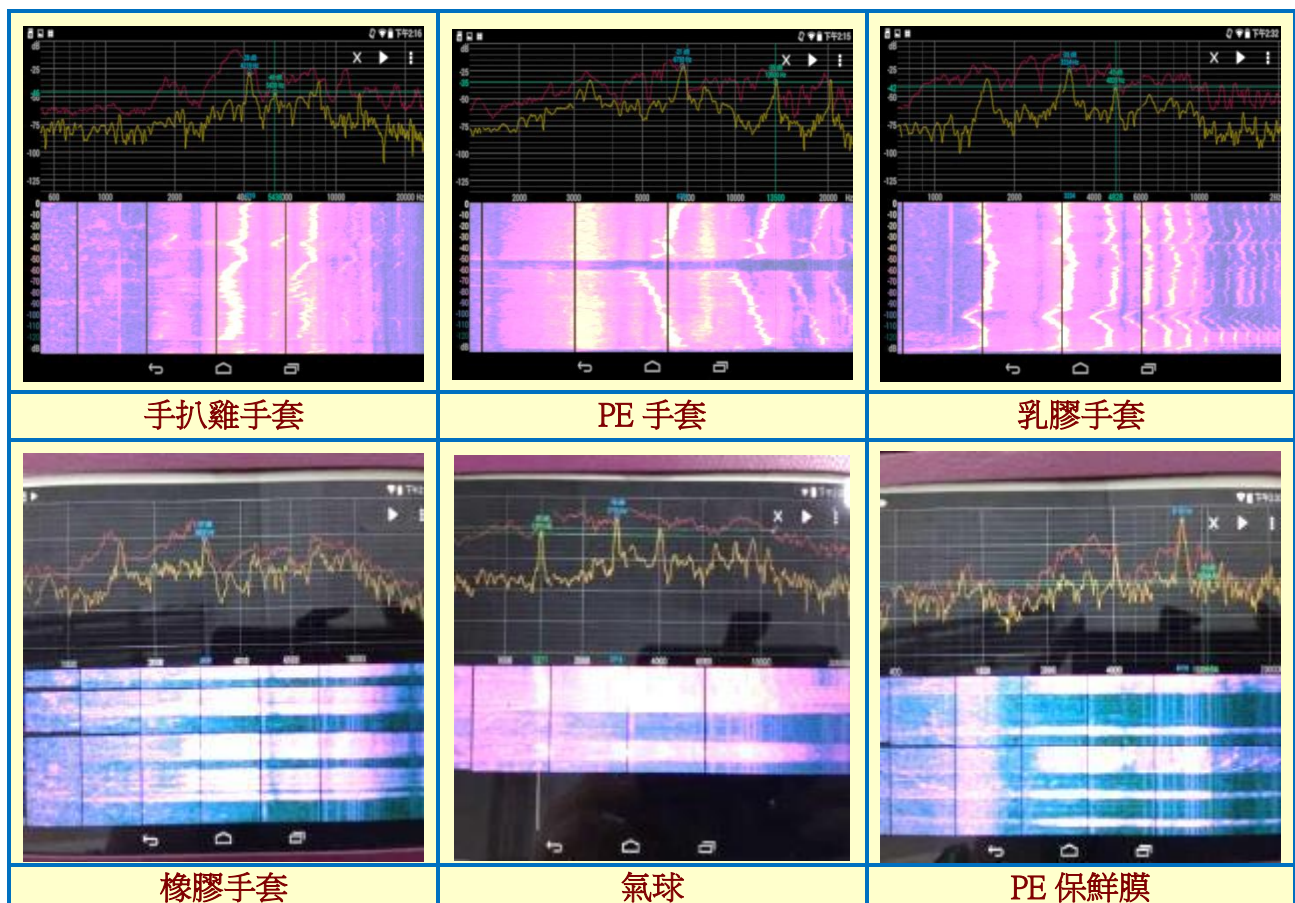
既然確認可以發生當作振動膜的材質有哪些種類，我們更進一步進行聲音的測試，藉此歸納找出聲音彈性能配合嘴型產生更多變化，適合當作振動內膜的最佳材質。

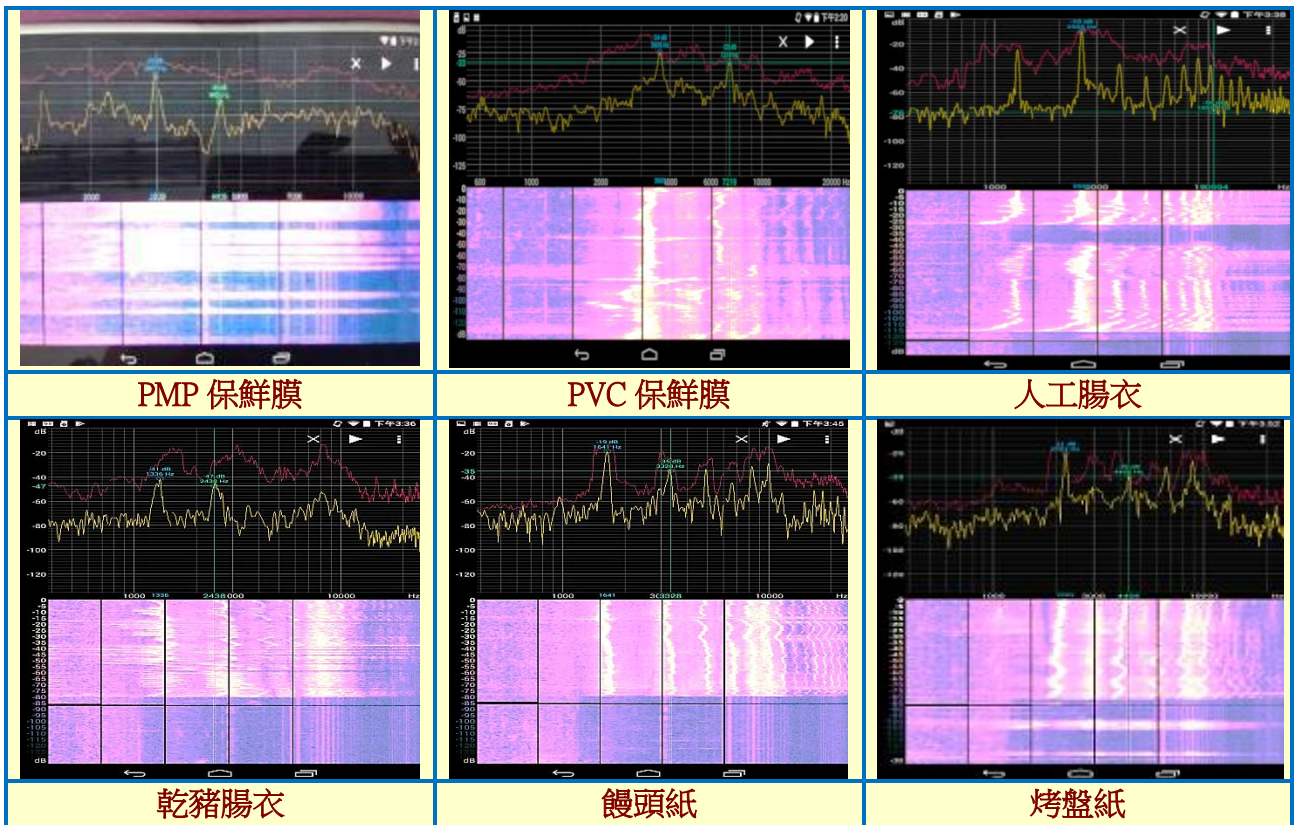
二、研究過程：

1. 分別取 2-1 研究所找出適合製作的材質製作成內圓的振動膜。
2. 以固定的嘴型發聲並以平板 APP 音頻程式紀錄所測到音頻並拍照紀錄。
3. 利用派照紀錄音頻歸納整理不同材質產生的音頻區間。

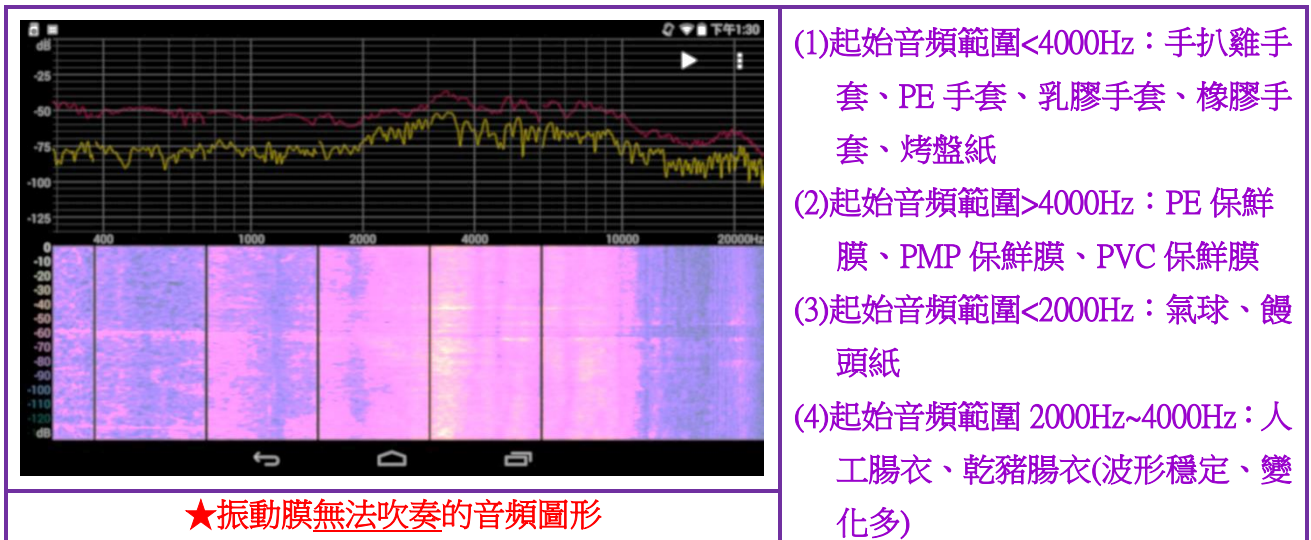
三、研究結果：

1. 〔表七〕十二種材質相同嘴型「ム」型發聲所產生音頻圖





2. [表八] 音頻變化分析說明



3. 從變動的音頻波形圖分析各種材質吹出聲音的高低與頻率範圍。

4. 不同材質波形顯示音色受到材質特性影響。

目的三：膜烏笛內、外圓最佳比例與音頻變化的關係。

3-1：最佳外圓(口含片)半徑？

一、研究想法：

我們雖然嘗試將影片中的膜烏笛做出來，但是卻未能找出最佳的比例。於是我們先設定










不同比例大小的外圓，切割完畢後逐一放入口中測試，藉此找出外圓(口含片)的最佳半徑。

二、研究過程：

1. 觀察影片中的說明與影像，我們將口含片半徑大小以 0.9cm 為起始。
2. 每 0.1cm 為增加單位，製作出以 0.9cm~2.0cm 為半徑的外圓(口含片)，放入口中測試。
3. 找出適合的大小，將外圓以 1/4、1/3、1/2、2/3、3/4 共五種比例方式切割，找出最佳比例。

三、研究結果：

1. 〔表九〕不同半徑切割的外圓(口含片)，口腔模型與實際大小比例相同

半徑 長度	0.9 cm	1.0 cm	1.1 cm	1.2 cm
照片 圖示				
測試 結果	X、太小	X、太小	X、太小	X、太小
半徑 長度	1.3 cm	1.4 cm	1.5 cm	1.6 cm
照片 圖示				
測試 結果	X、偏小	○、最符合	○、最符合	○、最符合
半徑 長度	1.7 cm	1.8 cm	1.9 cm	2.0 cm
照片 圖示				
測試 結果	○、卡住	X、過大	X、過大	X、過大

2. [表十] 以五種比例切割的口含片

切割比例	1/4	1/3	1/2	2/3	3/4
照片圖示					
測試結果	X、太小	X、偏小	O、適合	X、偏大	X、太大

3. 切割下來的外圓大小以半徑 1.4cm~1.6cm 最適合來製作。

4. 因為受上顎空間限制，切割成口含片的比例以 1/2 圓為最佳，較適合放入口中吹奏。

3-2：最佳內圓(振動膜)半徑？

一、研究想法：




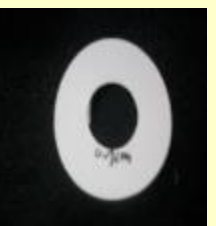

找出適合的外圓(口含片)的大小後，我們進一步研究探討內圓(振動膜)的大小，因為我們從初步實驗中看出振動膜是影響聲音的關鍵，而大小一定對於高低音有所影響，所以我們要利用實驗找出最適當的內圓半徑和內、外圓的最佳比例。


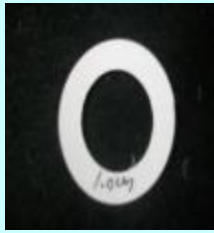



二、研究過程：

1. 研究出適合製作口含片半徑後，以半徑 1.5cm 為基準，切 1/2 比例來製作。
2. 依照 3-1 實驗結果切割內圓，分別以 0.4cm~1.3cm 為半徑，每間隔增加長度 0.1cm。
3. 計算切割內、外圓大小，找出最佳比例，製作出我們的膜烏笛。

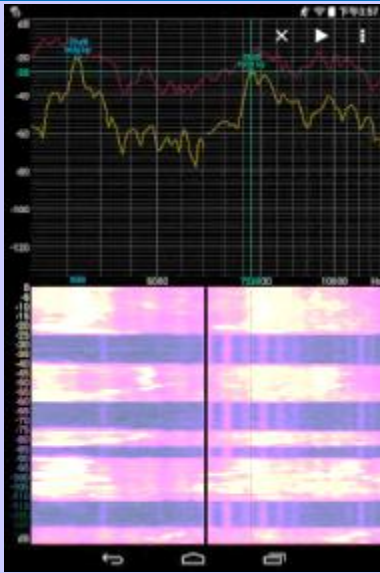
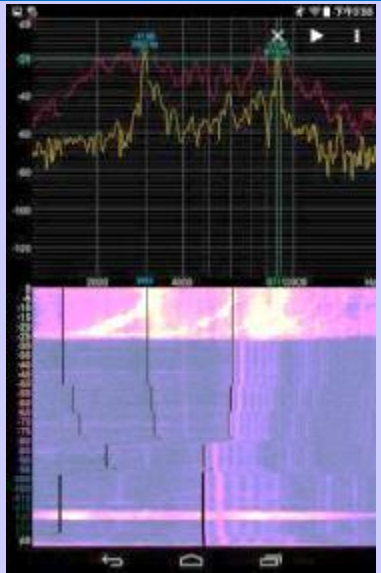
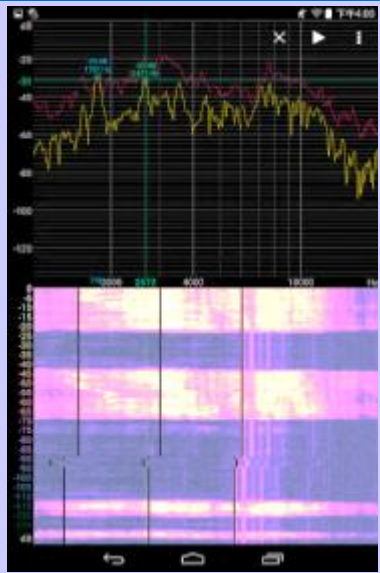
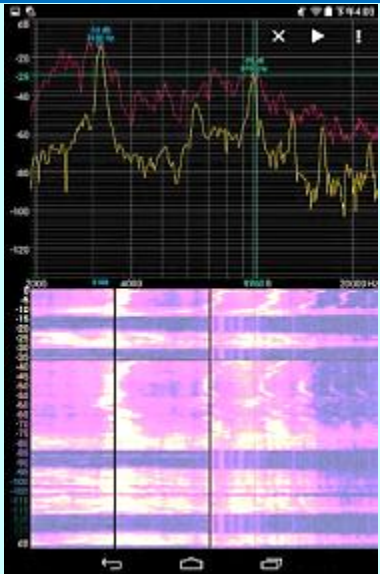
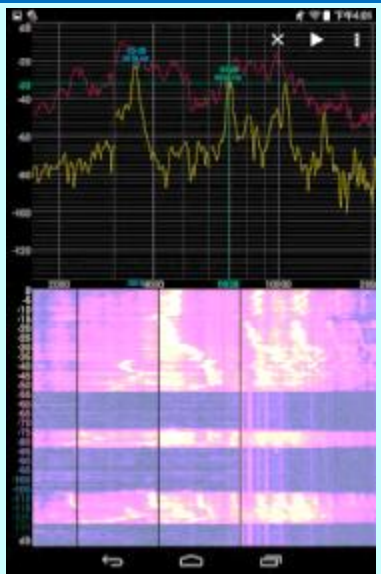
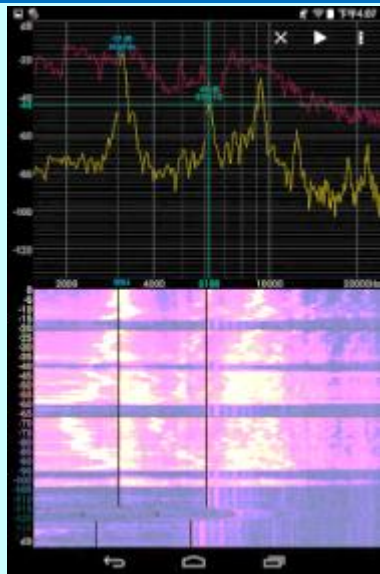
三、研究結果：

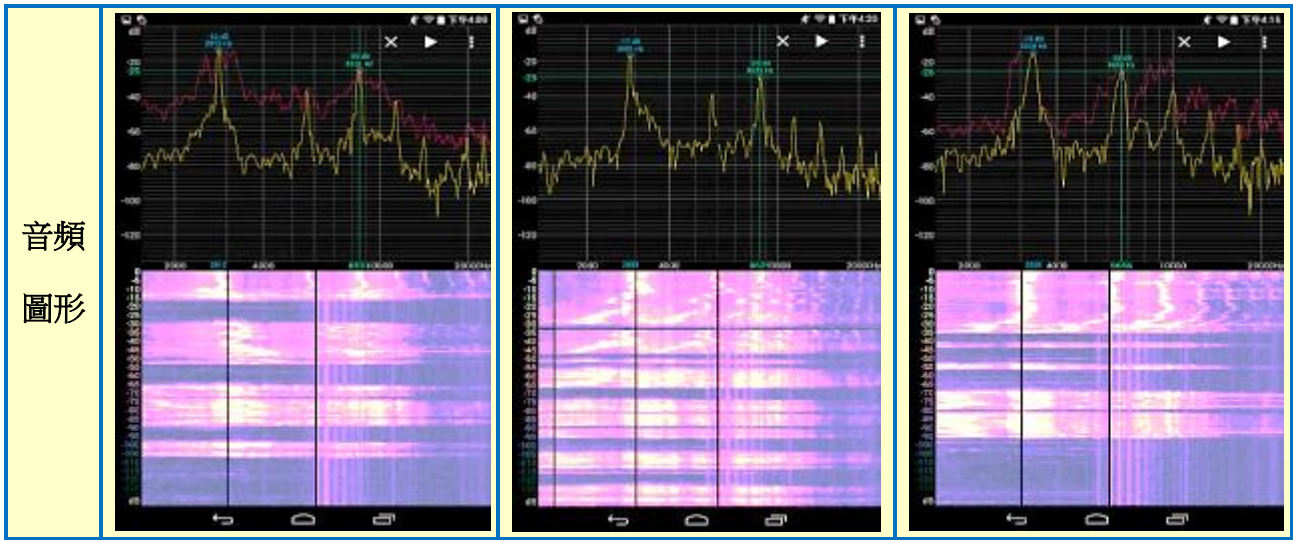
1. [表十一] 不同半徑切割內圓(振動膜)大小，外膜半徑 1.5 cm

半徑長度	0.4 cm	0.5 cm	0.6 cm	0.7 cm	0.8 cm
照片圖示					

半徑 長度	0.9 cm	1.0 cm	1.1 cm	1.2 cm	1.3 cm
照片 圖示					

2. [表十二] 不同半徑切割內圓(振動膜)震動音頻(材質 PE 保鮮膜，口型△型)

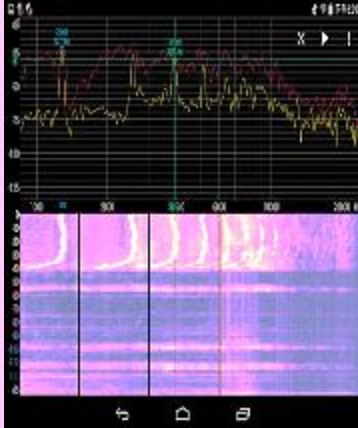
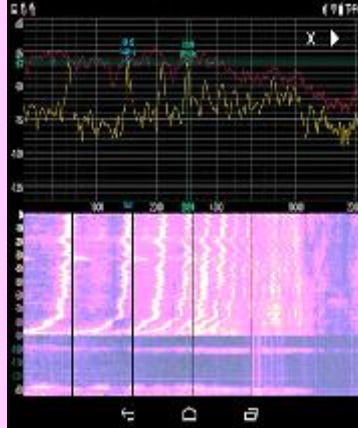
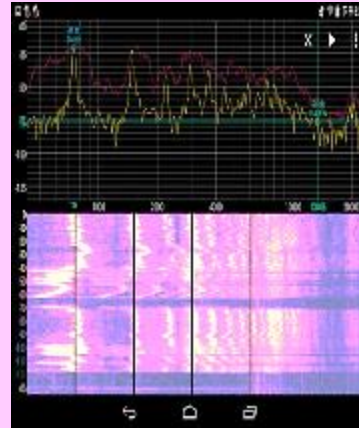
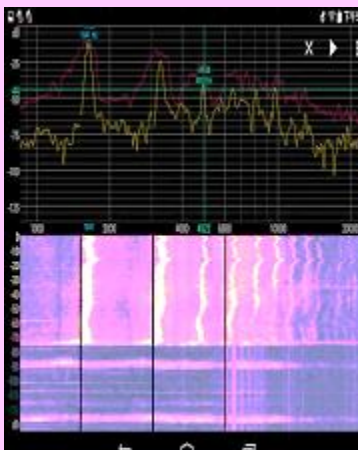
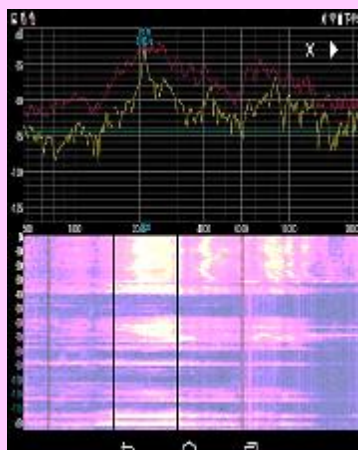
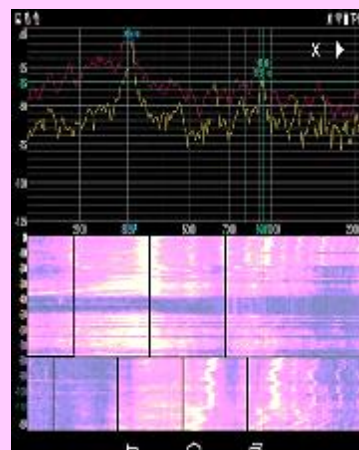
半徑 長度	0.4 cm	0.5 cm	0.6 cm
音頻 圖形			
半徑 長度	0.7 cm	0.8 cm	0.9 cm
音頻 圖形			
半徑 長度	1.0 cm	1.1 cm	1.2 cm



(1)內圓半徑 1.3cm 所剩餘黏貼處太少，無法製作成膜烏笛；半徑 0.4cm 不易吹奏。

(2)振動膜半徑從 0.5~1.1cm 均可吹出變化音頻；1.2cm 勉強能夠吹奏，但雜音很多。

3. [表十三] 內、外圓半徑最佳比例(內圓半徑 $r=0.5\text{cm}$ ；外圓半徑 $R=1.5\text{cm}$ ， $r : R = 1 : 3$)

內外圓比例	1 : 3	2 : 5	1 : 2
音頻圖形			
內外圓比例	3 : 5	2 : 3	4 : 5
音頻圖形			

比例從 1：3 到 3：5 音頻都能夠產生豐富的變化，尤其以 1：3 與 2：5 最佳配置比例。

3-3：內圓(振動膜)形狀對聲音的影響？

一、研究想法：



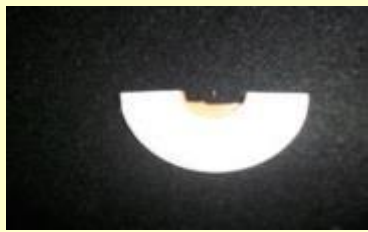
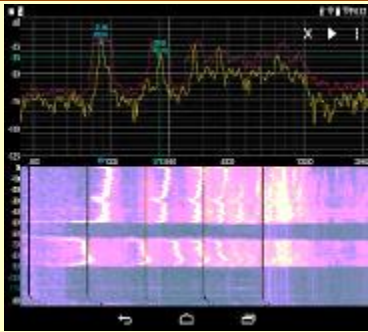
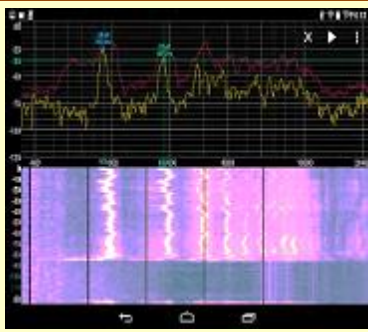
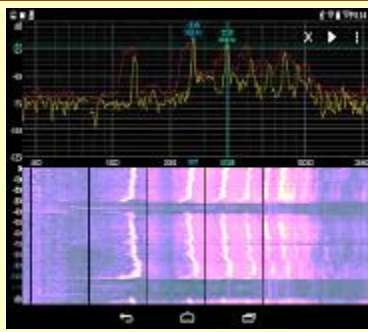



經過實驗 3-2 結果顯示內膜開口越大，聲音就越會越低，內、外圓比例以 1：3 為最佳，於是我們想更進一步探討，改變內圓(振動膜)的形狀，是否對聲音能夠產生更大的改變。

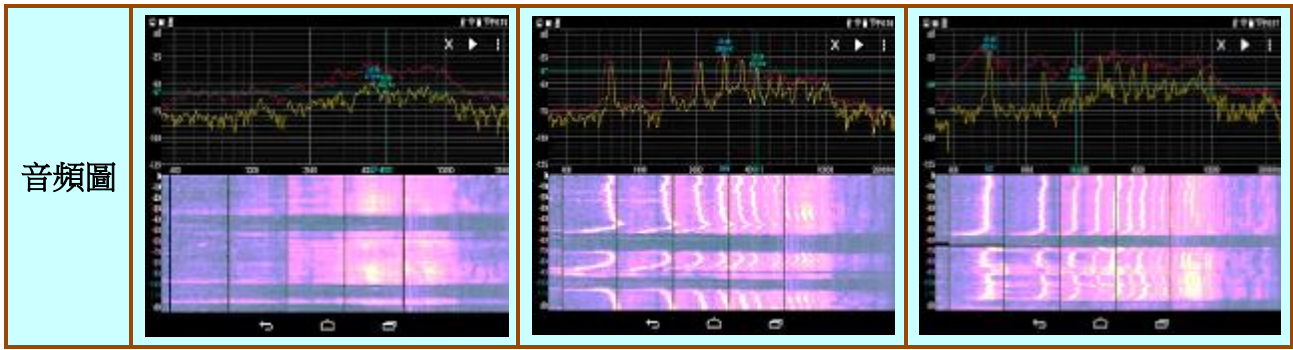
二、研究過程：

1. 改變膜烏笛振動膜大小涵蓋比例，記錄音頻圖形變化。
2. 設定內圓為長方形、三角形、正梯形、倒梯形 4 種，開口為 1.0cm，高度 0.5cm，記錄音頻變化。

三、研究結果：

1. [表十四] 改變膜烏笛振動膜涵蓋比例

比例	正常比例	2/3	1/2
照片			
音頻圖			
比例	1/3	凸 1/3	凸 1/2
照片			



- (1) 振動膜長度大小不能 $<$ 內膜 $1/2$ ；振動膜越小發出聲音頻率越高。
- (2) 振動膜長度小於內圓 $1/3$ 則無法產生振動發聲。
- (3) 振動膜長度凸出超過 $1/3$ 則會干擾原本的振動產生雜音。

2. 〔表十五〕四種形狀振動膜音頻變化

形狀	長方形	三角形	正梯形	倒梯形
照片				
音頻圖形				

- (1) 形狀會影響音頻的變化，圓形最容易切割製作。
- (2) 梯形音頻基音較低(5 個音頻間隔)，但是變化也較豐富；三角形音頻變化較長方形多。

3-4：有無內圓圈環壓條的聲音差別？

一、研究想法：

問題解決：在實驗過程中我們遇到了問題，發現自製的膜鳥笛會因為重複吹奏；造成笛

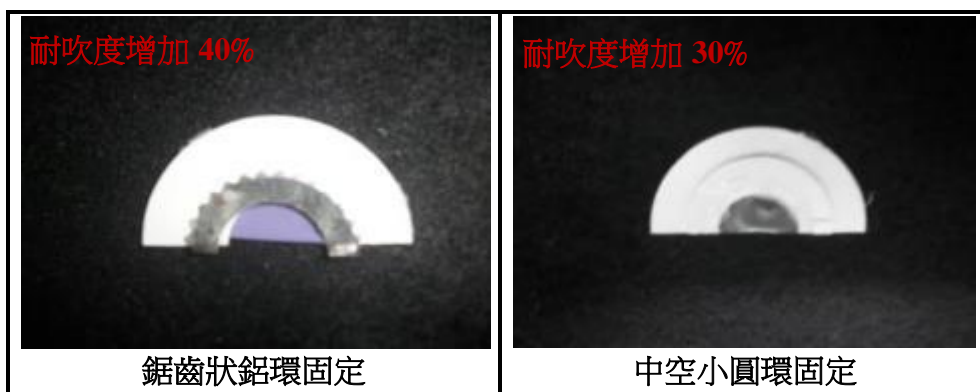
膜脫離的現象而不能繼續吹奏，於是我們想強化膜鳥笛，延長可以重複吹奏的時間。

二、研究過程：

我們嘗試利用不同方法增強耐吹度，統整出兩個方式可行：(1)鋸齒狀鋁環、(2)小圓環 強化於振動膜外圍增加強度，以吹響 50 次為單位，測試耐吹度的提高比例。

三、研究結果：

1. 〔表十六〕強化振動膜耐吹度結果



2. 遇上問題：(1)鋸齒狀鋁環不易切割剪裁，吹奏會有割傷口腔問題。

(2)固定小圓環切割容易，也能夠提升耐吹度，沒有割傷問題。

目的四：比對實際鳥類鳴叫製作出擬真度高、聲音多變的膜鳥笛

4-1：分析常見鳥類聲音頻率圖形

一、研究想法：

既然已經找出製作膜鳥笛的最佳比例，振動膜材質也從實驗中找出最適合的，接下來就可以進行實際比對，將自製的膜鳥笛與實際鳥叫音頻進行比對確認擬真度。

二、研究過程：

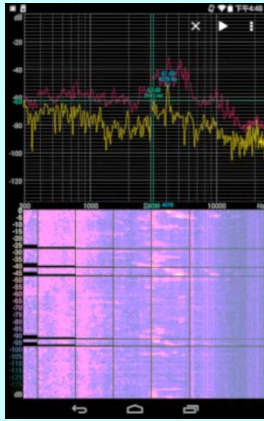
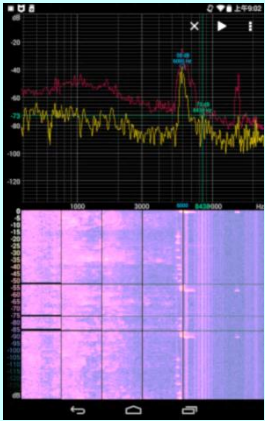
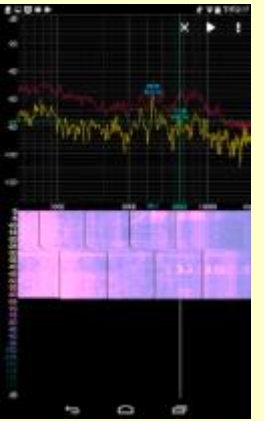
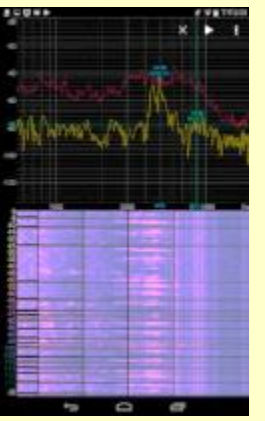
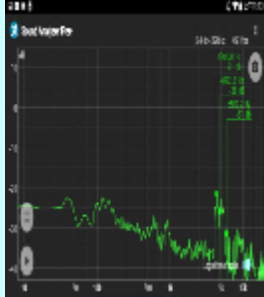
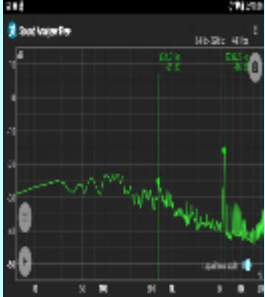
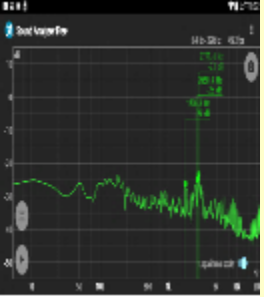
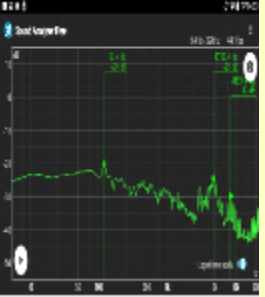
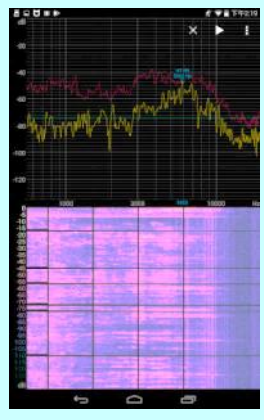
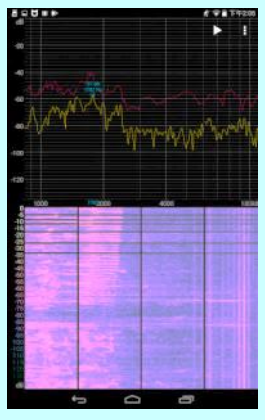
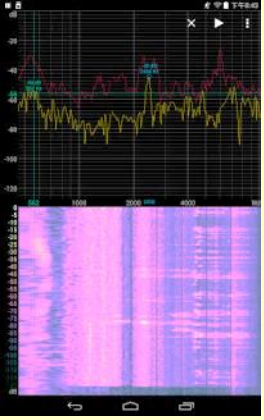
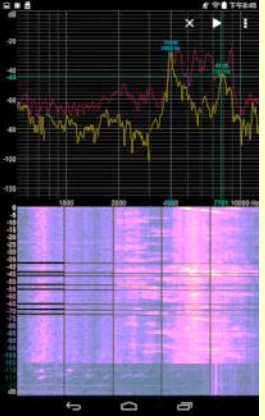
我們將所搜尋到的鳥叫聲利用 APP 軟體(Spectroid)和(Sound Analyzer Free)製作出音頻圖，逐一記錄與製作實際音頻圖形。

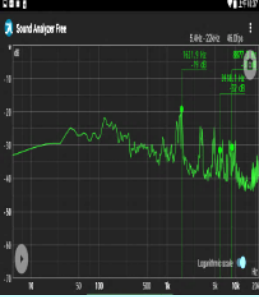
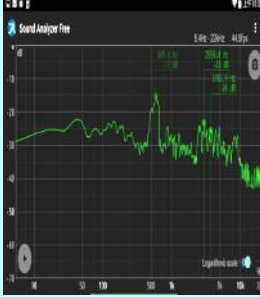
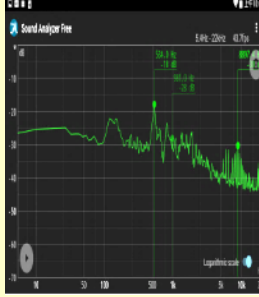
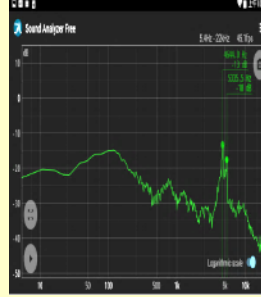
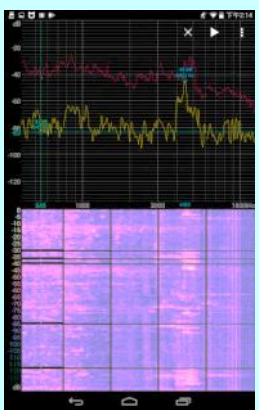
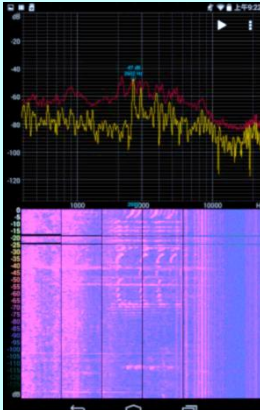
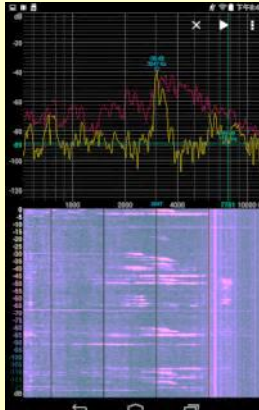
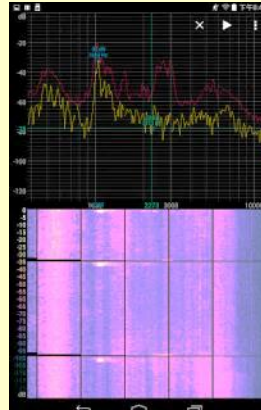
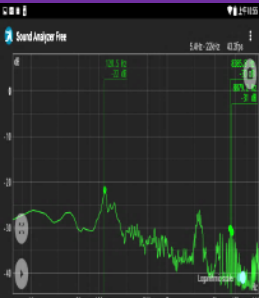
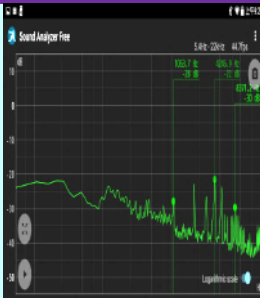
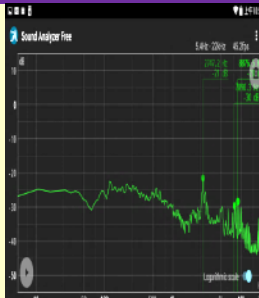
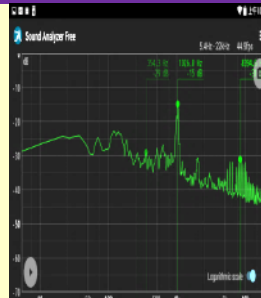
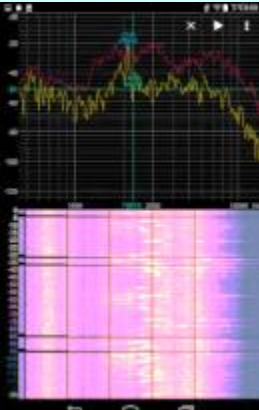
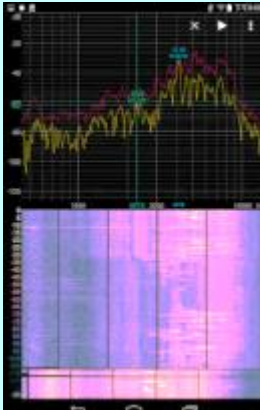
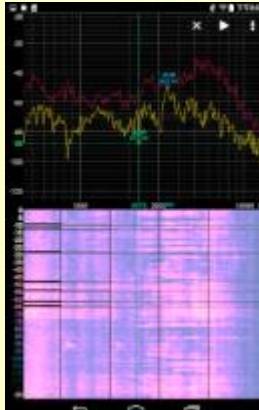
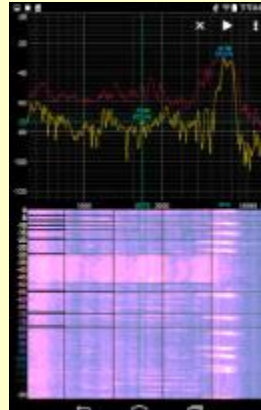
1. 擷取鳥叫聲中主要的頻率比對音階標準頻率表(圖一)，找出鳥叫聲中主要的音頻。

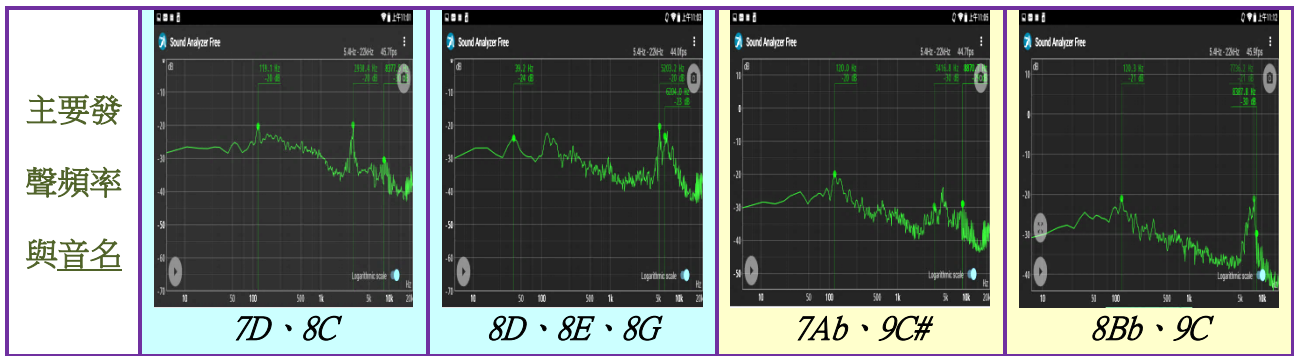
2. 比對基本嘴型的發音音頻符合哪些種類鳥叫聲的音頻。

三、研究結果：

〔表十七〕台灣常見各種鳥類叫聲音頻圖形、發聲頻率與音名

鳥類名稱	鸚鵡	翠鳥	紅嘴黑鵝	麻雀
音頻圖				
主要發聲頻率與音名	 <i>8C#、8D#、8Gb</i>	 <i>5Eb、7F、8Gb</i>	 <i>6A、7E、7F</i>	 <i>8Ab、8D、9C</i>
鳥類名稱	鸚鵡	深山竹雞	小水鴨	藍磯鶉
音頻圖				

<p>主要發聲頻率與音名</p>	 <p>6G#、8G、9Db</p>	 <p>7D、7F#、7A#</p>	 <p>5C#、5B、9Db</p>	 <p>8C、8D#、8F</p>
<p>鳥類名稱</p>	<p>藪鳥</p>	<p>遊隼</p>	<p>大卷尾</p>	<p>小彎嘴</p>
<p>音頻圖</p>				
<p>主要發聲頻率與音名</p>	 <p>9C、9Db</p>	 <p>6C、8C、9C</p>	 <p>7F、8B、9C#</p>	 <p>4F#、5C、9C</p>
<p>鳥類名稱</p>	<p>白頭翁</p>	<p>綠繡眼</p>	<p>家燕</p>	<p>黃鵪鶉</p>
<p>音頻圖</p>				



- (1) 在台灣平地常聽見的基本鳥叫聲，幾乎都能夠利用膜鳥笛發出相似的叫聲。
- (2) 膜鳥笛能夠發出的音頻(表十七)，以所列出 16 種鳥類的相似擬真度較高，也較容易吹奏出相似鳥鳴聲。
- (3) 以人工腸衣當振動膜的擬真度最高變化也最多，鴨科叫聲以汽球當振動膜發出最為相似。

四、★☆結果特殊發現☆☆

〔表十八〕膜鳥笛特殊聲音音頻圖形

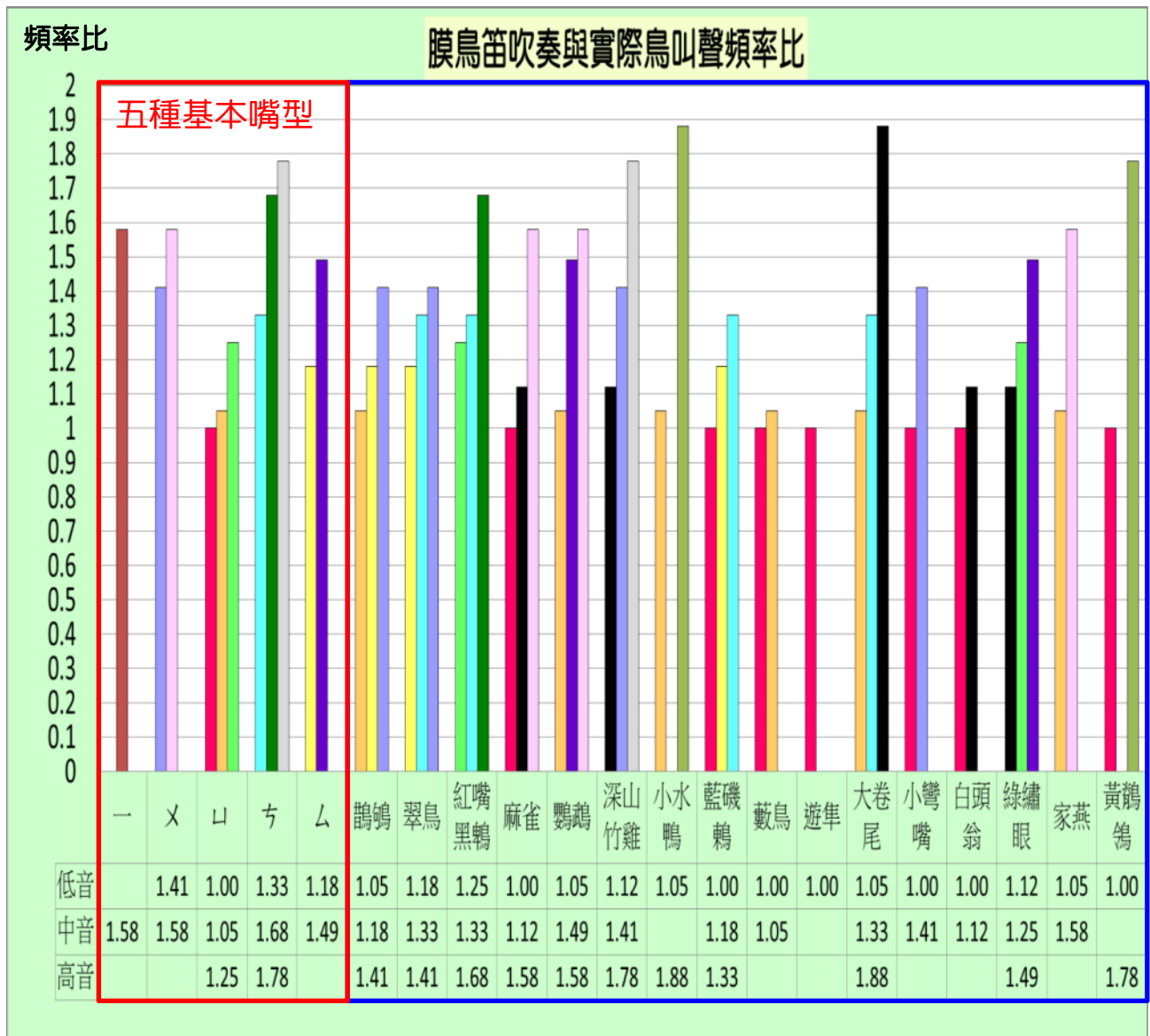
聲音名稱	燒開水哨聲	擦玻璃	牙醫氣動鑽頭	球鞋摩擦地板
音頻圖				
主要發聲頻率與音名	 6F#、7F、7B	 8C#、8B、9C	 8D#、8E、8B	 8Gb、9C

我們研究發現膜鳥笛吹高音頻時能夠發出以上特殊的音調。

五、鳥笛吹奏與實際鳥叫聲頻率比〔擬真度定義(Bio Tree Index：BTT)〕：

我們將實際鳥叫聲的發聲頻率找出後(表十七)，與實際的利用膜鳥笛吹奏的音頻(表二)進行分析比較證明是否真的能夠吹出擬真度高相似的鳥叫聲。

1. 利用音頻標準頻率表(圖一)的 C 大調當作基本頻率。
2. 將所測得的頻率除以 C 大調的頻率求出頻率比，製作成長條圖比較。
3. 以不同顏色長條圖表示基本嘴型各個頻率比。



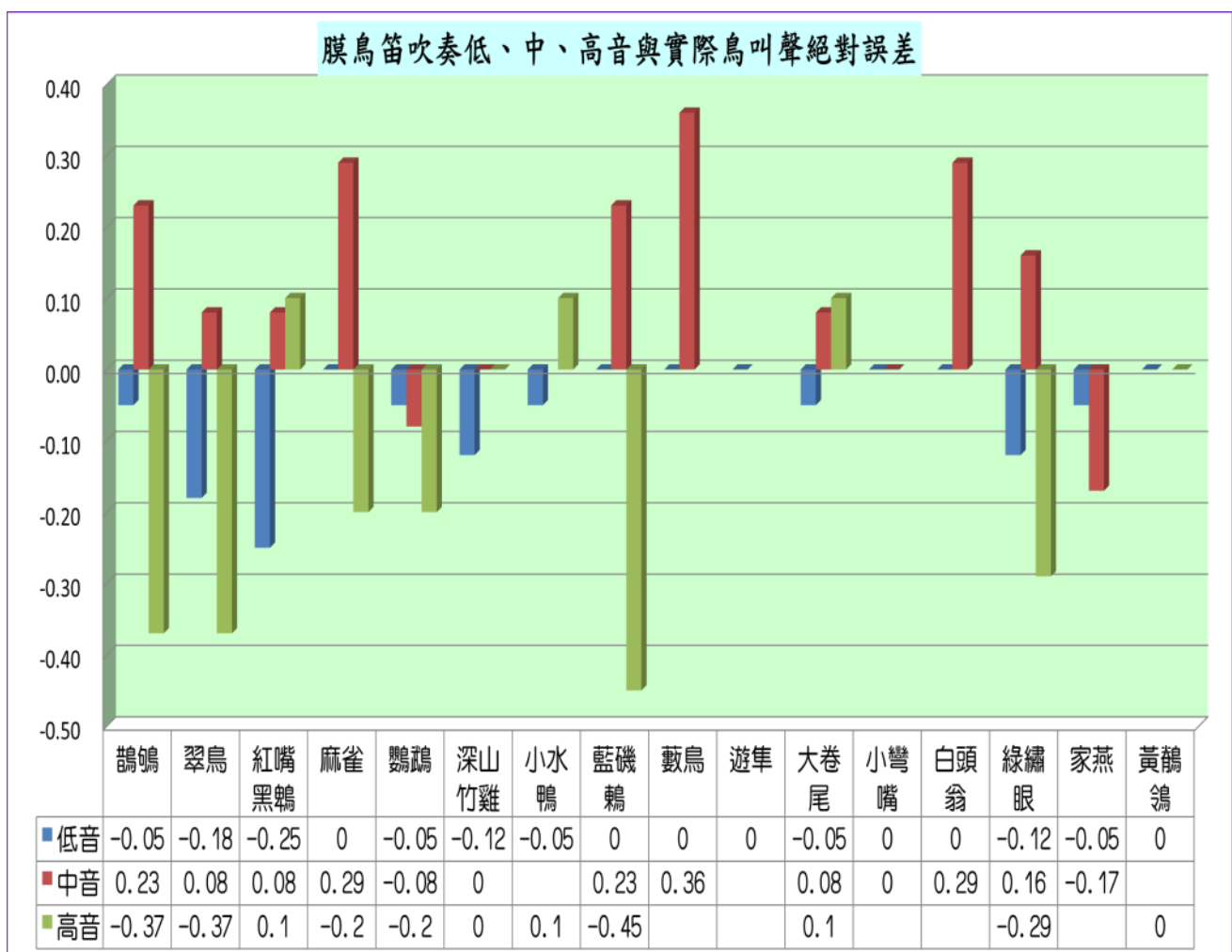
圖四 膜鳥笛吹奏基本音頻與實際鳥叫聲頻率比

★★從上列圖表中證明出有 10 種鳥類的叫聲都可以利用基本嘴型吹奏出，其他 6 種的鳥類叫聲，也具有極高的相似性，且大部分的發音一樣可以吹奏出來，結果符合我們推論，也印證膜鳥笛真的可以吹出擬真度高的鳥叫聲。

六、鳥笛吹奏與實際鳥叫聲誤差值計算：

我們利用實對照出的頻率比進行誤差值計算，分別取膜鳥笛可以吹奏的最低音頻率比 1.00、中音頻率比 1.41、高音頻率比 1.78，當作三個主頻值，求出絕對誤差與相對誤差來檢視擬真度的差異範圍。

1. **絕對誤差**：將表二測得膜鳥笛主頻值(X)一表十七鳥叫聲所測得的主頻值(Y)，若測量結果大於真值時，誤差為正，反之為負。絕對誤差 = 測量值-真值。公式為 $E = X - Y$ 。

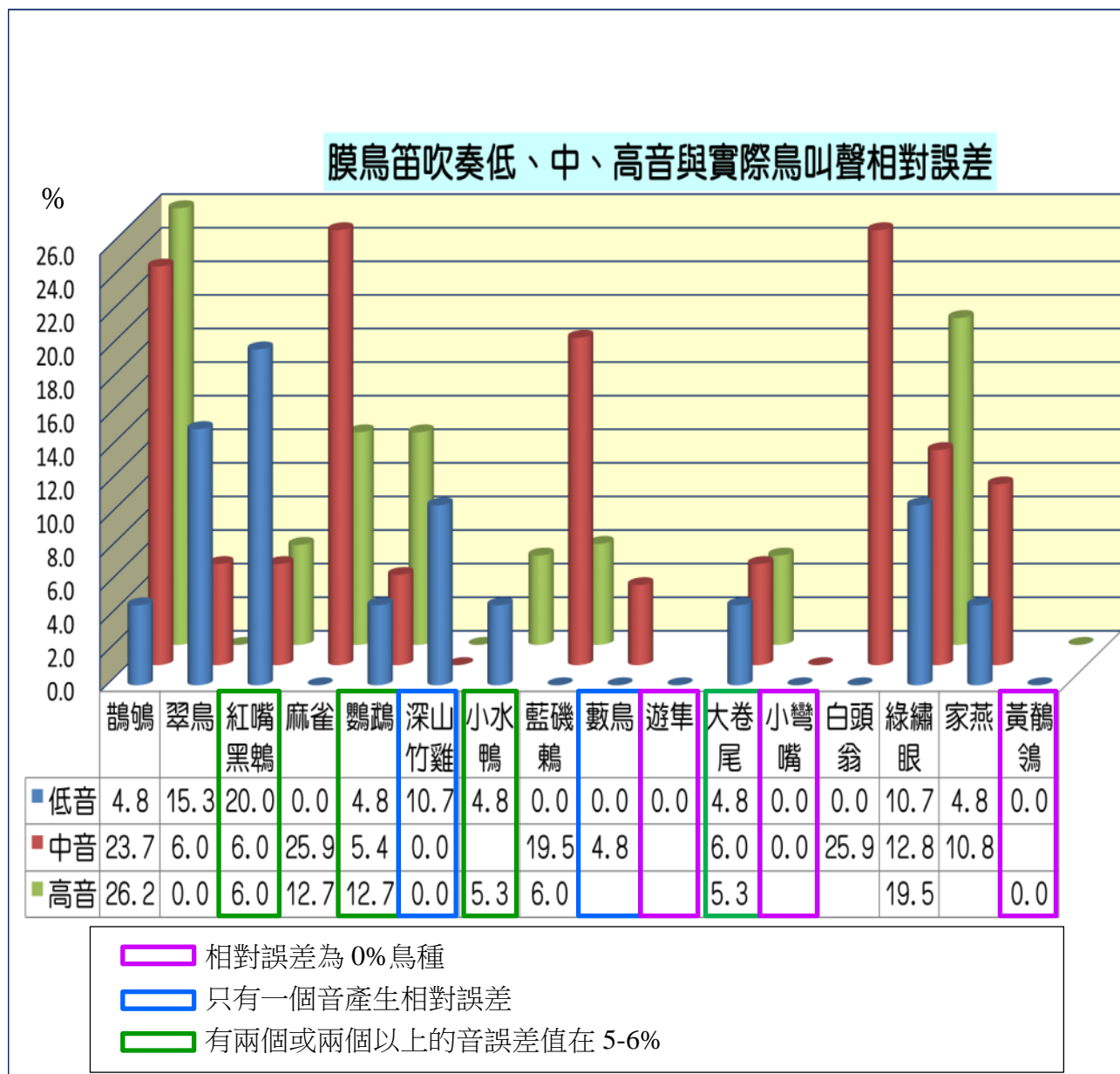


圖五 膜鳥笛吹奏低、中、高三個音頻與實際鳥叫聲絕對誤差值

- (1) 與膜鳥笛吹出最低音頻頻率比較，鳥類叫聲音頻偏高所以誤差為負值。
- (2) 中音頻部分變化區間較大，正負值的範圍以正值居多。
- (3) 高音頻則以負值居多，顯示鳥叫聲比實際吹奏音頻高，可由氣量通過振膜控制。

★膜鳥笛擬真度定義 Bio Tree Index (BTI)：BTI = 100% - 相對誤差絕對值的百分比。

2. 相對誤差：相對誤差= 絕對誤差÷真值。Er=|X-Y/Y| × 100%。



圖六 膜鳥笛吹奏低、中、高三個音頻與實際鳥叫聲相對誤差值

- (1) 與膜鳥笛吹出最低音頻比較：麻雀、藍磯鶇、藪鳥、遊隼、小彎嘴、白頭翁、黃鶺鴒等七種鳥類，都能夠在無誤差的情況下吹出正確的音頻。
- (2) 膜鳥笛中音頻部分深山竹雞與小彎嘴怎可以正確吹出音頻，翠鳥、紅嘴黑鶇、鸚鵡、藪鳥、大卷尾五種則誤差約在 5-6% 間。
- (3) 膜鳥笛高音頻則翠鳥、深山竹雞、黃鶺鴒三種可以正確吹出音頻，紅嘴黑鶇、小水鴨、藍磯鶇、大卷尾四種高音頻誤差約在 5-6% 間。
- (4) 依據圖五所知膜鳥笛可吹奏遊隼、小彎嘴、黃鶺鴒三種鳥類擬真相似度最高。

4-2：常見鳥笛聲音比較

一、研究想法：

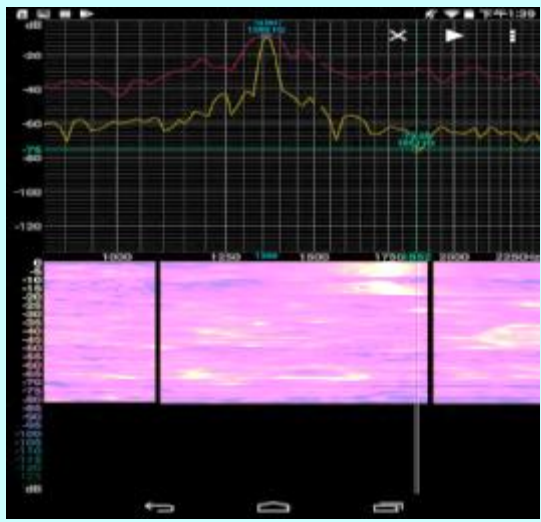
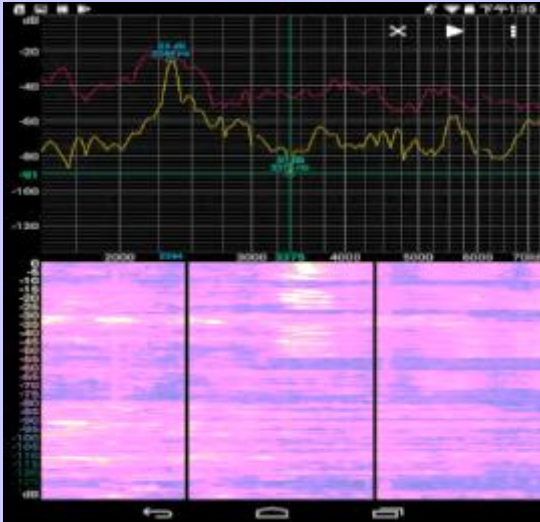
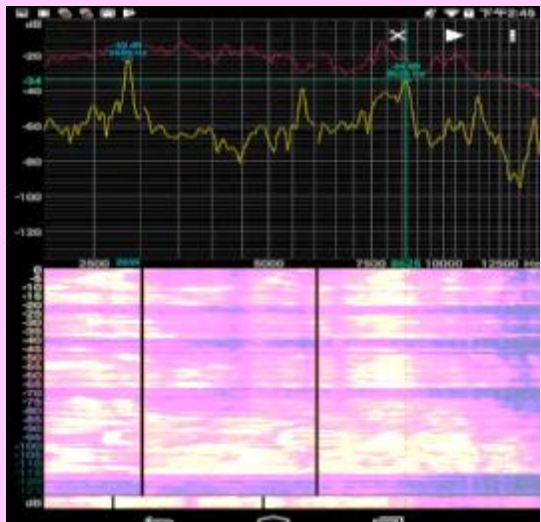
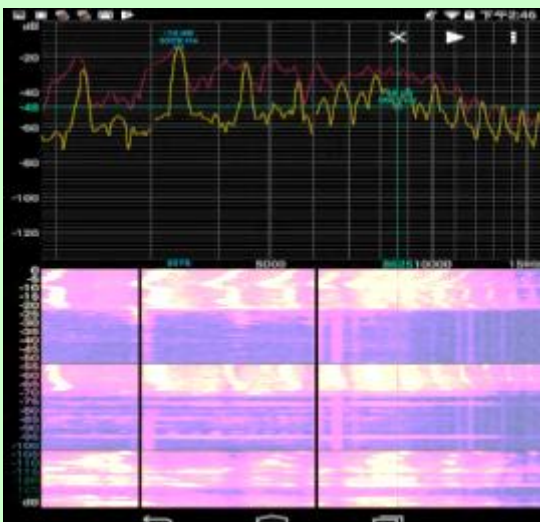
我們在網路上找到許多關於鳥笛的資料，整理後可分為四大類：單音鳥笛、吸管鳥笛、伸縮鳥笛與水鳥笛，於是我們將四類的鳥笛音頻紀錄，並且和膜鳥笛進行分析比較。

二、研究過程：

將市面上常見的四大類鳥笛分別吹奏後記錄音頻的圖形變化，根據音頻圖形分析比較。

三、研究結果：

1. 〔表十九〕四大類傳統非「膜」型鳥笛音頻圖形(參考文獻 2、3、6)

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		

2. ★☆亮點發現 ☆★：

- (1) 伸縮鳥笛可以利用拉桿改變音頻高低，只能吹單音；但是音色受限空氣柱大小。
- (2) 水鳥笛則是利用笛管中的水波產生振動時改變音頻變動，聲音較多變。
- (3) 吸管鳥笛聲音偏低；單音鳥笛兩者都只能發出固定音頻。
- (4) 比對實驗結果：
 - (A) 膜鳥笛同時具有水鳥笛聲音多變與伸縮鳥笛能改變高低音的雙特性。
 - (B) 膜鳥笛可同時吹出數個音頻類似鳥叫時；而非樂器發聲的單音。

4-3：製作最佳的膜鳥笛

一、研究想法與過程：

經過目的三和四的探討，我們找出製作膜鳥笛口含片最適合的材質，能夠產生不同聲音變化的最佳振動膜三種(氣球、人工腸衣、保鮮膜)，富有低、中、高三種不同音域的變化，內、外膜的最佳比例(1：3 與 2：5)，於是我們想大量的製作膜鳥笛，可讓更多人了解膜鳥笛有趣的奧秘。

二、研究結果：

1. 方便性：膜鳥笛體積小，不占空間，容易大量製作與攜帶。
2. 安全性：水鳥笛為陶瓷製品容易打破，伸縮鳥笛突起處會有戳傷危險，膜鳥笛則無此問題。
3. 環保性：利用舊紙杯、紙碗與紙餐盤，保鮮膜或者氣球就可以製作。
4. 低成本性：

〔表二十〕自製膜鳥笛成本比較分析

名稱	單音鳥笛	伸縮鳥笛	水鳥笛	自製膜鳥笛
價格(1個)	40元	25元	30元	約0.1元

5. 重複性：膜鳥笛可重複吹奏，使用後只要晾乾下次就可以再度吹奏。

柒、討 論

研究目的	研究問題	研究結果	原因探討
目的一：瞭解膜烏笛聲音的因素？	1-1	1.紙杯或紙碗的材質最適合製作膜烏笛口含片，尤其具有防水性的內層。 2.發聲基本嘴型共可分為「一」、「ㄨ」、「U」、「ㄣ」、「ㄩ」5種。 3.音頻變化從 6A 到最高 9D#。	1. 口含片需放入口中，能否防水為第一考量，試驗後以回收紙杯最適當(表一)。 2. 嘴內發聲不易觀察(圖三)，透過模型了解後，更能掌握發聲原理與聲音變化。(表二至表五)
	1-2	1.透過模擬裝置了解空氣量，由上顎與舌頭之間空腔所控制。 2.空氣量變化產生不同高低音的變動。 3.嘴唇開口大小產生不同音調頻率。 4.烏笛大小聲也可利用氣量控制。	
目的二：研究不同內膜材質振動與聲音變化的關聯？	2-1	1.過硬、不具彈性的材質無法產生振動發聲，透水性也會影響振動。 2.材質特性振動時直接影響音色。 3.氣流過大會讓振膜產生裂痕破裂。	1. 振動膜直接影響音色，膜烏笛不只是單音變化，材質特性更有極大差異。(表六) 2. 依照材質可以區分為低、中、高三個音域特色的音頻。(表七、表八) 3. 從表八分析起始音頻高低與材質本身厚薄程度相關。 4. 振動膜受空氣振動的影響容易破裂損壞而失聲，人工腸衣則不會。
	2-2	1.以氣球、人工腸衣、保鮮膜產生的聲音各具有特色及代表性。 2.人工腸衣是最佳振動膜製作材質。 3.氣球起始音頻範圍<2000Hz。 4.保鮮膜材質類：PE、PMP、PVC 起始音頻範圍>4000Hz。 5.紙張類：蛋糕紙、饅頭紙、烤盤紙也能產生音頻>2000Hz，但不耐吹。 6.手套類：起始音頻<4000Hz。	

目的三：膜鳥笛內、外圓最佳比例與音頻變化的關係？	3-1	1.口含片大小以半徑(R)1.4cm~1.6cm 最適當且伏貼。 2.口含片的切割比例以 1/2 圓為最佳。	1. 上顎空間有限，經過測試後發現能夠放入的空間平均大小以 R=1.5cm 半圓形片為最佳。(表九、表十) 2. 振動膜半徑影響聲音高低起始，振動體大，容易發聲，但音頻較低。(表十一、十二、十三) 3. 振動膜形狀會影響振動體本身也影響到音頻，製作比例需掌握準確。(表十四、表十五)
	3-2	1.振動膜半徑(r)從 0.5~1.1cm 均可吹出變化音頻。 2.內、外圓比例(r : R)，固定外圓半徑，以 1 : 3 與 2 : 5 為最佳製作比。	
	3-3	1.振動膜長度不能 > 或 < 內膜的 1/2 。 2.形狀會影響音頻的變化，圓形最容易切割製作，梯形也具有豐富變化。	
	3-4	從表十六研究結果得知，振動膜外利用紙圈環或鋁圈固定，可增加耐吹度 30%~40%。	
目的四：比對實際鳥類鳴叫製作出擬真度高、聲音多變的膜鳥笛？	4-1	1.常聽見的鳥叫聲，幾乎都能夠利用膜鳥笛發出相似的叫聲。 2.膜鳥笛可發出所列的 16 種鳥類叫聲，具有相似度高和擬真的特質。	1. 利用音頻圖找出不同振動膜材質所產生對應的不同鳥叫聲(表十七)。 〔如氣球→鴨叫；腸衣→鵲鴿〕。 2. 膜鳥笛還可發出四種特殊聲音音頻(表十八)。 3. 配合唇形變化與口內空氣量的控制就可產生高低不同的連續音頻，與真實鳥叫聲相似度極高。(圖四、五、六) 4. 考慮環保與實用的特性，改良傳統鳥笛缺點且製作低成本(表二十)。
	4-2	1.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。 2.聲音變化多不像其他鳥笛受限制。 3.從表十九音頻圖變化可看出與市面上販售各種鳥笛發聲結構與原理完全不同。 4.圖四的頻率比長條圖結果證明，膜鳥笛真的能夠吹出擬真度高相似的鳥叫聲，只要能掌握更多嘴形變化，必定能夠更加提高鳥笛的擬真性。	
	4-3	1.方便性：體積小，容易大量製作。 2.安全性：沒有打破割傷問題。 3.環保性：利用回收材質可製成。 4.低成本性：每個製作成本約 0.1 元。	

捌、結 論

自製膜鳥笛的 SWOT 分析

Strengths 優勢

- ◆ 聲音多變、體積小
- ◆ 製作方式容易、材質環保
- ◆ 自製成本低、取材容易
- ◆ 可取代市售傳統鳥笛、擬真度高

Weakness 劣勢

- ◆ 振動膜材質不夠環保
- ◆ 口含片防水性需要更加強化
- ◆ 容易被模仿大量複製生產
- ◆ 重複吹奏耐吹性需要再提升

Opportunities 機會

- ◆ 鳥笛已經變成童玩商品
- ◆ 取代一般伸縮鳥笛、水鳥笛
- ◆ 另創新型態的鳥笛模式
- ◆ 減少木材或竹材製作的消耗

Threats 威脅

- ◆ 市售鳥笛產品已經可以量產
- ◆ 需要時間推廣與改變既定印象
- ◆ 塑膠鳥笛製品低價促銷
- ◆ 太小年紀不適合吹奏

我們用環保的觀點與實際課程結合，希望能夠利用手邊的物品自製膜鳥笛，在實驗中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了解與應用：

1. 在膜鳥笛的構造中—口含片、振動膜、固定環三者互相影響，振動膜為發聲關鍵。
2. 口腔內上顎與舌頭空間的空氣量，影響聲音大小變化；改變嘴型與雙唇間空隙大小，會產生音色和音頻的變化。
3. 振動膜材質以人工腸衣聲音最具有特色與變化性，呈現出低、中、高區間變化音域。
4. 口含片半徑大小範圍在 1.4~1.6cm 間，以平均半徑 1.5cm 製作為最佳。
5. 振動膜半徑開口以 0.5cm 最佳，半徑越大，聲音越低，吹奏振動越不容易。
6. 口含片與振動膜兩者內、外圓半徑比例($r = 0.5\text{cm} : R = 1.5\text{cm}$)以 1 : 3 與 2 : 5 為最佳。
7. 振動膜形狀不影響聲音高低，主要受到振動膜開口大小限制，開口越大，聲音則越低。
8. 利用嘴型變化技巧可以吹奏出遊隼、小彎嘴、黃鸝、深山竹雞、藪鳥等鳥類的叫聲。
9. 製作方便，取材容易且環保，成本低製作一個約 0.1 元上下，可應用於課程上大量製作。
10. 實驗結果證明無論組成結構上、發聲部分與原理，都和市面上所販售的鳥笛完全不同。

玖、參考資料

1. 國小自然與生活科技五上單元四聲音的探討(2019)。台南市：南一出版社。4版。
2. 周柏成、周聖堯、吳旻駿、陳佳莘、陳佳妤、林羿廷(2006)。『笛』我不分---吸管笛之鳥笛製作研究。中華民國第48屆中小學科學展覽會作品。
3. 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。
4. 曾俊瑋、徐宇潔、張哲嘉(2010)。當號角響起~探究影響自製喇叭聲音之因素。中華民國第50屆中小學科學展覽會作品。
5. 張維純、余鈺庭、李宗澄、許哲瑋、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. 葉品妍、陳亮吟(2011)。水鳥笛發聲機制之研究。中華民國第51屆中小學科學展覽會作品。
7. 張以郡、康譽耀、楊茗婷、陳映霖、曾牧恩(2012)。號角響起—多多號角製作與聲音研究。中華民國第52屆中小學科學展覽會作品。
8. 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。
9. 楊庭堯、洪巧蓁、張景瀚、陳宥豪、葉佳昀(2013)。綠色寶笛。中華民國第53屆中小學科學展覽會作品。
10. 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。
11. Magic Bird Whistle(2020).取自 <https://magicbirdwhistles.com/>.
12. 市售鳥笛型錄(2020).取自 <https://feebee.com.tw/s/%E9%B3%A5%E7%AC%9B/>
13. APP 軟體 Spectroid(2020).取自 https://play.google.com/store/apps/details?id=org.intoorbit.spectrum&hl=zh_TW
14. APP 軟體 Sound Analyzer Free(2020).取自 https://play.google.com/store/apps/details?id=jp.nokubi.nobapp.soundanalyzer.free&hl=en_US

【評語】 082927

本研究運用容易取得的紙杯和各種材質當作笛膜，製作出簡單容易吹奏，聲音多變及擬真度高的膜鳥笛。多種素材的搭配，並找出最佳的內外圓比，製出有別於市場上鳥笛，很有創新性。對發聲基礎原理及音頻分析著力甚深。

摘要

自製的「膜」鳥笛有別於市面上常見四種已知傳統鳥笛的發聲結構與原理，研究中發現膜鳥笛的組成要件：1. 振動膜材質、2. 內、外圓比、3. 五大嘴型（共振腔）、與實際鳥叫音頻探討生物擬真度(BTI)；重要結果如下：

一、材質上：

1. 振動膜最佳材質為人工腸衣。
2. 口含片半徑需在 1.4~1.6cm 之間，依嘴巴大小調整。
3. 內、外圓半徑比例 (r : R) 以 1:3 與 2:5 最佳，外圓 R=1.5cm 最適合一般上顎空間。
4. 振動膜 (r) 以 0.5~0.6cm 為最佳，半徑越大，音頻愈低。

二、吹奏嘴型上：

1. 上顎與舌頭空間的空氣量影響聲音高低及音頻變化。
2. 改變嘴型與雙唇間空隙，會產生響度和音調改變。

三、應用上：

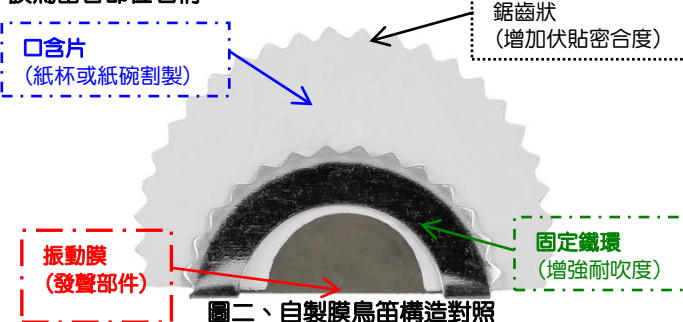
1. 4-2 實驗結果印證可吹出擬真度 (BTI) 高的鳥類叫聲。
2. 具水鳥笛聲音多變與伸縮鳥笛改變音高的雙特性。

壹、研究動機

鳥笛是最常被拿來當作模擬鳥叫聲的樂器，市面上常見的有單音鳥笛、吸管鳥笛、伸縮鳥笛與水鳥笛等四種，在所學過的聲音單元中就有教導簡易的伸縮鳥笛製作；但是我們並不滿足現有的鳥笛，總覺得擬真度不足和娛樂性居多；於是我們想利用手邊容易取得的紙杯和各種材質當作笛膜，要製作出簡單容易吹奏，聲音多變及擬真度高的膜鳥笛。

貳、名詞解釋

膜鳥笛各部位名稱：



參、研究目的

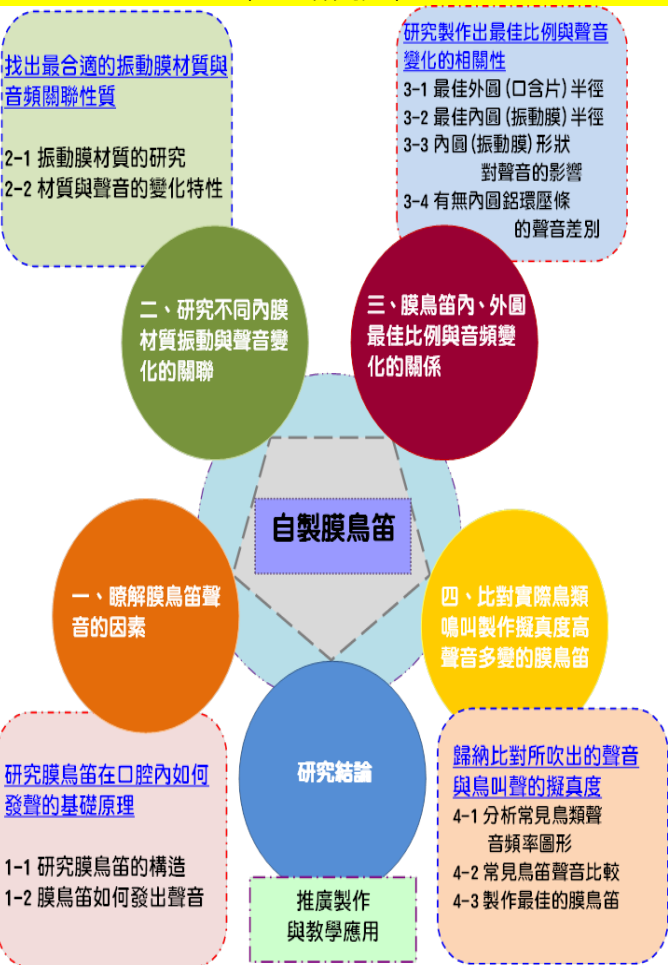
想研究如何製作出聲音多變的膜鳥笛，所以列了下列四個研究目的與相關的問題進行探究：

- 目的一：瞭解膜鳥笛聲音的因素。
- 目的二：研究不同內膜材質振動與聲音變化的關聯。
- 目的三：膜鳥笛內、外圓最佳比例與音頻變化的關係。
- 目的四：比對實際鳥類鳴叫製作出擬真度高、聲音多變的膜鳥笛。

肆、研究設備與器材

重複性物品	消耗性物品	
1. 數位相機	1. 氣球	6. P M P 保鮮膜
2. 割圓器	2. P E 手套	7. P V C 保鮮膜
3. 平板電腦	3. 橡膠手套	8. 手扒雞手套
4. 熱熔槍	4. 乳膠手套	9. 人工腸衣
5. 紙杯、紙碗	5. P E 保鮮膜	10. 夾鏈袋

伍、研究過程



陸、研究結果

目的一：瞭解膜鳥笛聲音的因素？

1-1：研究膜鳥笛的構造？

研究結果：(表一) (一)材料分析：符合製作口含片材料

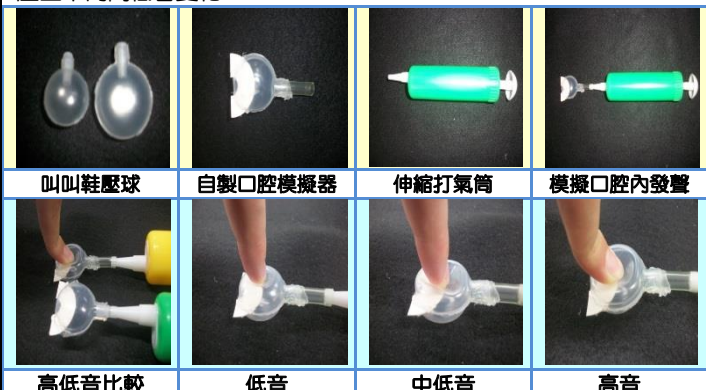
實驗項目	鋁箔包	紙盒包	紙碗	紙杯	防水相紙
說明	1. 紙佔75% 2. 聚乙烯 (PE) 佔 20% 具有防水功能。 3. 鋁箔佔5%	1. 紙佔80% 2. 聚乙烯 (PE) 等多種聚合物材質 佔 20%具有防水功能。	1. 紙 2. 聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、低密度聚乙烯 (LDPE)	1. 紙 2. 聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、低密度聚乙烯 (LDPE)	1. 紙 2. 聚乙烯醇 (PVA) 3. 二氧化碳 4. 防水PE塗層
材料照片					
製作結果	偏硬、不伏貼	硬不伏貼	◎軟、伏貼	◎軟 伏貼	(X)、不使用、有毒性

(表二) (二)發聲嘴型：符合膜鳥笛吹奏時的發聲基本嘴型共可分為「一」、「ㄨ」、「U」、「ㄣ」、「ム」5種

嘴型名稱	「一」型	「ㄨ」型	「U」型	「ㄣ」型	「ム」型
說明	發出「一」的嘴型	發出「ㄨ」的嘴型	發出「U」的嘴型	發出「ㄣ」的嘴型	發出「ム」的嘴型
嘴型照片					
音頻照片					
發聲音名	6G#、7G#、7Ab	6F#、6Ab、7Ab	6Db、6E、6C	6Bb、7A、8Fb	6G、7G、9D#

1-2：膜鳥笛如何發出聲音？

研究結果：(表三、四)利用手指按壓改變壓球內的空氣(模擬口腔內)，產生不同高低音變化



(表五) 膜鳥笛放置口腔內示意圖



目的二：研究不同內膜材質振動與聲音變化的關係

2-1 振動膜材質的研究？

研究結果：(表六) 1. 將實驗結果整理如下表：

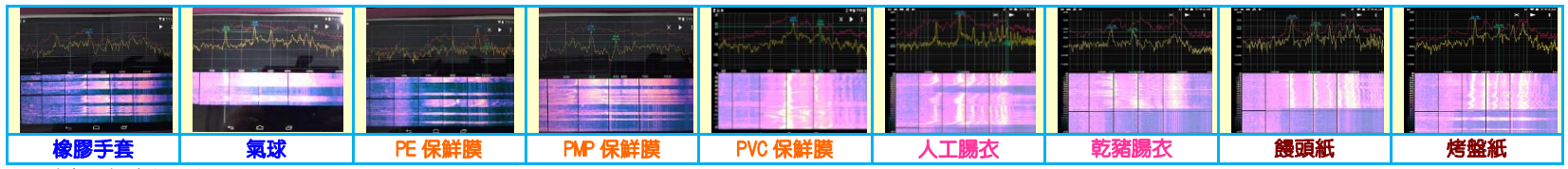
材質	手扒雞手套	PE 手套	乳膠手套	橡膠手套	氣球	PE 保鮮膜
可否吹奏	可	可	可	可	可	可
材質	PMP 保鮮膜	PVC 保鮮膜	烘焙紙	瓶蓋內膜	軟糖包裝紙	人工腸衣
可否吹奏	可	可	否	否	否	可

2. 我們發現材質薄較易產生振動發出聲音。
3. 具有彈性的材質會產生較固定的振動而發聲，音頻區間規律。
4. 材質過硬或不具彈性則不易產生振動而發聲。

2-2 材質與聲音的變化特性？

研究結果：(表七) 十二種材質相同嘴型「ム」型發聲所產生音頻圖

手扒雞手套	PE 手套	乳膠手套



2. (表八) 音頻變化分析說明



- (1) 起始音頻範圍<4000Hz: 手扒雞手套、PE 手套、乳膠手套、橡膠手套、烤盤紙
- (2) 起始音頻範圍>4000Hz: PE 保鮮膜、PMP 保鮮膜、PVC 保鮮膜
- (3) 起始音頻範圍<2000Hz: 氣球、饅頭紙
- (4) 起始音頻範圍 2000Hz~4000Hz: 人工腸衣、乾豬腸衣(波形穩定、變化多)

3. 從變動的音頻波形圖分析各種材質吹出聲音的高低與頻率範圍。 4. 不同材質波形顯示音色受到材質特性影響。

目的三：膜鳥笛內、外圓最佳比例與音頻變化的關係

3-1：最佳外圓(口含片)半徑？

研究結果：1. (表九) 不同半徑切割的外圓(口含片)，口腔模型與實際大小比例相同

半徑長度	0.9 cm	1.0 cm	1.1 cm	1.2 cm	1.3 cm	1.4 cm	1.5 cm	1.6 cm	1.7 cm	1.8 cm	1.9 cm	2.0 cm
照片圖示												
測試結果	X、太小	X、太小	X、太小	X、太小	X、偏小	○、最符合	○、最符合	○、最符合	○、卡住	X、過大	X、過大	X、過大

2. (表十) 以五種比例切割的口含片

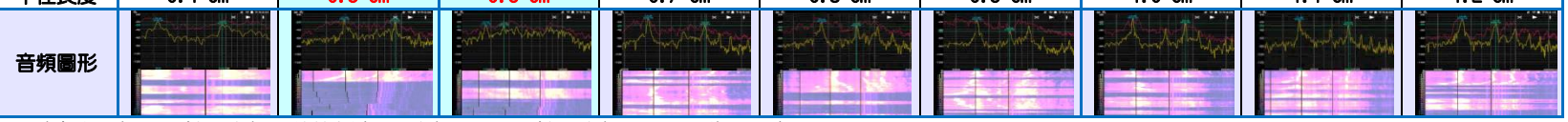
切割比例	1 / 4	1 / 3	1 / 2	2 / 3	3 / 4
照片圖示					
測試結果	X、太小	X、偏小	○、適合	X、偏大	X、太大

3-2：最佳內圓(振動膜)半徑？

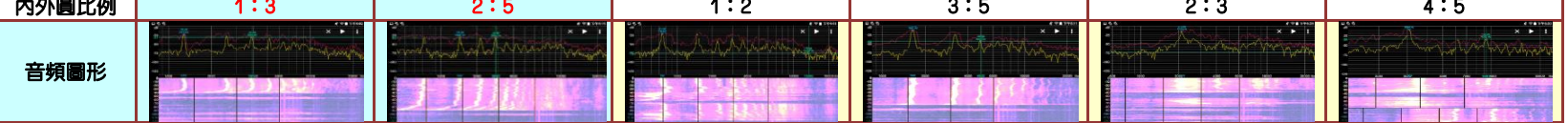
研究結果：(表十一) 1. 不同半徑切割內圓(振動膜)大小，外膜半徑 1.5 cm

半徑長度	0.4 cm	0.5 cm	0.6 cm	0.7 cm	0.8 cm	0.9 cm	1.0 cm	1.1 cm	1.2 cm	1.3 cm
照片圖示										

2. (表十二) 不同半徑切割內圓(振動膜)震動音頻(材質 PE 保鮮膜，口型△型)



3. (表十三) 內、外圓半徑最佳比例(內圓半徑 0.5cm:外圓半徑 1.5cm 即為 1:3)



從 1:3 到 3:5 音頻都能夠產生豐富的變化，尤其以 1:3 與 2:5 最佳配置比例。

3-3：內圓(振動膜)形狀對聲音的影響？

研究結果：(表十四) 1. 改變膜鳥笛振動膜涵蓋比例

比例	正常比例	凹 2/3	凹 1/2	(X) 凹 1/3	凸 1/3	凸 1/2
照片						
音頻圖						

2. (表十五) 四種形狀振動膜音頻變化

形狀	長方形	三角形	正梯形	倒梯形
照片				
音頻圖				

3-4：有無內圓圈環壓條的聲音差別？

研究結果：(表十六) 強化振動膜耐久度結果



遇上問題：(1) 鋸齒狀鋁環不易切割剪裁，吹奏會有割傷口腔問題。
(2) 固定小圓環切割容易，也能夠提升耐久度，沒有割傷問題。

目的四：比對實際鳥類鳴叫製作出擬真度高、聲音多變的膜鳥笛

4-1：分析常見鳥類聲音頻率圖形

研究結果：☆☆結果特殊發現☆☆ (表十八) 膜鳥笛特殊聲音音頻圖形

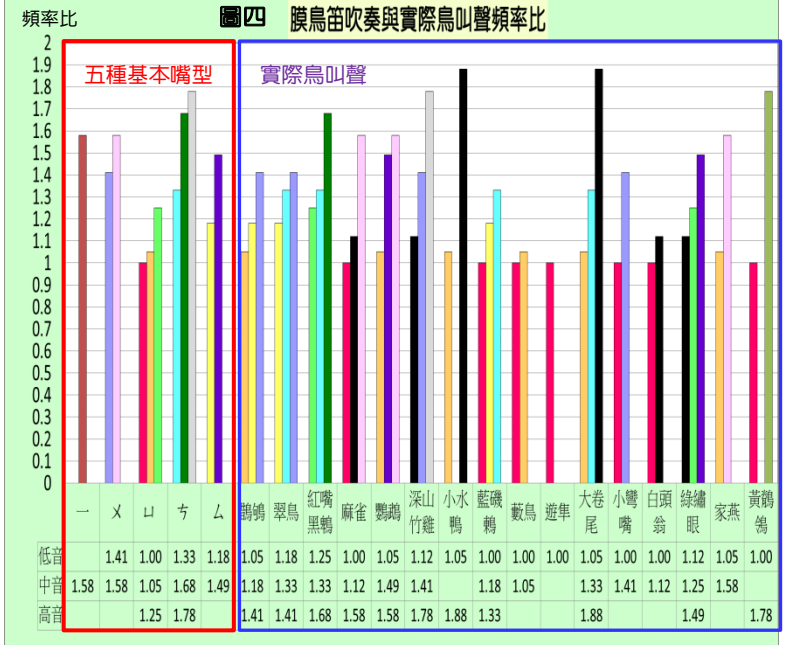
聲音名稱	燒開水哨聲	擦玻璃	牙醫氣動鑽頭	球鞋摩擦地板
音頻圖				
主要發聲頻率	6F#、7F、7B	8C#、8B、9C	8D#、8E、8B	8Gb、9C

◎我們研究發現膜鳥笛吹高音頻時能夠發出以上特殊的音調。

鳥笛吹奏與實際鳥叫聲頻率比 (擬真度定義(Bio Tree Index: BTI)):

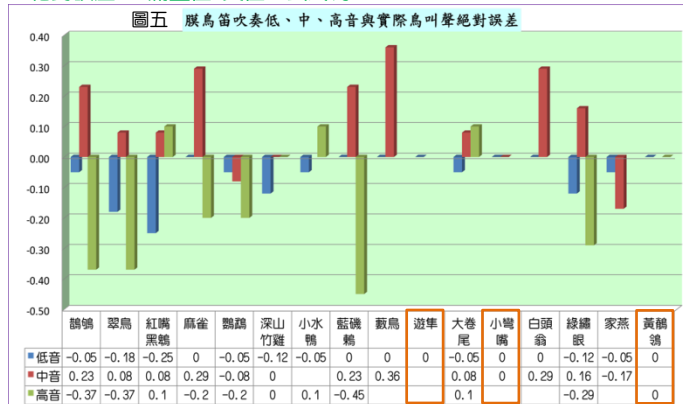
我們將實際鳥叫聲的發聲頻率找出後(表十七)，與實際的利用膜鳥笛吹奏的音頻(表二)進行分析比較證明是真正的能夠吹出擬真度高相似的鳥叫聲。

1. 利用音頻標準頻率表(圖一)的C大調當作基本頻率。
2. 將所測得的頻率除以C大調的頻率求出頻率比，製成長條圖比較。
3. 以不同顏色長條圖表示基本嘴型各個頻率比。



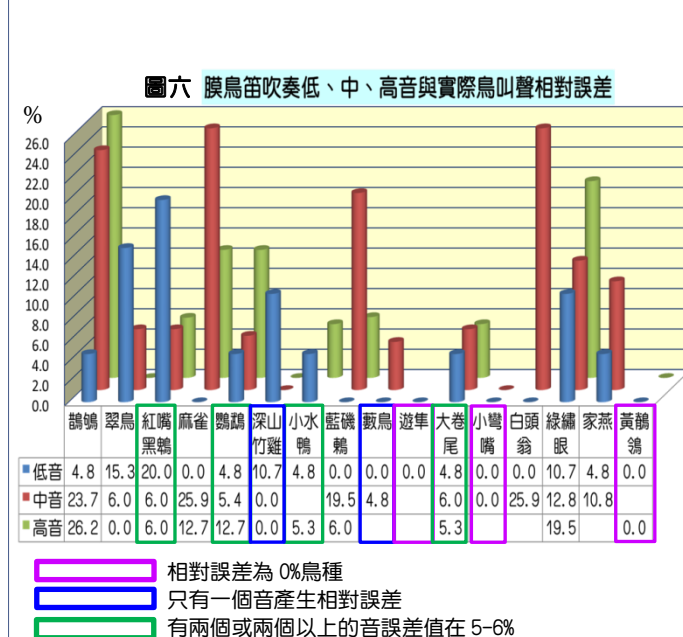
☆☆從上列圖表中證明出有 10 種鳥類的叫聲都可利用基本嘴型吹奏出，其他 6 種的鳥類叫聲，具有極高的相似性符合推論，印證膜鳥笛真的可吹出擬真度高的鳥叫聲。

1. **絕對誤差**：將(表二)測得膜鳥笛主頻值(X)－(表十七)鳥叫聲所測得的主頻值(Y)，若測量結果大於真值時，誤差為正，反之為負。
絕對誤差 = 測量值-真值。公式為 E = X-Y。



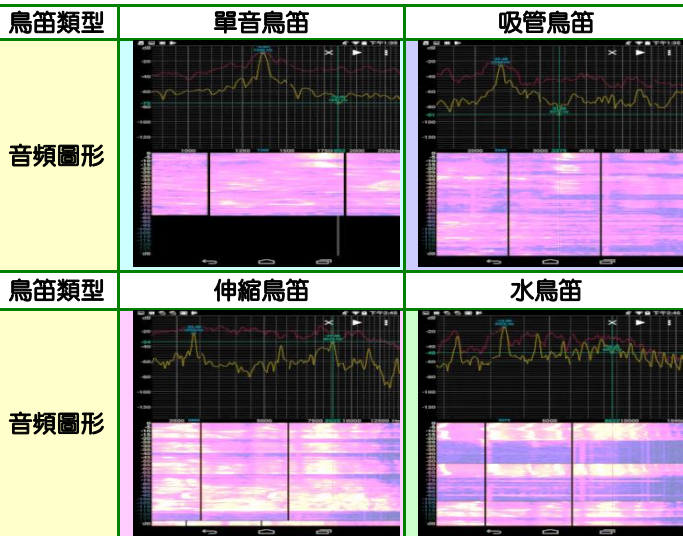
★**膜鳥笛擬真度定義 Bio Tree Index (BTI) : BTI = 100% - 相對誤差絕對值的百分比。**

2. **相對誤差**：相對誤差=絕對誤差÷真值。Er = | (X-Y) / Y | × 100%。



4-2：常見鳥笛聲音比較

研究結果：(表十九)四大類鳥笛音頻圖形



☆☆亮點發現☆☆：

- (1) 伸縮鳥笛利用拉桿改變音頻高低，只能吹單音；音色受限空氣柱大小。
- (2) 水鳥笛則是利用管中的水波產生振動時改變音頻變動，聲音多變。
- (3) 吸管鳥笛聲音偏低；單音鳥笛兩者都只能發出固定音頻。
- (4) 比對實驗結果：
 - (A) 膜鳥笛同時具有水鳥笛聲音多變與伸縮鳥笛能改變高低音的雙特性。
 - (B) 膜鳥笛可同時吹出數個音頻類似鳥叫時；而非樂器發聲的單音。

4-3：製作最佳的膜鳥笛

研究結果：1. 方便性、2. 安全性、3. 環保性、4. 低成本性(表二十)

名稱	單音鳥笛	伸縮鳥笛	水鳥笛	自製膜鳥笛
價格(1個)	40元	25元	30元	約0.1元

5. 重複性：膜鳥笛可重複吹奏，使用後晾乾下次就可以再度吹奏。

柒、討論

研究結果討論整理如下：

研究目的	研究問題	研究結果	原因探討
目的二：瞭解膜鳥笛聲音的關係	1-1	1. 紙杯或紙碗材質最適合製作膜鳥笛口含片，具有防水性的內層。 2. 發聲基本嘴型可分為「一」、「X」、「U」、「ち」、「ム」5種。 3. 音頻變化從 6A 到最高 9D#。	1. 口含片需放入口中，能否防水為第一考量，試驗後以回收紙杯最適宜(表一)。
	1-2	1. 透過模擬裝置了解空氣量，由上顎與舌頭之間空隙所控制。 2. 空氣量變化產生高低音的變動。 3. 嘴唇開口大小產生音調頻率。 4. 鳥笛大小聲可利用氣量控制。	2. 嘴內發聲不易觀察(圖三)，透過模型了解後，更能掌握發聲原理與聲音變化。(表二至表五)

目的二：研究不同內膜材質振動與聲音變化的關係	2-1	2-2	目的三：膜鳥笛內、外圍最佳比例與音頻變化的關係	3-1	3-2	3-3	3-4	目的四：比對實際鳥類嘴叫聲作出擬真度高、聲音多變的膜鳥笛	4-1	4-2	4-3						
2-1	1. 過硬、不具彈性的材質無法產生振動發聲，透水性也會影響振動。 2. 材質特性振動時直接影響音色。 3. 氣流過大會讓振膜產生裂痕破裂。	1. 以氣球、人工腸衣、保鮮膜產生的聲音具有特色及代表性。 2. 人工腸衣是最佳振動膜製作材質。 3. 氣球起始音頻範圍<2000Hz。 4. 保鮮膜材質類：PE、PMP、PVC 起始音頻範圍>4000Hz。 5. 紙張類：蛋糕紙、饅頭紙、烤盤紙能產生音頻>2000Hz，不耐吹。 6. 手套類：起始音頻<4000Hz。	3-1	1. 口含片大小以半徑(R)1.4cm~1.6cm 最適宜且伏貼。 2. 口含片切割比例以 1/2 圓為最佳。	3-2	1. 振動膜半徑(r)從 0.5~1.1cm 均可吹出變化音頻。 2. 內、外圍比例(r : R)，固定外圍半徑，以 1:3 與 2:5 為最佳製作比。	3-3	1. 振動膜長度不能>或<內膜的 1/2。 2. 形狀會影響音頻的變化，圓形最容易切割製作，梯形也具有豐富變化。	3-4	從表十六研究結果得知，振動膜外利用紙圍環或鉛圍固定，可增加耐吹度 30%~40%。	4-1	1. 常聽見的鳥叫聲，幾乎都能夠利用膜鳥笛發出相似的叫聲。 2. 膜鳥笛可發出所列的 16 種鳥類叫聲，具有相似度與擬真的特質。	4-2	1. 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。 2. 膜鳥笛吹奏聲音變化多，不像其他鳥笛聲音變化受限制。 3. 從表十九音頻圖變化，可看出與市面上販售各種鳥笛發聲結構與原理完全不同。 4. 圖四的頻率比長條圖結果證明，膜鳥笛真的能夠吹出擬真度高相似的鳥叫聲，只要能掌握更多嘴形變化，必定能夠更加提高鳥笛擬真性。	4-3	1. 方便性：體積小易大量製作。 2. 安全性：沒有打破割傷問題。 3. 環保性：利用回收材質製成。 4. 低成本：每個製作成本約 0.1 元。	1. 利用音頻圖找出不同振動膜材質所產生對應的不同鳥叫聲(表十七)。(如氣球→鴨叫；腸衣→鵲鴝) 2. 膜鳥笛還可發出四種特殊聲音音頻(表十八)。 3. 配合唇形變化與口內空氣量的控制就可產生高低不同的連續音頻，與真實鳥叫聲相似度極高。(圖四、五、六) 4. 考慮環保與實用的特性，改良傳統鳥笛缺點且製作低成本(表二十)。

捌、結論

自製膜鳥笛的 SWOT 分析

Strengths 優勢

- ◆ 聲音多變、體積小
- ◆ 製作方式容易、材質環保
- ◆ 自製成本低、取材容易
- ◆ 可取代市售傳統鳥笛、擬真度高

Weakness 劣勢

- ◆ 振動膜材質不夠環保
- ◆ 口含片防水性需要更加強化
- ◆ 容易被模仿大量複製生產
- ◆ 重複吹奏耐吹性需要再提升

Opportunities 機會

- ◆ 鳥笛已經變成童玩商品
- ◆ 取代一般伸縮鳥笛、水鳥笛
- ◆ 另創新型態的鳥笛模式
- ◆ 減少木材或竹材製作的消耗

Threats 威脅

- ◆ 市售鳥笛產品已經可以量產
- ◆ 需要時間推廣與改變既定印象
- ◆ 塑膠鳥笛製品低價促銷
- ◆ 太小年紀不適合吹奏

我們用環保的觀點與實際課程結合，希望能夠利用手邊的物品自製膜鳥笛，在實驗中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了解與應用：

1. 在膜鳥笛的構造中—口含片、振動膜、固定環三者互相影響，振動膜為發聲關鍵。
2. 口腔內上顎與舌頭空間的空氣量，影響聲音大小變化；改變嘴型與雙唇間空隙大小，會產生音色和音頻的變化。
3. 振動膜材質以人工腸衣聲音最具有特色與變化性，呈現出低、中、高區間變化音域。
4. 口含片半徑大小範圍在 1.4~1.6cm 間，以平均半徑 1.5cm 製作為最佳。
5. 振動膜半徑開口以 0.5cm 最佳，半徑越大，聲音越低，吹奏振動越不容易。
6. 口含片與振動膜兩者內、外圍半徑比例(r = 0.5cm : R = 1.5cm)，以 1:3 與 2:5 為最佳。
7. 振動膜形狀不影響聲音高低，主要受到振動膜開口大小限制，開口越大，聲音則越低。
8. 利用嘴型變化技巧可以吹奏出遊隼、小鸞嘴、黃鶉、深山竹雞、藍鶉等鳥類的叫聲。
9. 製作方便，取材容易且環保，成本低製作一個約 0.1 元上下，可應用於課程上大量製作。
10. 實驗結果證明無論組成結構上、發聲部分與原理，都和市面上所販售的鳥笛完全不同。

玖、參考資料

1. 張維純、余鈺庭、李宗澄、許哲瑋、翁英傑、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。
2. 陳舜安、王皓翔、吳昉暉、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。
3. 高毓斌、蔡宜真、蔡昉修、林昱安、陳于謙、高國維(2016)。鳥鳴驚啼—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。