

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科

第三名

080818

鳥鳴鶯啼-探討鳥笛的製作與推廣

學校名稱：高雄市鳳山區鳳山國民小學

作者：	指導老師：
小六 高珮毓	鄭雯文
小六 蔡宜真	萬信賢
小六 蔡昀修	
小六 林昱安	
小六 陳于謙	
小四 高國維	

關鍵詞：頻率、響度、音調

摘要

從六上翰林「聲音與樂器」我們學習到製作樂器的方法，加上看到路邊賣的「水鳥笛」及為了想「引鳥出洞」而動手利用竹子來製作不同的鳥笛。本實驗是從鳥笛的結構，探討吹嘴(長度、角度、位置)、竹體(長度、內直徑大小、厚薄)、氣窗(形狀、尖銳度)三者與頻率、響度的關係，以及三者彼此互動的關係。研究顯示，吹嘴內直徑與氣窗內直徑相同，吹嘴黏貼處 0.9cm、角度 30 度吹出的頻率最大。竹體外殼越薄，頻率越大。在鳥笛的應用情形，有材質不同的鳥笛、拉桿鳥笛、指孔鳥笛。材質以 PVC 水管頻率最大，紙捲筒最小。拉桿鳥笛上下拉動空氣柱長短，指孔鳥笛控制指孔面積大小，都能吹出美妙的樂曲。最重要的是「急難救助拉拉笛」的發明，更是令人感到驚訝！

壹、研究動機

有一天，同學在菜市場附近，向一位排灣族的老闆購買了一個神奇的鳥笛，他向同學炫耀著鳥笛會發出鳥的叫聲，就趕緊加入一些水，經過測試之後，竟然會發出群鳥的叫聲，心想，**鳥笛是怎樣發出叫聲來？**剛好，在六上翰林自然課本「聲音與樂器」裏，用吸管做出吸管排笛，給了我們一些靈感。對了！我們是不是可以自己做出一個鳥笛，來引鳥出來呢？用什麼材料呢？**經過本班(音樂班)討論之後，有同學提出「榔笛」是用竹子做成的**，也曾經在澄清湖看到很多的竹子，而且竹子可以裝水。後來，大家就到澄清湖去踏青，找尋竹子與鳥的蹤跡。經過大家絞盡腦汁設計，終於想出一種能發出聲音的鳥笛，並在老師的指導下，完成了各種不同的鳥笛。

貳、研究目的

- 一、探討鳥笛構造-「吹嘴」、「氣窗」、「竹體」，對音頻、響度的影響。
- 二、探討材料、空氣柱、指孔，對鳥笛應用的情形。
- 三、探討鳥笛在生活上的應用-「緊急拉拉笛」。

參、文獻探討

一、中華民國第 49 屆科展生活應用科第二名-「神奇多多笛」

製作時的探討因素	以養樂多瓶為主體，研究吹管(粗細、角度)、吹孔(直徑、位置)、按孔(垂直、水平)對聲音頻率的影響。
可再探究內容	「吹嘴長度」、「氣窗形狀」、「本體厚薄」、「吹嘴、氣窗、養樂多瓶的三者互動」、「斜向按孔」、「材質比較」、「生活應用」、「響度的測試」
比較差異	我們改採用竹子做為本體，可研究不同厚薄造成的影響，同時比較氣窗形狀改變，以及不同材質的烏笛，其頻率與響度變化，並找出斜向按孔的音階，最後也在製作拉桿烏笛時，發明「緊急發光拉拉笛」做為烏笛的應用。

二、中華民國第 53 屆科展生活應用科第三名-「綠色寶笛」

製作時的探討因素	以寶特瓶為主體，研究吸管的口徑、角度、開口形狀、氣窗形狀與大小、指孔面積大小、指孔位置(垂直、水平)、指孔間距，對聲音頻率的影響。
可再探究內容	「吹嘴長度」、「吸管黏貼位置」、「寶特瓶厚薄」、「吹嘴、氣窗、寶特瓶的三者互動」、「斜向按孔」、「生活應用」、「響度的測試」
比較差異	「綠色寶笛」利用寶特瓶做為本體，與「神奇多多笛」同樣為塑膠材質，以致於無法做出本體厚薄與吹嘴厚薄的影響。

肆、研究設備及器材

- 一、箭竹(吹嘴)、桂竹、刺竹(竹體)、鋸子(大、小)、鑽孔機、柴刀、游標尺、砂紙、竹刀、特製鑽孔機、固定鐵架、消毒水、樹脂、調音器及軟體、滴管、吸管、銅線、強力磁鐵、LED 燈等。
- 二、竹子來源是颱風過後倒下的枯竹、環保回收的竹掃把等。
- 三、量測工具：分貝計(可量測範圍：30db~130db)、電腦頻率測量軟體 AP Tuner 3.08、手機頻率測量 APP-Datuner Lite。



圖 1：製作工具



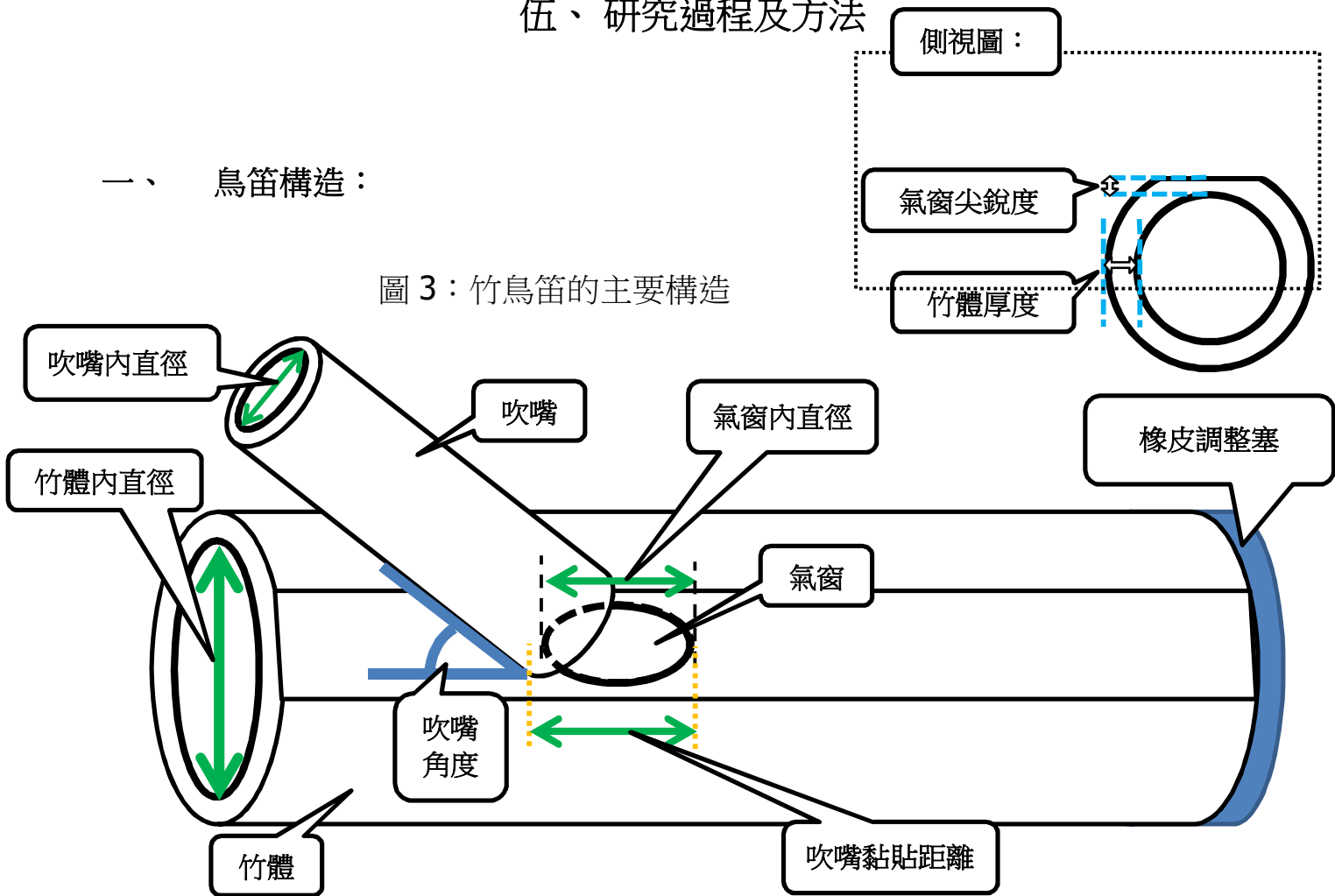
圖 2：測量環境

量測時為了增加數據準確性，我們利用巧拼，搭成一個可以隔絕聲音的平台。同時使用電腦與手機量測，可用來驗證數據準確性。每次實驗吹 5~7 次，手機與電腦軟體可測得聲音的音名(音高)、頻率，取平均值來做紀錄。而響度則利用分貝計來測量，由於分貝與吹氣力道有關，我們便取最高值做為該隻鳥笛能吹出的最大聲音做為紀錄。

伍、研究過程及方法

一、鳥笛構造：

圖 3：竹鳥笛的主要構造



二、 製作方法：

(一) 採集竹體，鋸切磨平。

採集如圖4的回收竹子，消毒並裁切所需長度。避免刺到，利用砂紙將竹子表面磨平，如圖5。



↑圖4: 撿拾環保回收竹掃把



↑圖5: 利用砂紙磨竹體。

(二) 裁切外皮，鑽孔修飾。

裁切一段外皮，並在上面鑽氣窗孔，如圖6。



←圖6: 利用劈刀將竹體切薄一小塊。

(三) 鋸切吹嘴，磨平修飾。

將箭竹裁切適當長度做吹嘴，並磨出吹嘴較度，如圖7。

→圖7: 用箭竹做吹嘴。



(四) 黏貼試吹，測試結果。

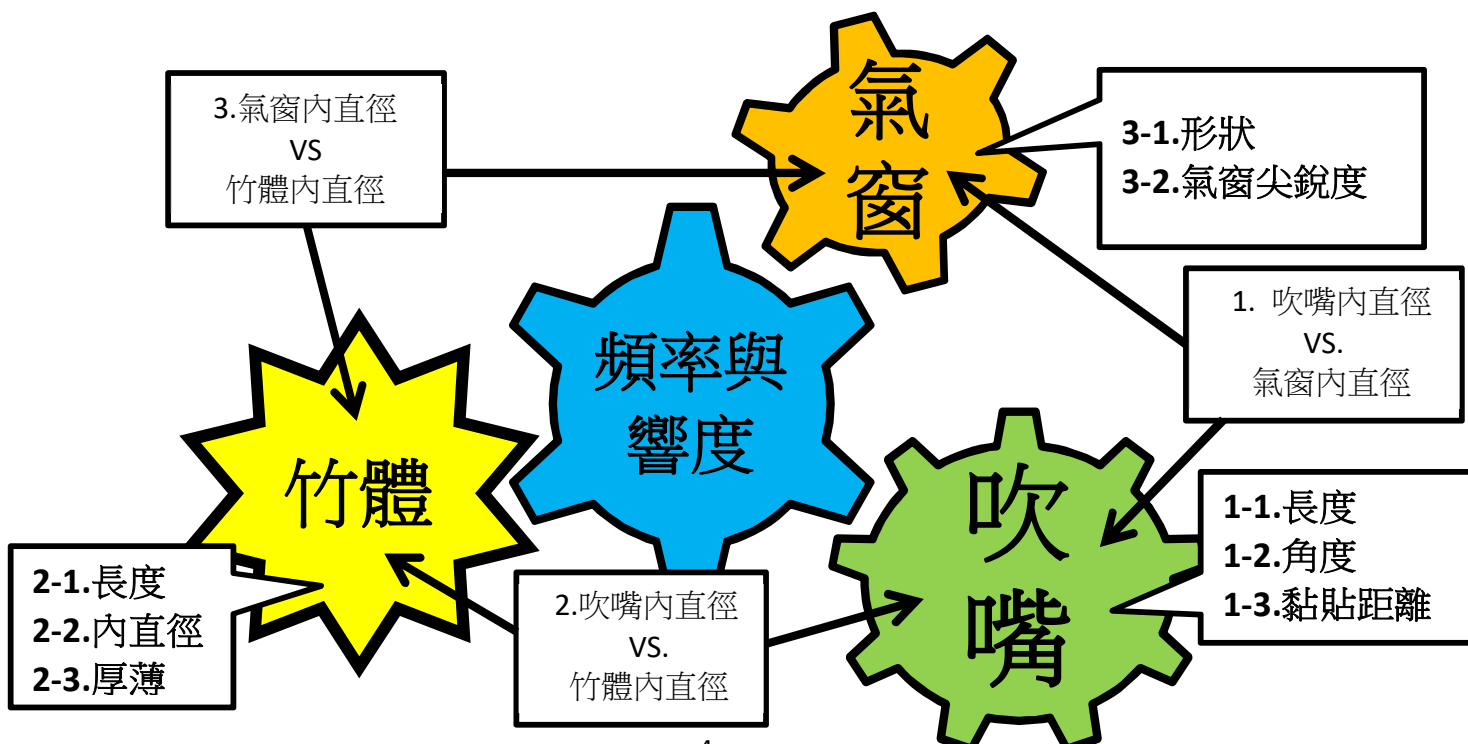
找出適當吹嘴黏貼距離，如圖8。



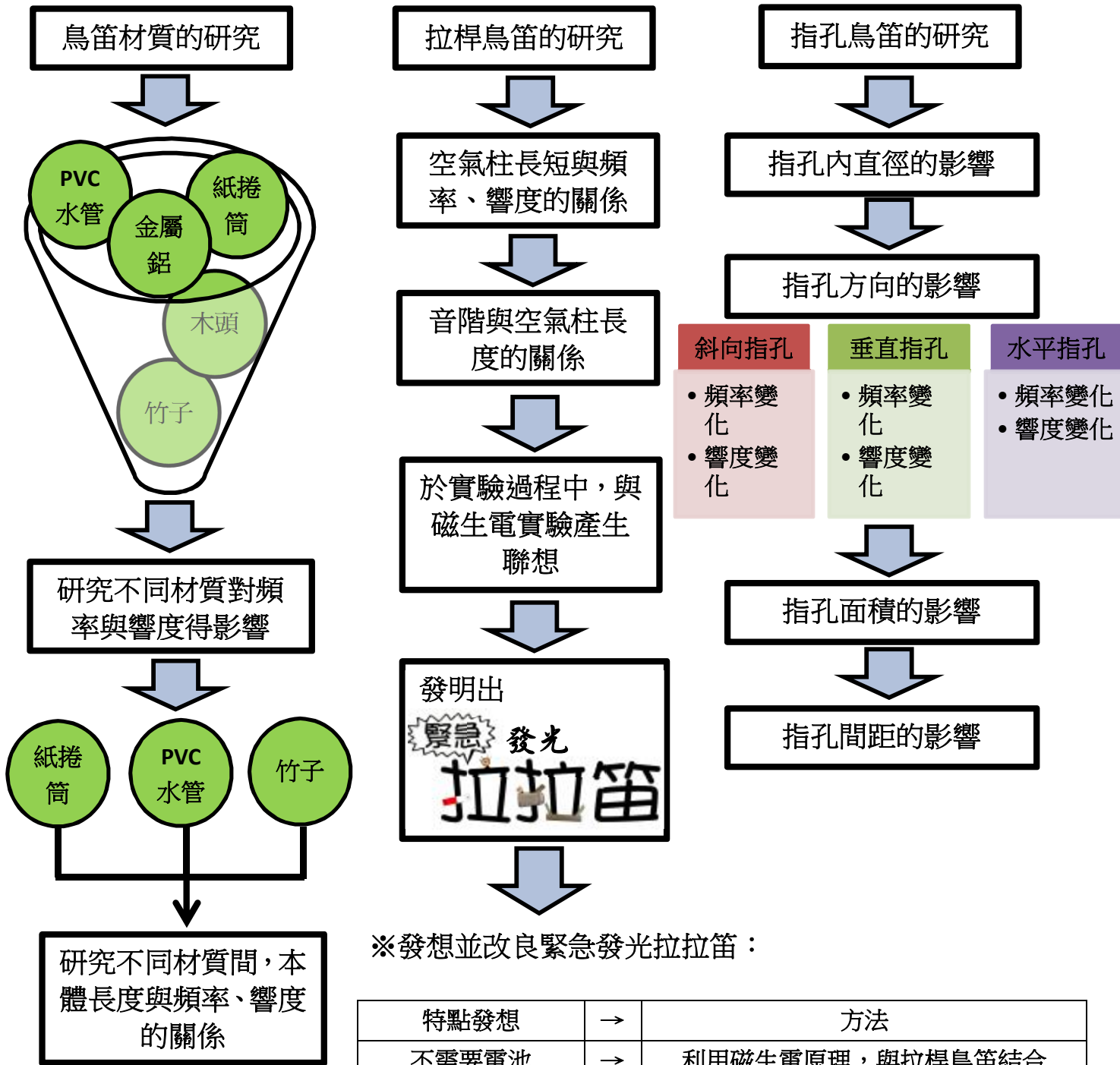
←圖8: 找找看，在哪個位置有聲音並記錄下來。

鳥笛的種類，依兩端塞或不塞，以及半塞(兩種)分為四種，頻率的大小，依序為不塞、半塞(塞處近吹嘴)，另一半塞(塞處在下端)，最後是全塞(指孔陶笛)。本作品最主要是製作發聲的鳥笛，所以都以全塞和不塞為主，而半塞的部分，只探討「拉桿鳥笛」的製作。

四、 鳥笛構造對音頻與響度的影響-包括單一探討與兩者變因之間探討



五、 鳥笛的應用情形



※發想並改良緊急發光拉拉笛：

特點發想	→	方法
不需要電池	→	利用磁生電原理，與拉桿鳥笛結合
明亮的光線	→	使用 LED 燈
讓笛子容易被找到	→	加入螢光塗料
高音且大聲的聲音	→	找出能發出高頻率且高響度的鳥笛

六、 實驗設計

(一) 烏笛構造對音頻與響度的實驗-單一探討：

1. 吹嘴的研究：

(1) 吹嘴的長度

變因：

操縱變因	控制變因								
	吹嘴			竹體			氣窗		
吹嘴長度	吹嘴內直徑	吹嘴黏貼距離	吹嘴角度	竹體長度	竹體內直徑	竹體厚薄	氣窗形狀	氣窗內直徑	氣窗尖銳度
2,4,6,8,10 cm	0.8cm	0.9cm	30度	8cm	2.1cm	0.4cm	圓形	0.8cm	0.15cm

實驗結果：

吹嘴長度 (cm)	2	4	6	8	10
音高	A6	A6	A6	A6#	A6
頻率(Hz)	1745	1810.3	1812	1853	1812
響度(dB)	96.9	104.4	106.6	100.9	107.1

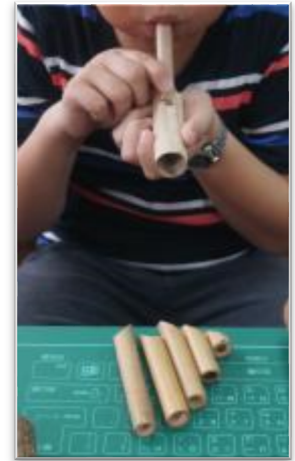
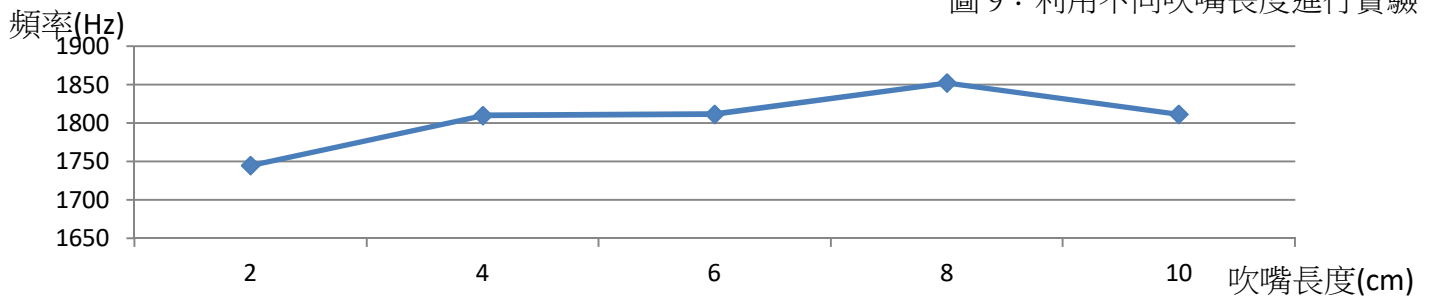


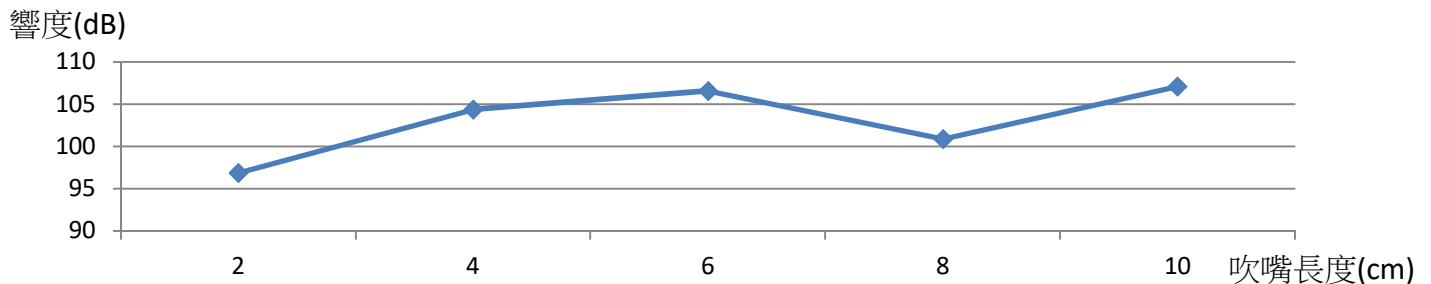
表 1：不同吹嘴長度來實驗時，所測得聲音的響度與頻率

※圖表 1：不同吹嘴長度與頻率的關係：

圖 9：利用不同吹嘴長度進行實驗



※圖表 2：不同吹嘴長度與響度的關係：



- **【發現】**：從表 1 可以發現，吹嘴長度對音高影響不大(可參考附件 1-音名、鍵盤位置、頻率及 MIDI 編號)，但頻率及響度還是有些微差異。

(2) 吹嘴的角度



←圖 10：進行吹嘴角度的量測

變因：

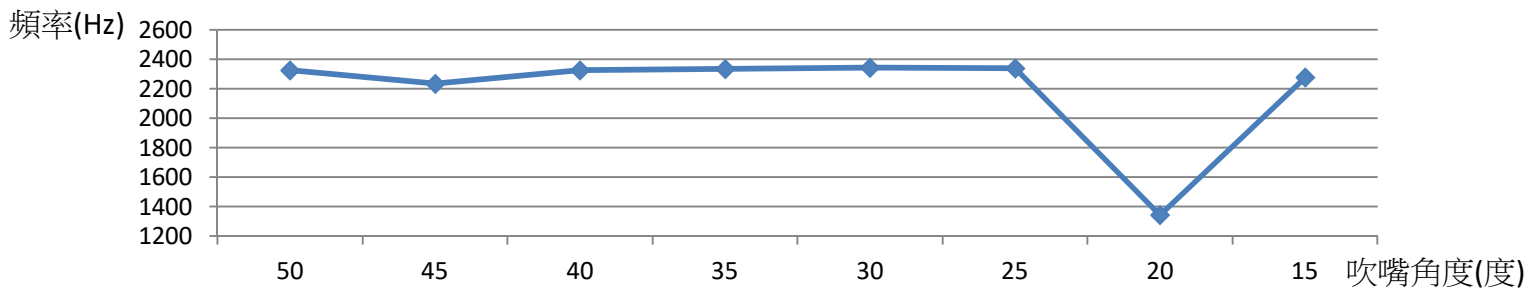
控制變因			操縱變因	控制變因					
吹嘴			吹嘴角度	竹體			氣窗		
吹嘴長度	吹嘴內直徑	吹嘴黏貼距離		竹體長度	竹體內直徑	竹體厚薄	氣窗形狀	氣窗內直徑	氣窗尖銳度
4 cm	0.8cm	0.9cm	50,45,40,35,30,25,20,15 度	8cm	2.1cm	0.4cm	圓形	0.8cm	0.15cm

實驗結果：

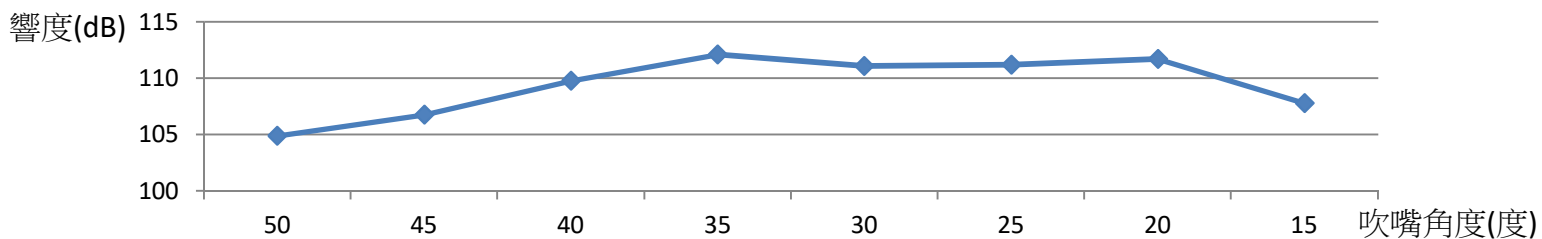
吹嘴角度(度)	50	45	40	35	30	25	20	15
音高	D7	C7	D7	D7	D7	D7	E6	C7
頻率(Hz)	2326	2233	2327	2334	2341	2340	1342	2279
響度(dB)	104.9	106.8	109.8	112.1	111.1	111.2	111.7	107.8

表 2：不同吹嘴角度來實驗時，所測得聲音的響度與頻率

※圖表 3：不同吹嘴角度與頻率的關係：



※圖表 4：不同吹嘴角度與響度的關係：



■ 【發現】：吹嘴角度 15~50 度皆能吹出聲音，但以 30 度所吹出的頻率最高。

(3) 吹嘴黏貼距離

變因：

控制變因		操縱變因	控制變因						
吹嘴		吹嘴黏貼距離	吹嘴角度	竹體			氣窗		
吹嘴長度	吹嘴內直徑			竹體長度	竹體內直徑	竹體厚薄	氣窗形狀	氣窗內直徑	氣窗尖銳度
4 cm	0.8cm	0.9、1.1、1.3、1.5、1.7cm	30 度	8cm	2.1cm	0.4cm	圓形	0.8cm	0.15cm

實驗結果：

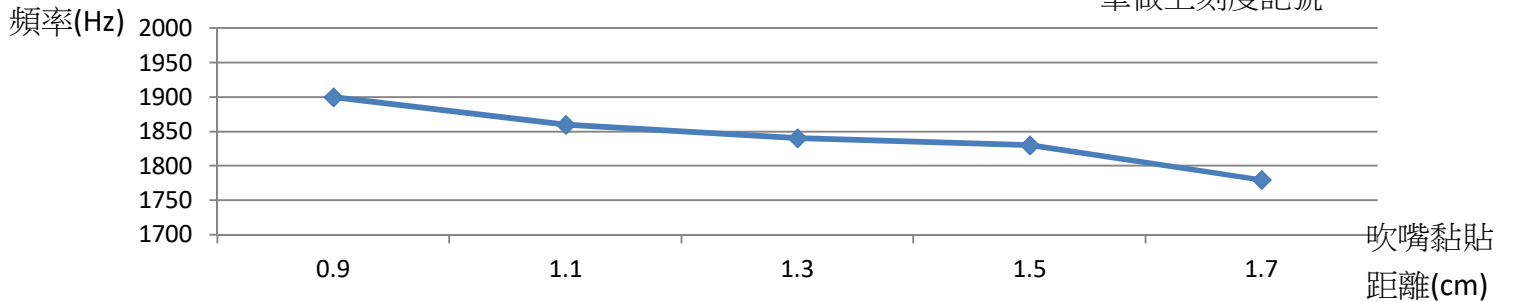
吹嘴黏貼距離(cm)	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7
音高	A#6	A#6	A#6	A#6	A6
頻率(Hz)	1900	1860	1840	1830	1780
響度(dB)	103	102	99	97	91

表 3：不同吹嘴黏貼距離來實驗時，所測得聲音的響度與頻率

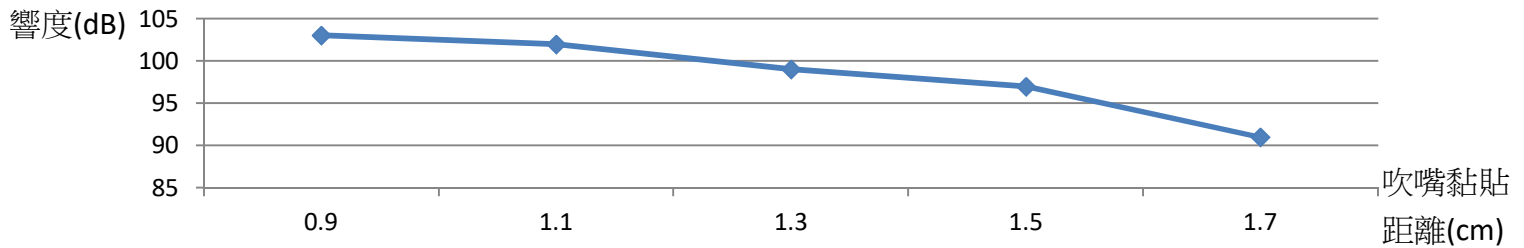


↑圖 11：進行吹嘴黏貼距離實驗時，我們在竹體上利用簽字筆做上刻度記號。

※圖表 5：不同吹嘴黏貼距離與頻率的關係：



※圖表 6：不同吹嘴黏貼距離與響度的關係：



■ 【發現】：吹嘴越靠近氣窗口，頻率與響度皆可增加。

2. 竹體的研究：

(1) 竹體的長度

→圖 12：不同竹體長度進行實驗



變因：

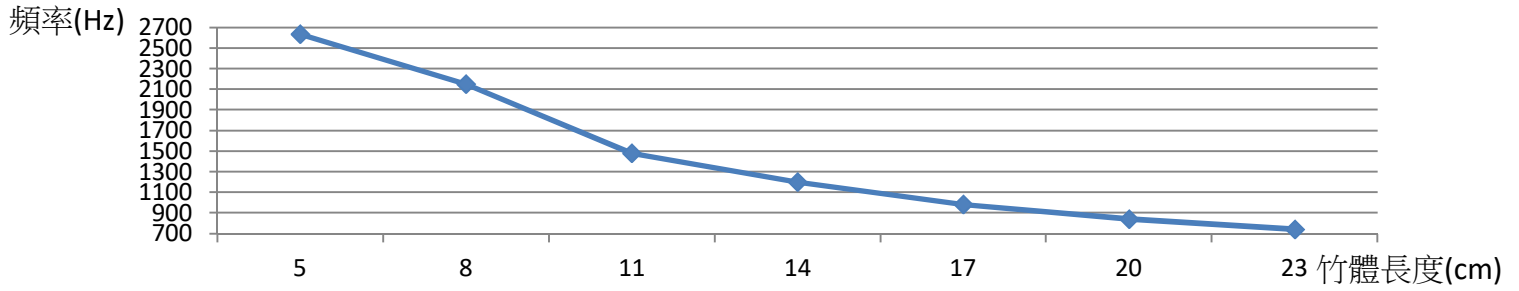
控制變因				操縱變因	控制變因				
吹嘴				竹體			氣窗		
吹嘴長度	吹嘴內直徑	吹嘴黏貼距離	吹嘴角度	竹體長度	竹體內直徑	竹體厚薄	氣窗形狀	氣窗內直徑	氣窗尖銳度
4 cm	0.8cm	0.9cm	30 度	5,8,11,14,17,20,23 cm	2.1cm	0.4cm	圓形	0.8cm	0.15cm

實驗結果：

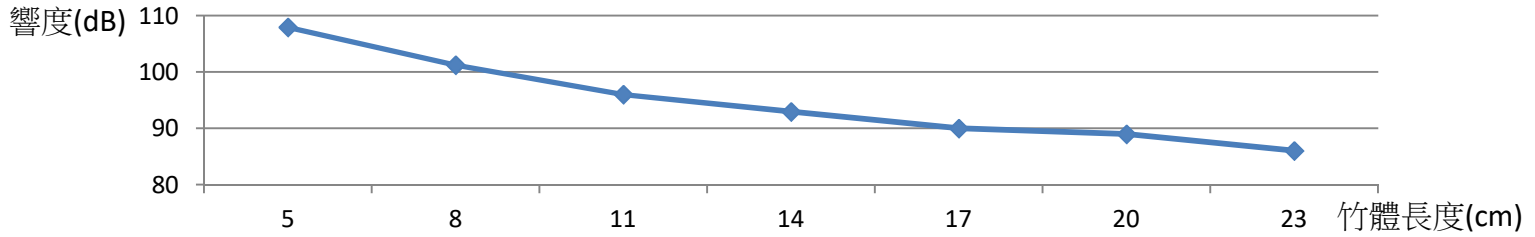
竹體長度 (cm)	5	8	11	14	17	20	23
音高	F#7	B6	F#6	D6	B5	G#5	F#5
頻率(Hz)	2634	2149	1480	1203	980	841	738
響度(dB)	108	101.3	96	93	90	89	86

表 4：不同竹體長度來實驗時，所測得聲音的響度與頻率

※圖表 7：不同竹體長度與頻率的關係：



※圖表 8：不同竹體長度與響度的關係：



■ 【發現】：竹體長度越短，響度和頻率越高。

(2) 竹體的內直徑

→圖 13：不同竹體直徑進行實驗



變因：

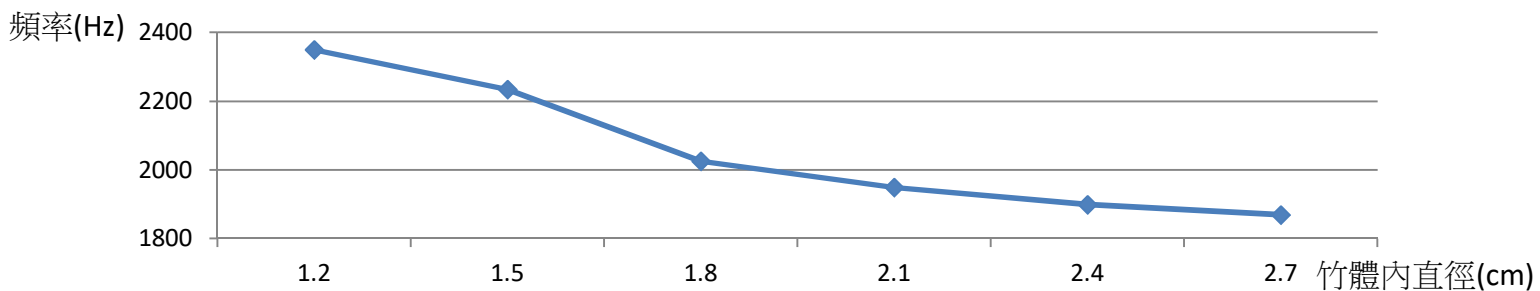
控制變因				操縱變因			控制變因		
吹嘴				竹體			氣窗		
吹嘴長度	吹嘴內直徑	吹嘴黏貼距離	吹嘴角度	竹體長度	竹體內直徑	竹體厚薄	氣窗形狀	氣窗內直徑	氣窗尖銳度
4 cm	0.8cm	0.9cm	30 度	8 cm	1.2, 1.5, 1.8, 2.1, 2.4, 2.7cm	0.4cm	圓形	0.8cm	0.15cm

實驗結果：

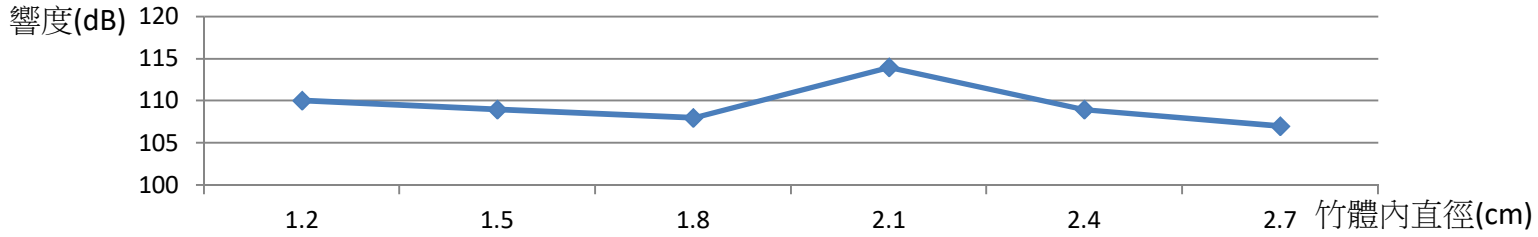
竹體內直徑 (cm)	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7
音高	D7	C#7	B6	B6	A#6	A#6
頻率(Hz)	2350	2235	2025	1950	1900	1870
響度(dB)	110	109	108	114	109	107

表 5：不同竹體內直徑來實驗時，所測得聲音的響度與頻率

※圖表 9：不同竹體內直徑與頻率的關係：



※圖表 10：不同竹體內直徑與響度的關係：



■ 【發現】：竹體內直徑越小，頻率越大。

↓圖 14：由外往內劈所製成的鳥笛

(3) 竹體的厚薄

方法：為了瞭解竹體的厚度對聲音的影響，我們將竹體外殼由外開始往內劈。先將竹體鑽孔，做出氣窗口，在竹子側邊用銅板或圓規，劃出厚度的刻度，再將表皮從外向內用劈刀劈一圈，逐漸減少厚度，觀測不同厚度時的聲音，研究其變化。成品如圖 14 所示。

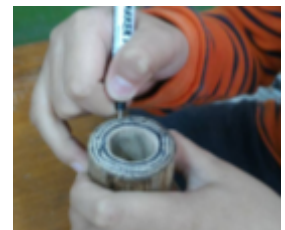


變因：

控制變因				操縱變因			控制變因		
吹嘴				竹體			氣窗		
吹嘴長度	吹嘴內直徑	吹嘴黏貼距離	吹嘴角度	竹體長度	竹體內直徑	竹體厚薄	氣窗形狀	氣窗內直徑	氣窗尖銳度
4 cm	0.8cm	0.9cm	30度	8 cm	2.1cm	11.5, 4.9, 7.4, 3.9, 1.5mm	圓形	0.8cm	0.15cm

實驗結果：

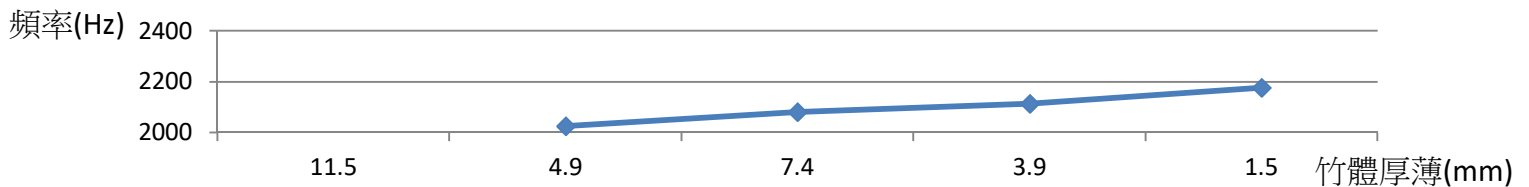
中空內直徑(cm)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
竹體厚薄(mm)	11.5	4.9	7.4	3.9	1.5
音高	無法吹出聲音	B6	B6	C7	C#7
頻率(Hz)		2025	2080.7	2113.5	2175.2
響度(dB)		119.1	123.5	131.7	132



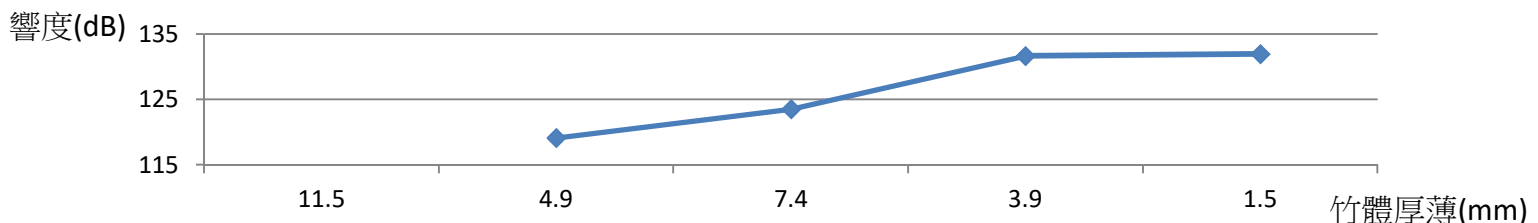
↑圖 15：畫上刻度，一直由外往內劈，測出頻率越大，了解到竹體的外殼厚薄會影響頻率與響度。

表 6：不同竹體厚薄做實驗時，所測得聲音的響度與頻率

※圖表 11：不同竹體厚度與頻率的關係：

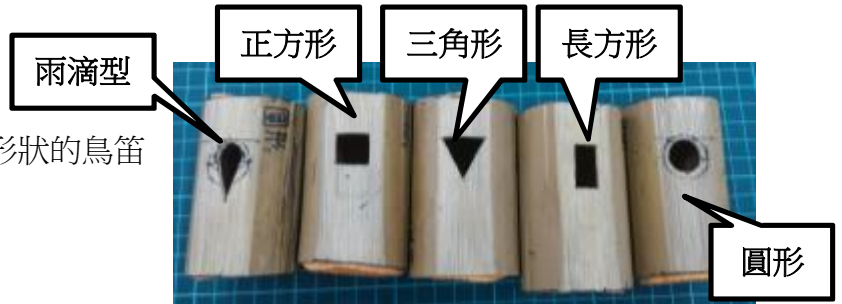


※圖表 12：不同竹體厚度與響度的關係：



【發現】：①剛開始若沒有劈薄，則無法吹出聲音，直到厚度劈薄到4.9mm才吹得出聲音。

②竹體內直徑不變，越劈越薄，頻率與響度越來越大。



→圖 16：各種不同氣窗形狀的鳥笛

3. 氣窗的研究：

(1) 形狀-面積接近

方法：一般鳥笛氣窗口都為圓形，為了研究氣窗形狀是否會影響聲音頻率與響度，我們分別製作圓形、正方形、長方形、三角形、雨滴型等不同形狀的氣窗口，並將氣窗面積都設計為接近 2cm^2 ，以便研究。



←圖 17：為了求出雨滴型面積，我們用方格紙來畫出兩滴形氣窗的面積大小，進行聲音頻率與響度的量測。

變因：

控制變因				操縱變因			控制變因		
吹嘴				竹體			氣窗		
吹嘴長度	吹嘴內直徑	吹嘴黏貼距離	吹嘴角度	竹體長度	竹體內直徑	竹體厚薄	氣窗形狀	氣窗內直徑	氣窗尖銳度
4 cm	0.8cm	0.9cm	30 度	8cm	2.1cm	0.4cm	圓形、正方形、長方形、三角形、雨滴型		0.15cm

實驗結果：

形狀	圓形	正方形	長方形	三角形	雨滴型
面積(cm^2)	2 (直徑 1.6cm)	1.96 (1.4x1.4)	2	2	2.06
音高	F5	E5	D5	E5	E5
頻率(Hz)	700	646	583	648	616
響度(dB)	103.3	101.2	101.3	102	89.1

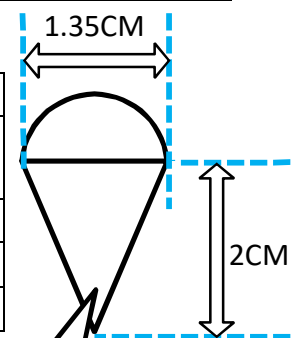
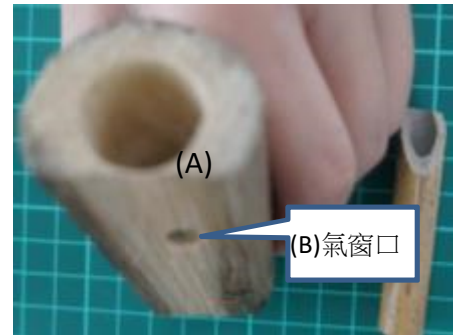


表 7：氣窗形狀不同，所測得聲音的響度、頻率

- 【發現】：①圓形聲音最高、響度最大。
- ②雨滴型響度最小。
- ③長方形頻率最小。

(2) 氣窗尖銳度：由外往內，一毫米一毫米往內劈

方法：在製作鳥笛的過程中，發現有些鳥笛竹體的氣窗口，鑽孔之後，並不能發出聲音，這現象也讓我們發現笛唇的尖銳度(厚度)，也會對聲音有影響。因此我們便將竹體做完，並鑽孔做出氣窗口後，慢慢將氣窗口那側竹體外皮，畫上刻度後，逐漸削薄，並觀察這之中聲音響度與頻率的變化。



↑圖 18：劈刀需垂直劈，才能使 A、B 處厚度皆相同。

變因：

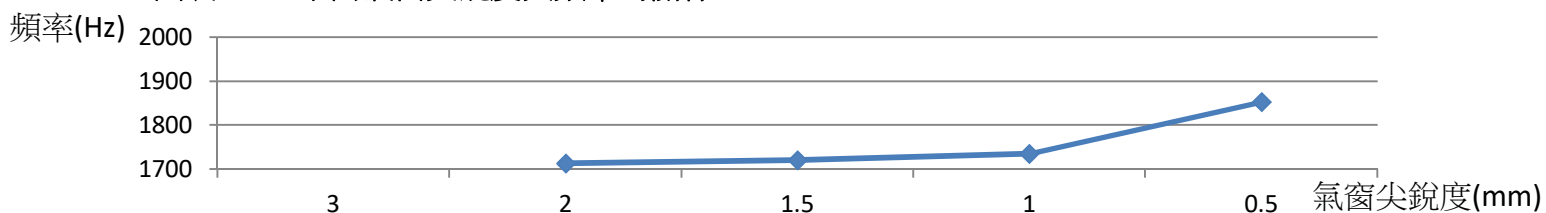
控制變因								操縱變因	
吹嘴				竹體			氣窗		
吹嘴長度	吹嘴內直徑	吹嘴黏貼距離	吹嘴角度	竹體長度	竹體內直徑	竹體厚薄	氣窗形狀	氣窗內直徑	氣窗尖銳度
4 cm	0.8cm	0.9cm	30 度	8cm	2.1cm	0.4cm	圓形	0.8cm	3, 2, 1.5, 1, 0.5 mm

實驗結果：

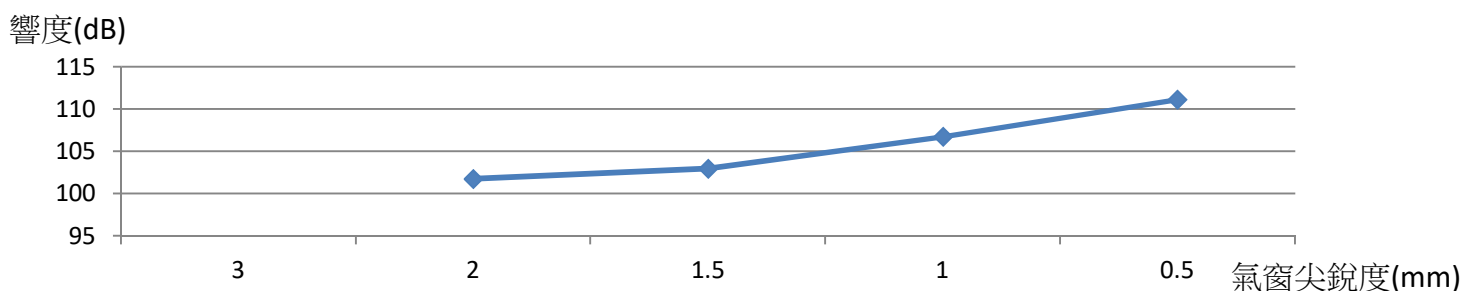
氣窗尖銳度(mm)	3	2	1.5	1	0.5
音高	無法吹出聲音	A6	A6	A6	A#6
頻率(Hz)	無法吹出聲音	1713	1720	1734	1853
響度(dB)	無法吹出聲音	101.7	102.9	106.7	111.1

表 8：不同氣窗尖銳度來實驗時，所測得聲音的響度與頻率

※圖表 13：不同氣窗尖銳度與頻率的關係：



※圖表 14：不同氣窗尖銳度與響度的關係：



- **【發現】**：①厚度 3mm 以上，都吹不出聲音，在 2mm~0.5mm 之間能吹出聲音。
②比 2mm 小的厚度，就能吹出聲音來。以 0.5mm 頻率最大。太薄則會裂開。

(二) 鳥笛構造對音頻與響度的實驗-兩種變因互相探討：

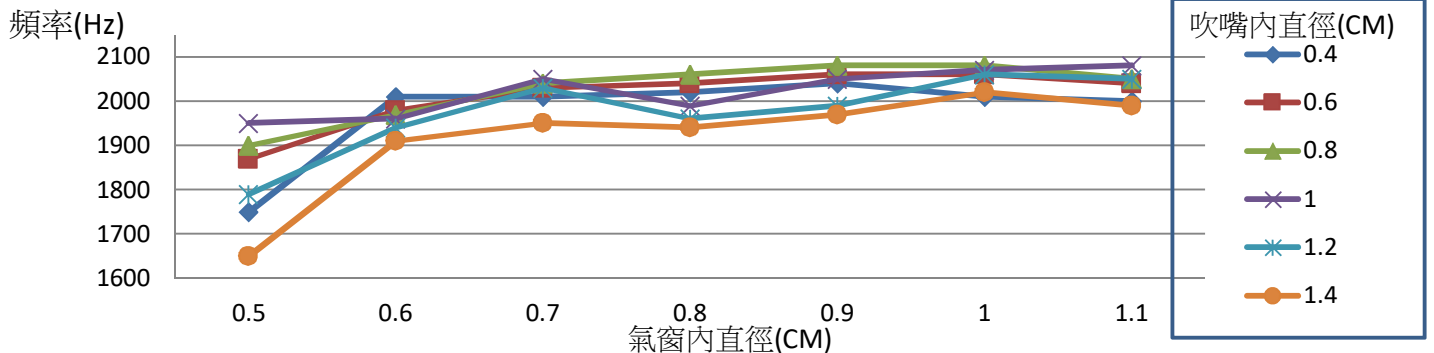
1. 吹嘴內直徑 與 氣窗內直徑 之間的關係：

實驗結果：

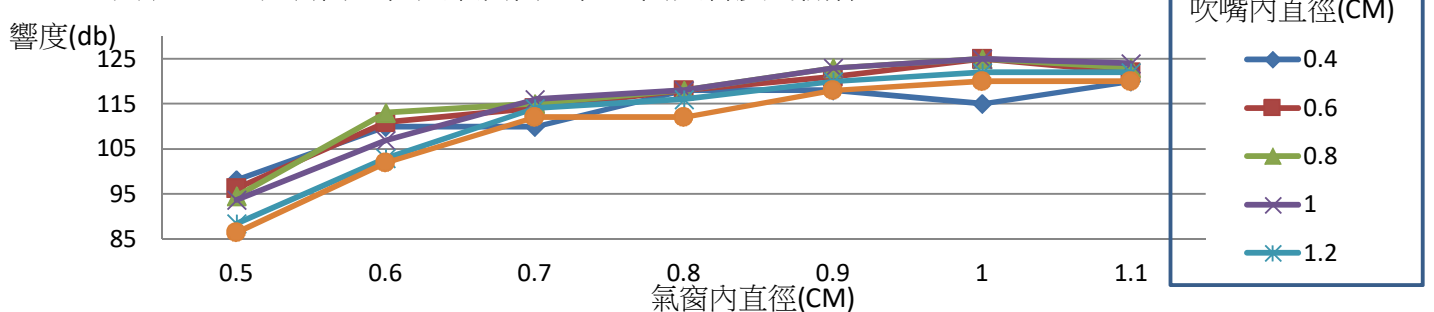
吹嘴內直徑(CM) 氣窗內直徑(CM)		0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	平均數
		0.5	1750	1870	1900	1950	1790	
0.5	頻率(hz)	1750	1870	1900	1950	1790	1650	1818.3
	音名	A6	A6	A#6	B6	A6	A6	
	響度(db)	98.1	96.3	94.6	93.7	88.5	86.4	92.9
0.6	頻率(hz)	2010	1980	1970	1960	1940	1910	1961.6
	音名	B6	B6	B6	B6	A#6	A#6	
	響度(db)	110	111	113	107	103	102	107.6
0.7	頻率(hz)	2010	2030	2040	2050	2030	1950	2018.3
	音名	B6	B6	B6	B6	A#6	A#6	
	響度(db)	110	114	115	116	114	112	113.5
0.8	頻率(hz)	2020	2040	2060	1990	1960	1940	2001.6
	音名	B6	C7	B6	B6	B6	B6	
	響度(db)	118	118	118	118	116	112	116.6
0.9	頻率(hz)	2040	2060	2080	2050	1990	1970	2031.6
	音名	B6	B6	B6	B6	B6	B6	
	響度(db)	118	121	123	123	120	118	120.5
1.0	頻率(hz)	2010	2060	2070	2080	2060	2020	2050
	音名	B6	C7	B6	C7	B6	B6	
	響度(db)	115	125	125	125	122	120	122
1.1	頻率(hz)	2000	2040	2050	2080	2050	1990	2035
	音名	B6	B6	B6	B6	B6	B6	
	響度(db)	120	122	123	124	122	120	121.8
平均數	頻率(hz)	1977	2011.4	2025.7	2021.4	1974.2	1918.5	
	響度(db)	112.7	115.3	115.9	115.2	112.2	110	

表 9：同時改變吹嘴內直徑與氣窗內直徑時，所測得聲音的響度與頻率

※圖表 15：吹嘴內直徑與氣窗內直徑之間與頻率的關係：



※圖表 16：吹嘴內直徑與氣窗內直徑之間與響度的關係：



- **【發現】**：①吹嘴和氣窗內直徑一樣或相差 1mm 時，頻率最大，如 0.8 配 0.9、1.0 配 1.0、1.0 配 1.1。若相差太大，如 1.4 配 0.5，頻率最小。
②吹嘴內直徑 0.8cm 的尺寸，配合氣窗內直徑 0.9cm，最適合學生的嘴型，能吹出的頻率最大。

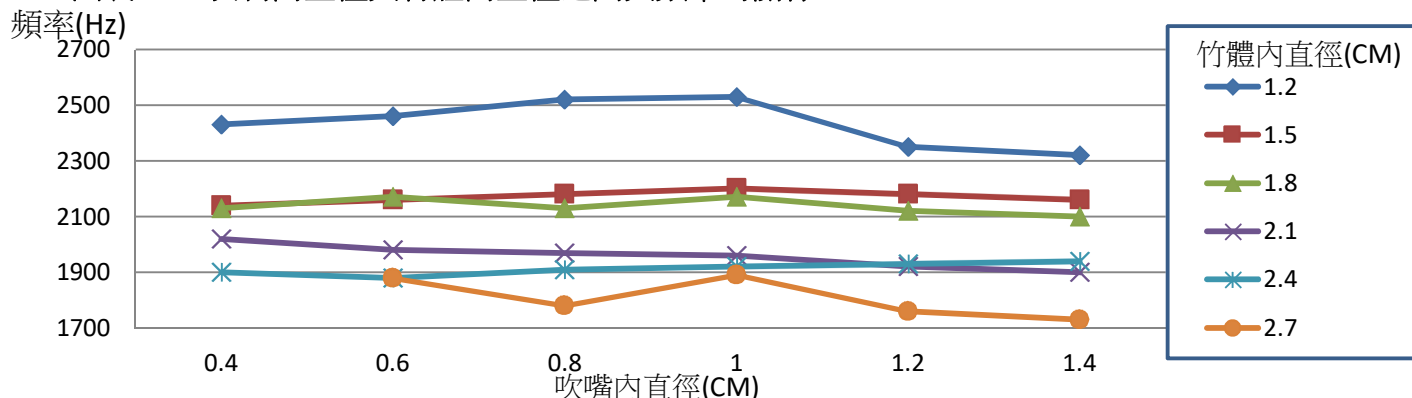
2. 吹嘴內直徑 與 竹體內直徑 之間的關係：

實驗結果：

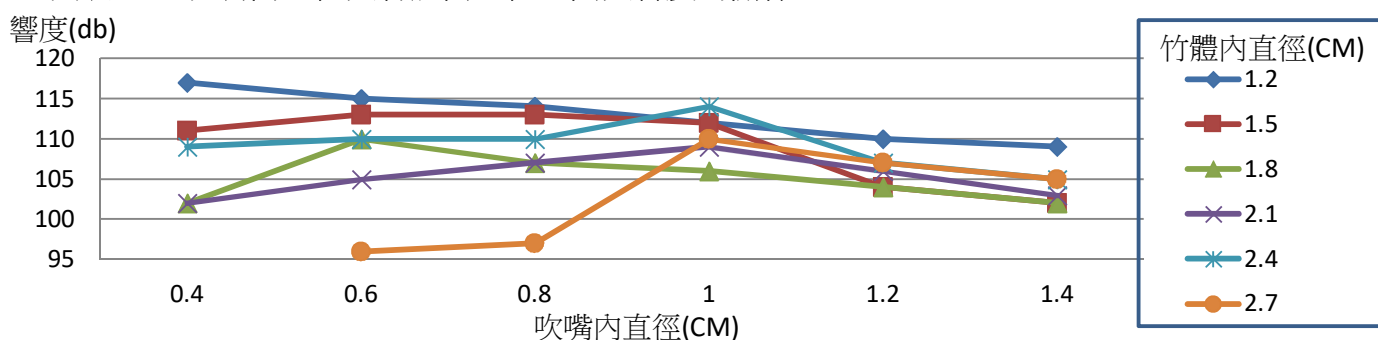
吹嘴內直徑(CM) \ 竹體內直徑(CM)		吹嘴內直徑(CM)						平均數	
		0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4		
1.2	頻率(hz)	2430	2460	2520	2530	2350	2320	2435	
	音名	D7	D#7	D#7	D#7	C#7	C#7		
	響度(db)	117	115	114	112	110	109	112.8	
1.5	頻率(hz)	2140	2160	2180	2200	2180	2160	2170	
	音名	C7	C#7	C#7	C#7	C#7	C#7		
	響度(db)	111	113	113	112	104	102	109.2	
1.8	頻率(hz)	2130	2170	2130	2170	2120	2100	2136.7	
	音名	C7	C7	C7	C7	C7	C7		
	響度(db)	102	110	107	106	104	102	105.2	
2.1	頻率(hz)	2020	1980	1970	1960	1920	1900	1958.3	
	音名	B7	B6	B6	B6	A#6	A#6		
	響度(db)	102	105	107	109	106	103	105.3	
2.4	頻率(hz)	1900	1880	1910	1920	1930	1940	1913.3	
	音名	A#6	A#6	A#6	A#6	A#6	A#6		
	響度(db)	109	110	110	114	107	105	109.2	
2.7	頻率(hz)	無法吹出聲音		1880	1780	1890	1760	1730	1808
	音名		A6	A6	A#6	A6	A6		
	響度(db)		96	97	110	107	105	103	
平均數	頻率(hz)	2124	2088.3	2081.7	2111.7	2043.3	2025		
	響度(db)	108.2	110.6	110.2	110.6	106.2	104.2		

表 10：同時改變吹嘴內直徑與竹體內直徑時，所測得聲音的響度與頻率

※圖表 17：吹嘴內直徑與竹體內直徑之間與頻率的關係：



※圖表 18：吹嘴內直徑與竹體內直徑之間與響度的關係：



【發現】：①吹嘴內直徑 1.0cm 或 0.8cm，竹體內直徑 1.2cm，頻率最大。

②兩者若相差太大，如吹嘴內直徑 0.4cm 配竹體內直徑 2.7cm，則無法發出聲音。

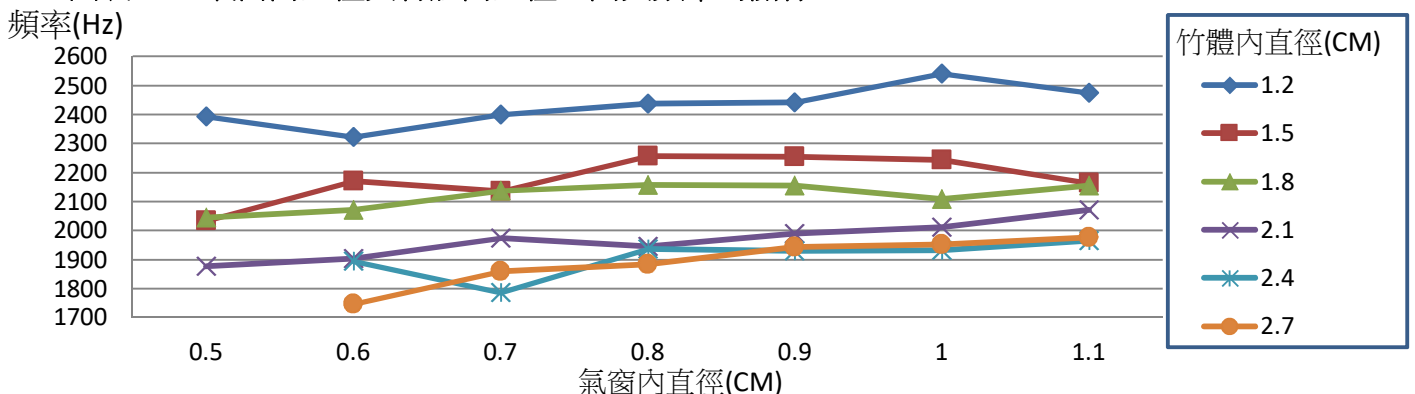
3. 氣窗內直徑 與 竹體內直徑 之間的關係：

實驗結果：

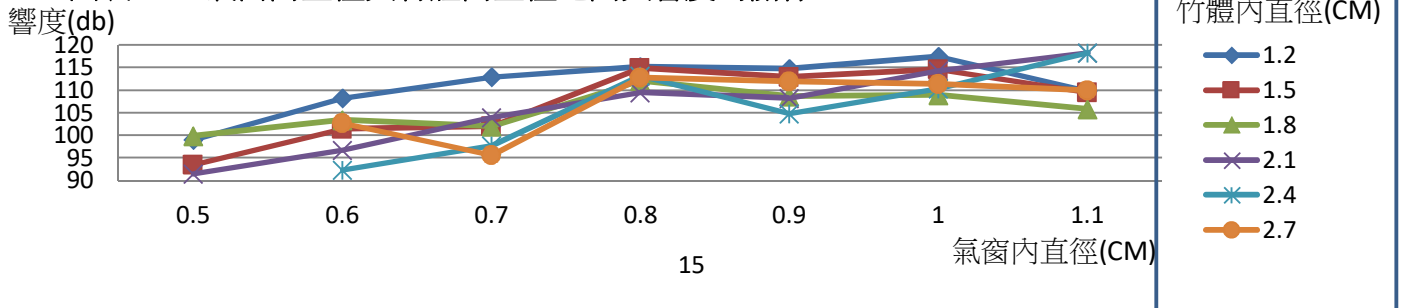
竹體內直徑(CM) \ 氣窗內直徑(CM)		1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	平均值
		0.5	2394	2035	2044	1878	無法吹出聲音	
		D7	C7	C7	A#6			
		99.1	93.5	99.9	91.5			96.0
0.6	頻率(hz)	2323	2170	2071	1903	1896	1747	2018.3
	音名	D7	C#7	C7	A#6	A#6	A6	
		108.2	101.5	103.4	96.8	92.4	102.7	100.8
0.7	頻率(hz)	2401	2136	2138	1974	1786	1859	2049.0
	音名	D7	C7	C7	B6	A6	A#6	
		113	102	102	104	97.8	95.6	102.4
0.8	頻率(hz)	2437	2257	2157	1945	1936	1883	2102.5
	音名	D7	C#7	C7	B6	B6	A#6	
		115.2	114.9	112.1	109.6	113.2	112.8	113.0
0.9	頻率(hz)	2443	2254	2155	1991	1931	1943	2119.5
	音名	D#7	C#7	C#7	B6	A#6	A#6	
		114.8	113	108.7	108.3	104.8	111.9	110.3
1.0	頻率(hz)	2542	2243	2108	2011	1933	1953	2131.7
	音名	D#7	C#7	C7	C7	A#6	B6	
		117.5	114.7	109	114.4	110.4	111.4	112.9
1.1	頻率(hz)	2476	2164	2156	2072	1965	1976	2134.8
	音名	D7	C#7	C7	C7	B6	B6	
		109.8	109.5	105.8	118.3	118.4	109.9	112.0
平均值	頻率(hz)	2429.0	2174.6	2116.1	1975.5	1907.4	1892.0	
	響度(db)	111.0	106.6	105.5	106.1	105.3	106.3	

表 11：同時改變氣窗內直徑與竹體內直徑時，所測得聲音的響度與頻率

※圖表 19：氣窗內直徑與竹體內直徑之間與頻率的關係：



※圖表 20：氣窗內直徑與竹體內直徑之間與響度的關係：



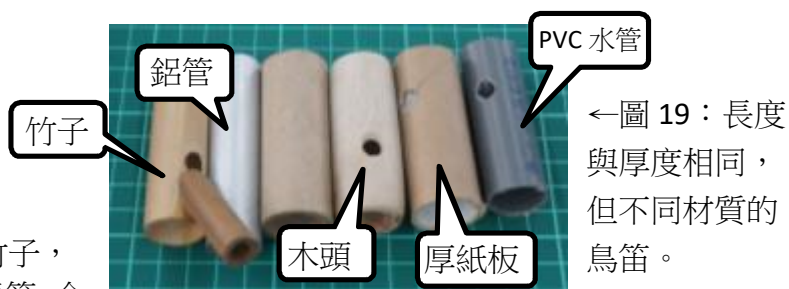
【發現】：①氣窗內直徑 1.0cm 配竹體內直徑 1.2cm 的頻率最大。

②兩者若相差太大，如氣窗內直徑 0.5cm 配竹體內直徑 2.7，則無法吹出聲音。

(三) 鳥笛應用情形探討：

1. 鳥笛材質的研究：

過程：大家一起集思廣益，討論看看除了竹子，還有什麼可以做笛子呢？於是我們便將紙捲筒、金屬鋁管與木頭等材料來做看看，並探討不同材質中，粗細(直徑)改變時的聲音的變化。



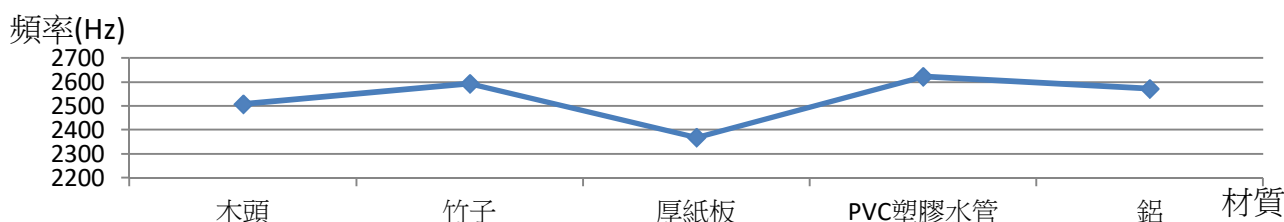
(1) 不同材質鳥笛的研究

方法：我們想了解不同材質時，聲音的頻率與響度的差異，於是我們製作木頭鳥笛、紙捲筒鳥笛(材質為厚紙板)、鋁管鳥笛、竹鳥笛與 PVC 塑膠水管鳥笛，長度皆為 6cm，厚度皆為 2mm，量測並觀察聲音的變化。

實驗結果：

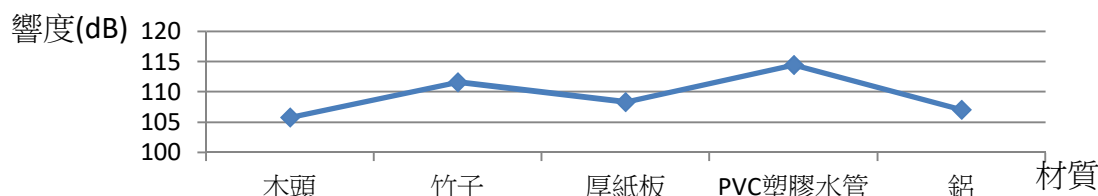
材質	木頭	竹子	厚紙板	PVC 塑膠水管	鋁
長度(cm)	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
厚度(mm)	2	2	2	2	2
音高	D#7	E7	D7	E7	E7
響度(dB)	105.8	111.6	108.3	114.5	107.1
頻率(Hz)	2509	2594	2370	2623	2573

表 12：長度與厚度相同，但不同材質的鳥笛，所測得聲音的響度、頻率



圖表 21：不同材質的鳥笛，與頻率的關係

■ 【發現】：以 PVC 塑膠水管頻率最高，依次是竹子、鋁、木頭，厚紙板最低。



圖表 22：不同材質的鳥笛，與響度的關係

■ 【發現】：以 PVC 塑膠水管所發出聲音最大聲，依次是竹子、厚紙板、鋁，木頭最低。

(2) 研究不同材質間，本體長度與頻率、響度的關係

a. 利用 PVC 水管當作竹體，進行不同 PVC 水管直徑實驗

↓圖 20：不同 PVC 水管直徑的鳥笛

方法：因竹體內部構造凹凸不均勻，我們想到利用管壁均勻、平整的 PVC 塑膠水管來進行量測，會更精確。

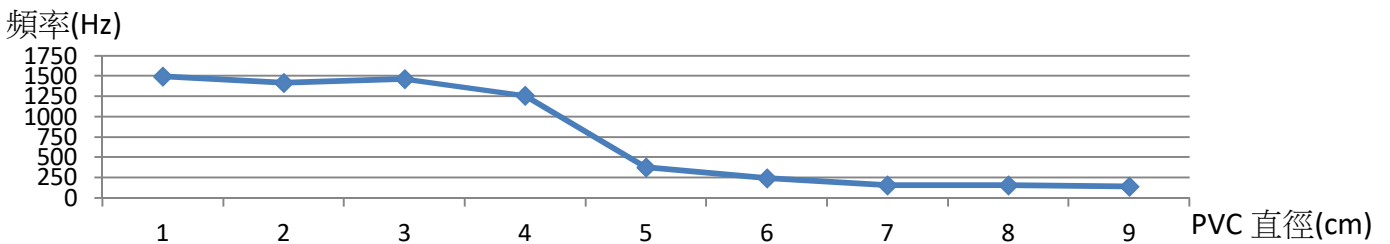
- (a) **操縱變因**：水管內直徑(1~9cm)
- (b) **控制變因**：長度相同(15cm)、厚度相同(2mm)
- (c) **應變變因**：觀察頻率與響度的變化



實驗結果：

水管直徑(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
音高	F#6	F6	F6	D#6	G4	D#	D	C#	F6
響度(dB)	79.5	76.6	77.4	95.4	96.4	77.4	70.3	91.7	70.3
頻率(Hz)	1496	1417	1465	1256	378	240	156.7	155	140

表 13：固定水管長度，在不同水管直徑時，所測得聲音的響度、頻率



圖表 23：不同 PVC 的直徑(雙塞)，與頻率的關係

■ **【發現】**：直徑越小，頻率越大。

b. 利用紙捲筒當作竹體，進行不同紙捲筒內直徑實驗

方法：我們拜訪紙捲筒工廠，尋找粗細不同但厚度相同的紙捲筒，並切成長度皆為長 8cm，厚度為 0.2cm，如圖 21 所示。

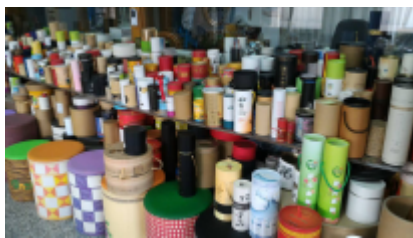


圖 21：長度相同，內直徑不同的紙捲筒鳥笛

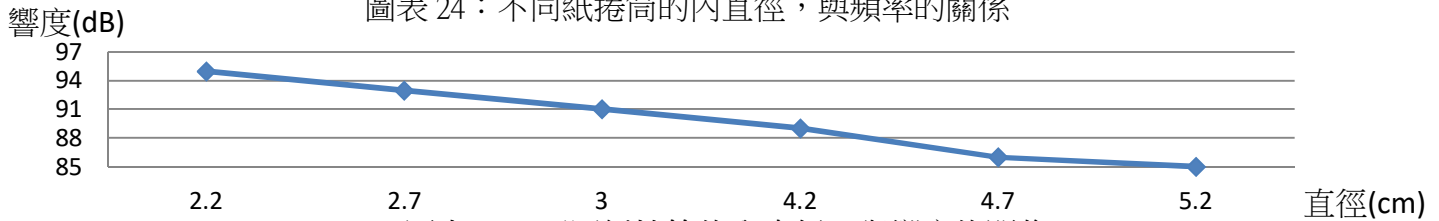
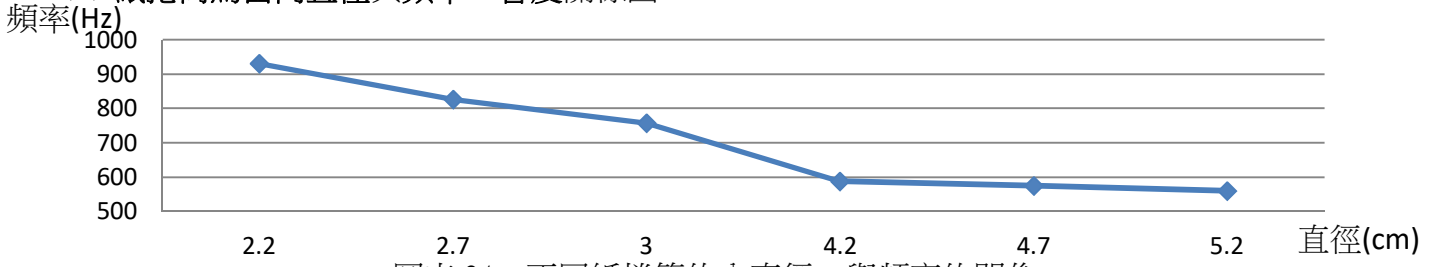
←圖 22：拜訪紙捲筒工廠，琳瑯滿目的紙捲筒，發現許多生活中常見到的各種紙捲筒。

實驗結果：

紙捲筒內直徑(cm)	2.2	2.7	3	4.2	4.7	5.2
音高	A#5	G#5	G5	D5	D5	D5
響度(dB)	95	93	91	89	86	85
頻率(Hz)	932	827	758	588	575	560

表 14：不同內直徑的紙捲筒鳥笛，所測得聲音的響度、頻率

※ 紙捲筒鳥笛內直徑與頻率、響度關係圖：



■ **【發現】**：內直徑越大，頻率、響度越小。

2. 拉桿鳥笛(空氣柱)

方法：為了探討竹體內空氣柱的變化，對聲音的影響，我們設計出拉桿鳥笛，實驗並觀察看看空氣柱對聲音的影響。



↑ 圖 23：製作出尺寸不同的拉桿鳥笛，量測並畫上刻度，便可吹出好聽的樂曲。

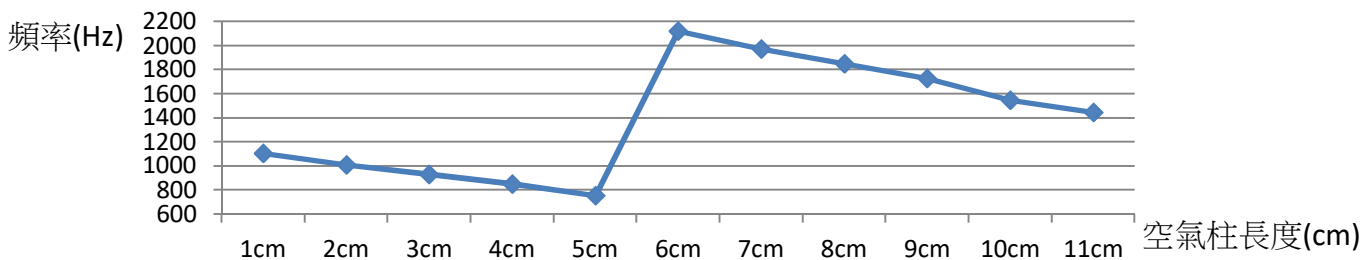
控制變因：以下實驗皆用竹體長 29cm，內直徑 2.7cm，厚度 0.4cm，氣窗內直徑 0.8cm，標準吹嘴(吹嘴長度 4cm，內直徑 0.8cm，角度 30 度，吹嘴黏貼距離 0.9cm)之拉桿鳥笛。

(1) 探討空氣柱的頻率

實驗結果：

空氣柱長度 (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
音高	C#6	C6	A#5	G#5	F#5	C#7	B6	A#6	A6	G6	F#6
頻率(Hz)	1105	1010	930	850	755	2122	1972	1852	1730	1548	1443

表 15：拉桿鳥笛中，不同長度的空氣柱，所測得的頻率



圖表 26：拉桿鳥笛空氣柱不同長度，與頻率的關係

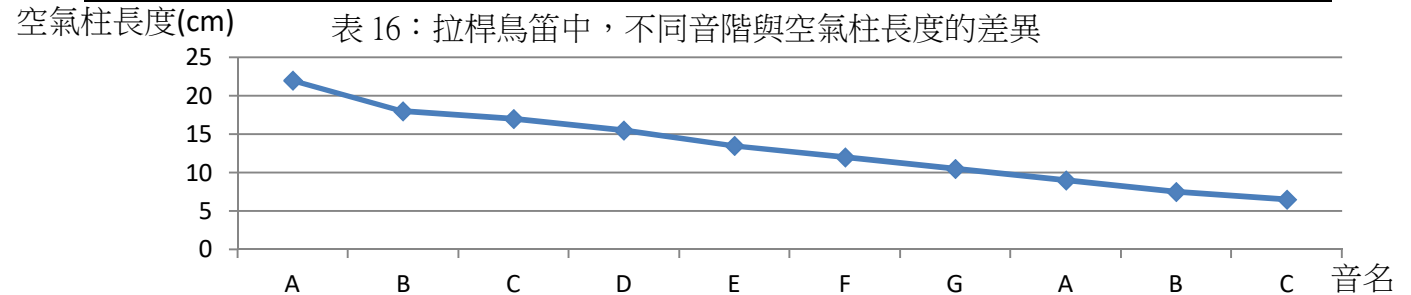
■ **【發現】**：

- ① 在空氣柱 6 公分時，頻率產生了急速倍增，升高了 1400Hz。
- ② 一般來說，空氣柱越長，拉桿越向外，音調越高，但中間也會發生頻率倍增的現象。
- ③ 有的鳥笛只能吹出 5 個音名，若要再增加音名，可使用較長竹子或選擇容量粗大的竹子。
- ④ 運用上下拉桿動作，能產生特殊的鳥叫聲。

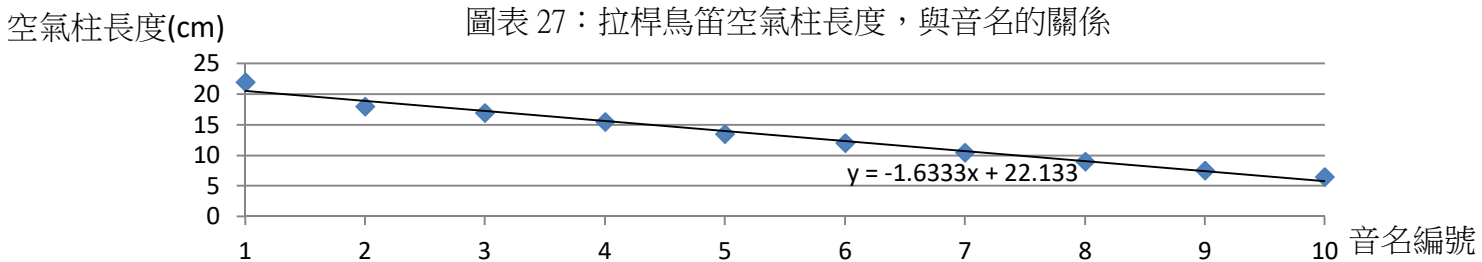
(2) 探討音階與空氣柱間距的關係

音名	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C
空氣柱長度(cm)	22	18	17	15.5	13.5	12	10.5	9	7.5	6.5
相差		4	1	1.5	2	1.5	1.5	1.5	1.5	1
頻率(Hz)	890	980	1050	1170	1320	1420	1570	1770	1980	2100

表 16：拉桿鳥笛中，不同音階與空氣柱長度的差異



圖表 27：拉桿鳥笛空氣柱長度，與音名的關係



圖表 28：各音名按照音階標示編號後，與拉桿鳥笛空氣柱長度的關係

■ 【發現】：

①空氣柱越短，頻率越大。

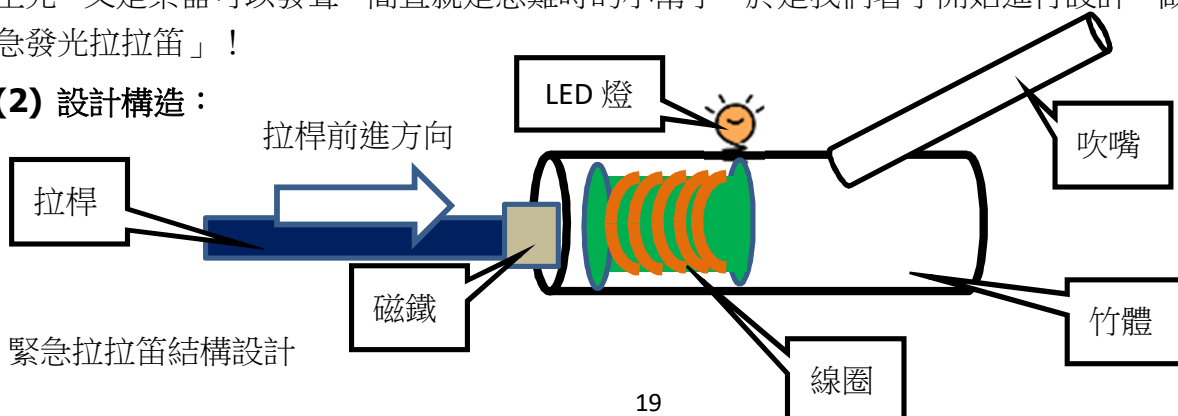
②從表 16 分析，差距雖然沒有發現規律性，但從圖表 28 中發現，音名與空氣柱長度的折線圖有趨近於直線的情形，若把各音名按照音階標示編號，如 A 為 1 號，B 為 2 號，C 為 3 號，D 為 4 號，並繪製成圖表 28，找出趨勢線，便可找到下一個音階。我們推測可能是同一個音名有一定範圍(如 A6 頻率為 1711Hz~1812 Hz)，因此無法從空氣柱相差的資料中找到規律。

3. 創意發明-緊急發光拉拉笛：

(1) 動機：

有次在進行拉桿鳥笛實驗時，一位同學因為鳥笛都吹不出聲音，覺得心情煩躁就一直把拉桿在竹體內拉來拉去，在旁邊的同學看到，感覺很像在百科全書內看到的磁生電動作，有電就可以產生光，又是樂器可以發聲，簡直就是急難時的小幫手，於是我們著手開始進行設計，做出「緊急發光拉拉笛」！

(2) 設計構造：





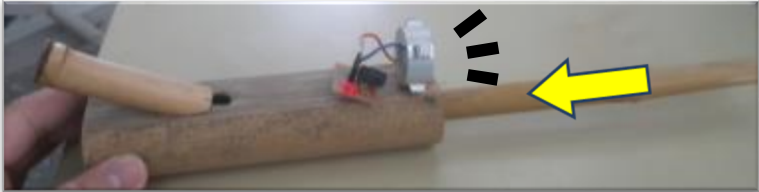


→圖 25：緊急拉拉笛結構設計

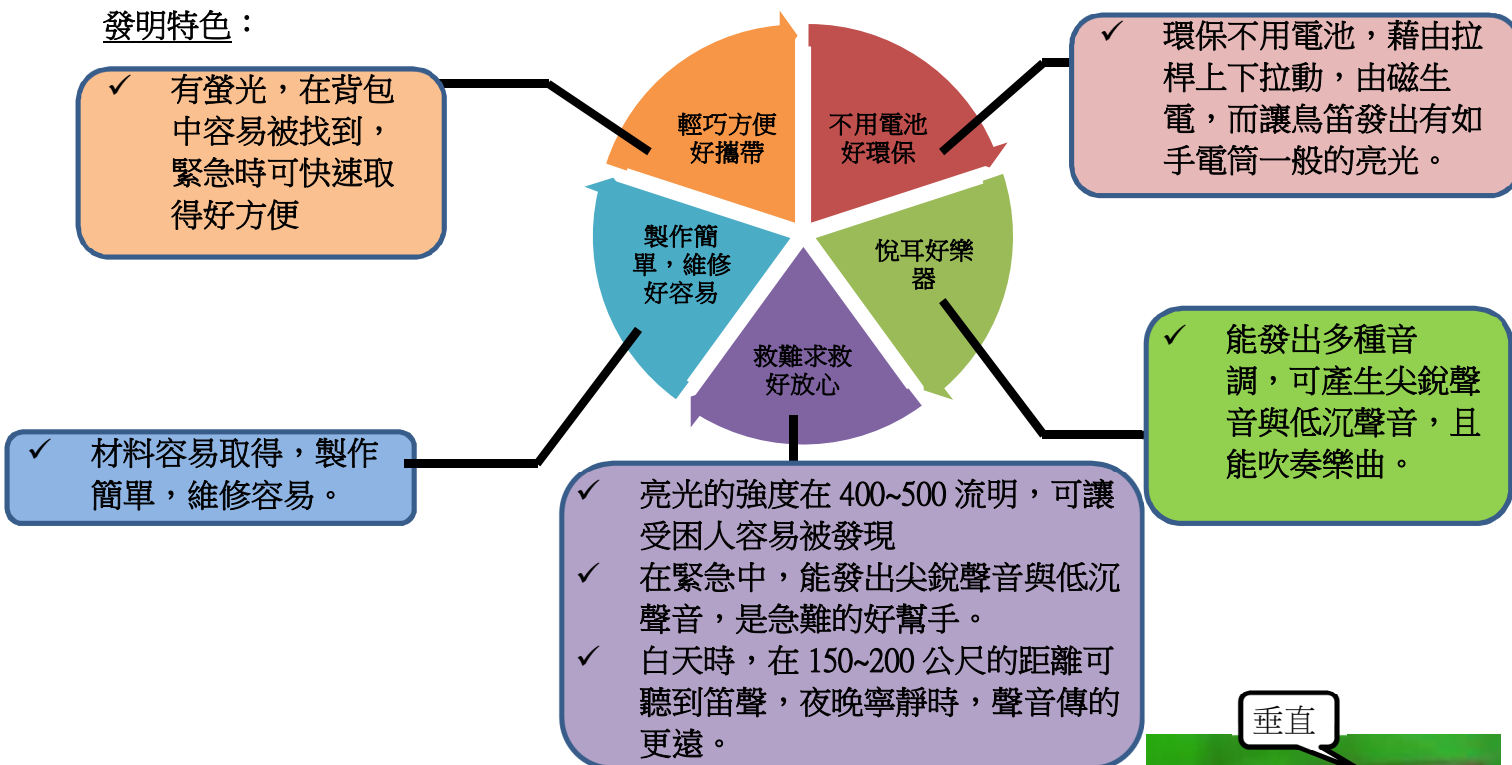


↓圖 24：拉桿鳥笛的聯想

(3) 製作與改良：

		
<p>(a)捲線圈</p>	<p>(b)LED 燈焊接</p>	<p>(c)LED 燈測試成功</p>
		
<p>(e)加入螢光功能：與屏東大學材料實驗室合作，調製無毒螢光塗料，利用 AB 膠讓我們塗抹於緊急拉拉笛上。</p>	<p>(F) 作為求救用途，需製作高頻、高分貝的鳥笛，利用前面研究的結果，找到吹嘴長度 4 cm，吹嘴內直徑 1cm，吹嘴黏貼距離 0.9cm，吹嘴角度 30 度，直徑越小、厚度越薄的竹體，氣窗內直徑 1cm，圓形氣窗，氣窗尖銳度 1.5mm，最適合做為緊急拉拉笛。</p>	

發明特色：



4. 指孔鳥笛與探討：

過程：從市面上陶笛的構造中，了解控制笛孔面積，能按出各種音調。為了瞭解指孔數量對聲音的影響。剛開始我們探討不同指孔內直徑頻率的變化，然後再從垂直、水平、斜向等三個方向來尋找音高。指孔為等距離挖七個孔，指孔內直徑 6mm，如圖 26。

→圖 26：各個方向的指孔鳥笛



↓ 圖 27：指孔內直徑的實驗



(1) 探討指孔內直徑對音高與頻率的影響

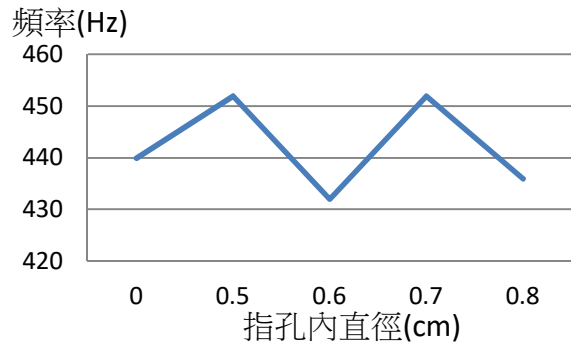
操縱變因：指孔內直徑

控制變因：竹體長度 14cm，竹體內直徑 3.5cm，標準吹嘴(吹嘴長度 4cm，內直徑 0.8cm，角度 30 度，吹嘴黏貼距離 0.9cm)，圓形氣窗、內直徑 0.8cm，竹體上下兩端加橡皮塞

應變變因：觀察頻率與響度的變化

指孔內直徑 (cm)	0	0.5	0.6	0.7	0.8
音高	A4	A4	A4	A4	A4
頻率(Hz)	440	452	432	452	436
響度(dB)	88.6	84.9	85.6	84.8	85.1

↑ 表 17：不同指孔內直徑所測得聲音的響度、頻率



↑ 圖表 29：不同指孔內直徑與頻率的關係

■ **【發現】**：①指孔內直徑每增加 0.1cm，頻率就呈現一高一低的規律，而且音高都是 A4。

②響度也呈現一高一低的規律。

(2) 指孔開孔方向的研究

操縱變因：指孔開孔方向(垂直、水平、斜向)

控制變因：竹體長度 14cm，竹體內直徑 3.5cm，標準吹嘴(吹嘴長度 4cm，內直徑 0.8cm，角度 30 度，吹嘴黏貼距離 0.9cm)，圓形氣窗、內直徑 0.8cm，竹體上下兩端加橡皮塞

應變變因：觀察頻率與響度的變化

a. 垂直方向開孔：

實驗結果：

開孔總和	0	1	2	3	4	5	6	7
音高	C#5	D5	F#5	G5	A#5	C6	D6	E6
頻率(Hz)	540	625	743	847	944	1074	1197	1300
響度(dB)	75	87.5	96.2	98.4	101.8	102.6	106.8	108.9

表 18：垂直方向中，不同數量開孔總和，所測得的頻率與響度

b. 水平方向開孔：

實驗結果：

開孔總和	0	1	2	3	4	5	6	7
音高	C5	F5	G5	A5	A#5	A#5	B5	B5
頻率(Hz)	516	719	806	862	932	947	1003	1103
響度(dB)	78.9	86.1	92.6	99.9	104.6	106.9	107.7	108.1

表 19：水平方向中，不同數量開孔總和，所測得的頻率與響度

c. 斜邊方向開孔：

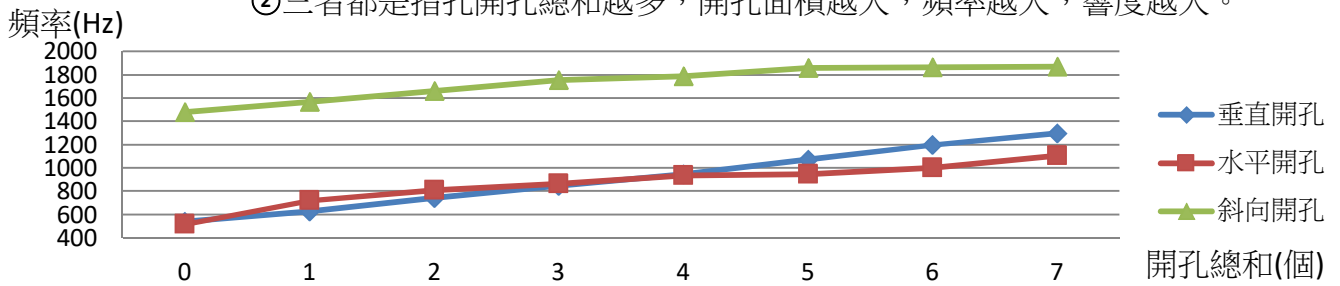
實驗結果：

開孔總和	0	1	2	3	4	5	6	7
音高	F6	G6	A6	A6	B6	B6	B6	B6
頻率(Hz)	1479	1567	1661	1756	1789	1861	1864	1869
響度(dB)	93.1	94.1	98.1	100	101.4	103.4	103.7	106.4

表 20：斜邊方向中，不同數量開孔總和，所測得的頻率與響度

- **【發現】**：①比較垂直、水平與斜向開孔的頻率，垂直比水平稍高，兩者相差不大。斜向頻率最大。

②三者都是指孔開孔總和越多，開孔面積越大，頻率越大，響度越大。



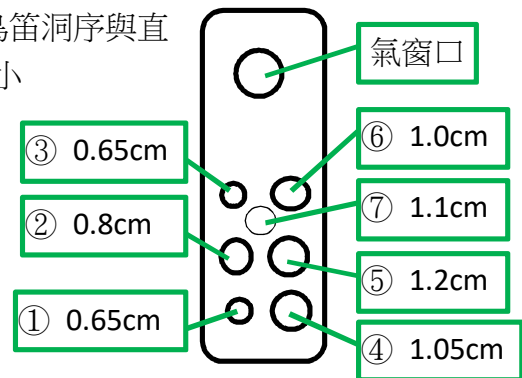
圖表 30：指孔鳥笛中各個方向開孔數總和，與頻率的關係

(3) 指孔面積的研究：

過程：在實驗中我們發現，竹管陶笛的指孔面積可以影響鳥笛的音高和頻率，所以我們不斷嘗試用各種尺寸的指孔，終於找到正確的指孔面積，其直徑大小如圖 28 所示。



→圖 28：指孔鳥笛洞序與直徑大小

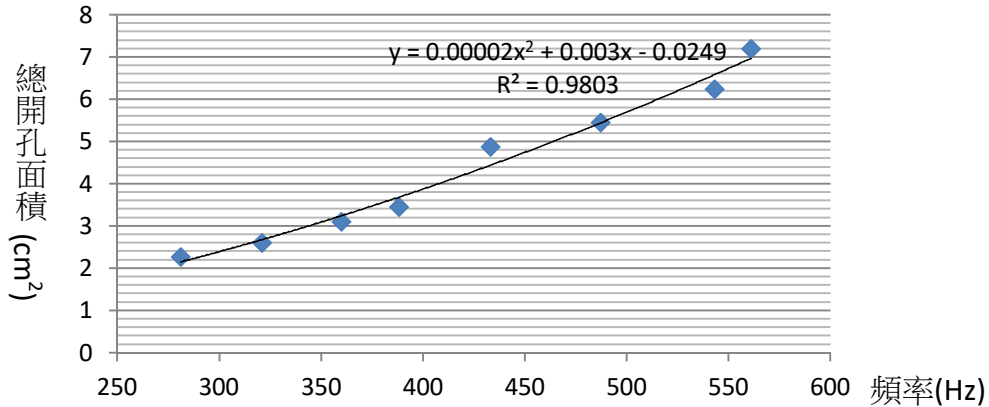


實驗結果：

※鳥笛開孔面積與頻率：

洞序	音名	開孔情形	音高	頻率(Hz)	新增氣孔/指孔直徑(cm)	增加的面積(cm ²)	總開孔面積 (cm ²)
	Re		D	281	1.7	2.27	2.27
①	Mi		E	321	0.65	0.34	2.61
②	Fa		F	360	0.8	0.5	3.11
③	Sol		G	388	0.65	0.34	3.45
④	La		A	433	1.05	0.88	4.88
⑤	Si		B	487	1.2	1.13	5.46
⑥	Do		#C	543	1.0	0.78	6.24
⑦	Re		D	561	1.1	0.95	7.19

※鳥笛總開孔面積與頻率的關係：



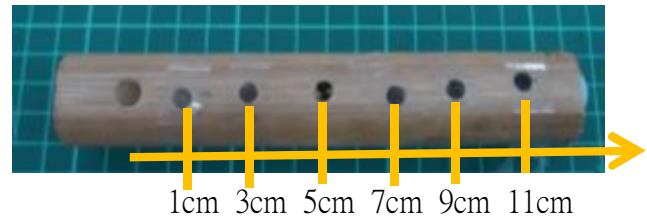
- **【發現】**：①開孔面積越大，頻率越大。
②我們發現指孔鳥笛開孔面積與頻率的關係，有一條趨近線，上國中時可再進一步研究。

(4) 指孔間距對頻率的影響：

a. 間距為奇數間隔：

方法：在氣窗右方距離為 1、3、5、7、9、11 公分處，各鑽一個孔，如圖 29。指孔內直徑 6mm。測量時，要量測的孔不塞，其餘皆塞住，依此類推，觀察聲音頻率與響度的變化。

↓圖 29：奇數間距實驗(此為測量 5cm 處)



實驗結果：

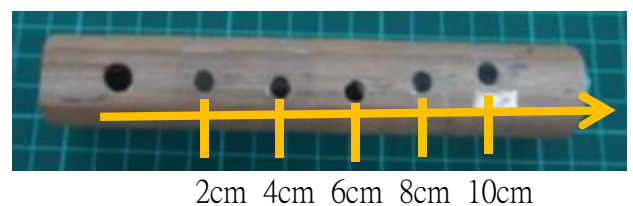
與氣窗的距離(cm)	0	1	3	5	7	9	11	平均
音高	F#6	G#6	G#6	F#6	G	G	G#6	
頻率(Hz)	1468	1632	1642	1487	1532	1582	1682	1575
響度(dB)	104	103.4	101.6	101.4	105.2	102.9	106.7	103.6

表 21：間距為奇數間隔時，所測得的頻率與響度

b. 間距為偶數間隔：

方法：在氣窗右方距離為 2、4、6、8、10 公分處，各鑽一個孔，如圖 30。指孔內直徑 6mm。測量時，要量測的孔不塞，其餘皆塞住，依此類推，觀察聲音頻率與響度的變化。

↓圖 30：偶數間距實驗(此為測量 6cm 處)



實驗結果：

與氣窗的距離(cm)	0	2	4	6	8	10	平均
音高	F#6	G#6	G	F	F#6	G#6	
頻率(Hz)	1457	1655	1602	1423	1507	1633	1546.167
響度(dB)	105.3	101	98.4	102.3	104.1	105.7	102.8

表 22：間距為偶數間隔時，所測得的頻率與響度

- **【發現】**：①比較表 21、表 22，奇數與偶數頻率平均數相差 29，響度平均數相差 0.8，而音高都是 F、G 之間，可見指孔間距對頻率與響度的影響不大。
②影響指孔鳥笛頻率的因素是指孔面積大小，間距影響不大。

陸、討論

- 一、鳥笛會發出聲音，是因為吹出的氣流，經過吹嘴後，撞擊到氣窗的笛唇，因笛唇的位置很薄又尖銳，當氣流碰撞到笛唇，有的氣流會發散於孔外，大部分的氣流則進入竹管內，發生漩渦而發聲。這就是「邊稜音」的原理。為了驗證邊稜音的原理，觀察氣流流動的變化，也尋找「空氣到底是從鳥笛中的哪個孔洞流出來的呢？」這個問題的答案，我們便想出在水裡進行觀察(圖 32)，令我們驚奇的是，鳥笛在水裡不但有聲音，且從圖 31 中可以發現，氣泡從笛孔的氣窗口(笛唇)流出去後，撞擊笛唇才發出聲音，並可以觀察到氣泡在笛子內跳動的情形，也驗證「邊稜音」的發聲現象。



圖 31(左)、圖 32(右)：利用水的密閉性觀察氣流在鳥笛內的流動，並觀察聲音的變化。

- 二、為了減少誤差，每個實驗都由專人測量，並以多次測量的平均數為基準。而測量的工具為游標尺，但由於竹子內部構造粗糙不平均，人為測量還是有點誤差，為了追求科學的準確性，所以，我們也用 PVC 塑膠水管來研究。
- 三、鳥笛的設計製作，包含全塞、不塞、半塞(近、遠)四種做變因的控制。但重點是依鳥笛內部構造，針對能發出高頻率做實驗設計，即全塞和無塞為準，而半塞(拉桿)也列入研究的項目之一，未來可再進一步研究。

柒、結論

- 一. 在鳥笛的構造中，吹嘴、氣窗、竹體，三者是影響音頻的重要因素，而三者是息息相關。
- (一) 從吹嘴本身的構造，我們發現：
1. 吹嘴黏貼位置，從距離氣窗 0.9cm 到 1.7cm，都能吹出聲音。越接近氣窗，頻率越大，響度越大。吹嘴黏貼位置為 0.9cm 時，頻率最高。
 2. 吹嘴角度位置，以 15 度到 50 度都能吹出聲音，以 30 度吹出的頻率最大。
- (二) 從竹體本身的構造，我們發現：
1. 竹體長度越短，頻率越大，響度越大。
 2. 竹體內直徑越小，頻率越大，響度越大。
 3. 竹體外殼厚度越薄，頻率越大，響度越大。

(三) 從氣窗構造中，我們發現：

1. 氣窗的形狀，以**圓形**吹出的頻率最大，響度最大，長方形頻率最小。
2. 氣窗的尖銳度，介於 2mm~0.5 mm 都可吹出聲音。越尖銳，吹出的頻率最大，響度最大。
氣窗的尖銳度 0.5mm 時頻率最大。

二. 從吹嘴、氣窗、竹體三者的互動，我們以三者的內直徑為主，來測量頻率響度，影響如下：

(一) 吹嘴內直徑與氣窗內直徑的互動

1. 當吹嘴內直徑與氣窗內直徑**相同時**，**頻率最大**。
2. 當氣窗內直徑與吹嘴內直徑**相差太大時**，**頻率最小**，如 14mm 配 5mm。

(二) 吹嘴內直徑與竹體內直徑的互動

1. 吹嘴內直徑 1cm，竹體內直徑 1.2cm，**頻率最大**。
2. **兩者相差太大時**，如 0.4cm 配 2.7 cm，則**無法吹出聲音**。

(三) 氣窗內直徑與竹體內直徑的互動

1. 氣窗內直徑 1.0 cm 配竹體內直徑 1.2 cm，**頻率最大**。
2. 若**兩者相差太大時**，如 0.5 cm 配 2.4cm，則**無法吹出聲音**。

(四) 我們找到一支最高頻率的鳥笛，竹體內直徑 1.2 cm，竹體長度 5cm，竹體厚度 4mm，吹嘴長度 4cm，吹嘴內直徑 1cm，吹嘴黏貼距離 0.9cm，吹嘴角度 30 度，圓形氣窗，氣窗內直徑 1cm，氣窗尖銳度 1.5mm(太薄怕裂開，不易保存)。

(五) 未來，我們再深入研究竹體的長度及吹嘴的厚度等其它兩者互動的變因。

三. 在鳥笛的生活應用情形中，有不同材質的鳥笛、拉桿鳥笛、指孔鳥笛，與實用的緊急發光拉拉笛。

(一) 材質不同的鳥笛:

1. 以 **PVC 塑膠水管**，吹出的頻率最大，響度最大，**紙捲筒**最小。
2. 頻率的順序是 **PVC 水管**、竹子、鋁(金屬)、木材、紙。
3. **紙捲筒鳥笛**和 **PVC 塑膠水管鳥笛**，內直徑**越小**，**頻率響度越大**。

(二) 拉桿鳥笛，以空氣柱的長短，上下拉動，控制頻率的大小，而產生音調的高低。

1. 在製作拉桿鳥笛時，我們畫出曲線圖時發現**呈現一條直線**。
2. 我們預測它可以找到公式。未來，上國中時，可以再繼續研究。

(三) **可同時發光與發聲的緊急發光拉拉笛**是個意外的發明，**不需要電池**，製作簡單，材料簡便，加入**螢光**方便尋找，是個求救的好幫手。

(四) **指孔鳥笛**，控制指孔面積的大小與方向，能吹出頻率不同的音調。

(五) 影響指孔鳥笛頻率的**因素是開孔面積**。

捌、生活應用與推廣

一、在緊急或地震時，它是能發出尖銳、高頻率聲音的「哨子」，攜帶方便，是個救人的「好幫手」，在水裡吹奏也能發出聲音。我們也在製作拉桿鳥笛時，產生靈感，與磁鐵、線圈結合，發明**不需要電池的「緊急發光拉拉笛」**。

→前後拉動，利用磁生電原理，產生電讓 LED 發亮，並藉由拉桿鳥笛做出聲音的變化來吸引人，達到求救的目的。

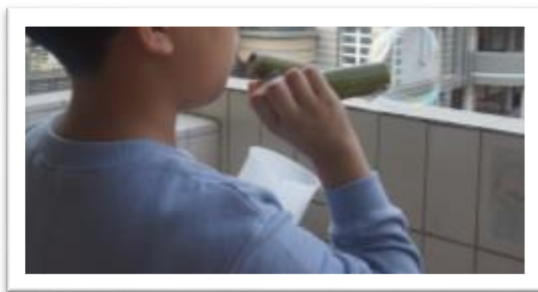


二、它是一個好玩又兼具本土性的玩具，能吹出清脆的鳥叫聲，控制開孔的面積，就能吹出動人的樂曲。



←我們一起去澄清湖，利用我們製作的鳥笛引鳥。

三、它能吹出大泡泡更增加它的趣味性。



四、取材容易，製作簡單，人人可做，適合全面推廣。



→掃把把手也可以變鳥笛！想不到吧！



五、它是模仿鳥類聲音的高手，體積容量大的鳥笛，聲音音色像貓頭鷹，珠頸斑鳩，救護車的呼叫聲。體積小的竹鳥笛，加水之後，可吹出群鳥共鳴的聲音。

六、印章鳥笛、雙吹笛(鴛鴦笛)等。



↑ 雙吹鳥笛，中間有竹節，兩個人一起吹可重奏、合奏，樂趣多！

← 方方正正印章鳥笛，可利用塞住那邊設計印章！

七、螢光鳥笛



← 抹上螢光塗料，緊急時可立即從背包中找到！

玖、展望與感想

- 一、改變吹嘴的外觀，直接把吹嘴嵌入竹體的上面，控制氣流的進出，可以吹得比較久，因此，設計更精巧的吹嘴，怎樣控制讓吹出的氣能吹得更久。
- 二、再繼續探討體積外型不同時，頻率與響度的變化。如三角柱、四角柱、球體等主體形狀。
- 三、未來再深入研究急難救助拉拉笛，體積縮小，攜帶方便，與多功能用途。
- 四、再蒐集不同的材質來做研究，如金屬銅、鐵等。此外，並深入探討氣流在竹體內部運動的情形。
- 五、動手做鳥笛，是一件讓人快樂又興奮的事，當完成一支鳥笛時，再加上用各種用具來測量，那種成就感是最高興的。期待下次能研究在水裡吹鳥笛的結果和發現。

拾、參考資料

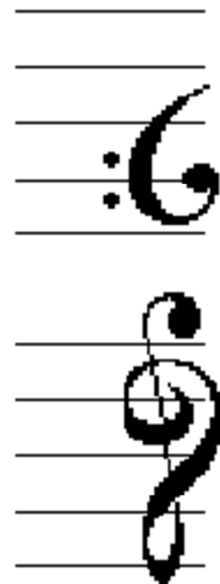
- 一、郭騰元 空氣的科學遊戲 造音高手 牛頓開發教科書 台北市 2000
- 二、柯啟瑤 聲和光 吸管哨子 科智文化 台北市 1990.3.2
- 三、中華民國 53 屆中小學科展 生活應用科學 多管咸試—膠管樂的製作與分析 郭清進 2013
- 四、中華民國 53 屆中小學科展 生活應用科學 綠色寶笛 陳秀蕙 2013
- 五、中華民國 49 屆中小學科展 生活應用科學 化腐朽為神奇的多多笛 涂博維 2009
- 六、附件一：Note names, MIDI numbers and frequencies，

<http://newt.phys.unsw.edu.au/jw/notes.html>

拾壹、 附件

附件一：對應的音名、鍵盤位置、頻率及 MIDI 編號

MIDI number		Note name	Keyboard	Frequency Hz		Period ms	
21	22	A0		27.500		36.36	
23		B0		30.868	29.135	32.40	34.32
24	25	C1		32.703		30.58	
26	27	D1		36.708	34.648	27.24	28.86
28		E1		41.203	38.891	24.27	25.71
29	30	F1		43.654		22.91	
31	32	G1		48.999	46.249	20.41	21.62
33	34	A1		55.000	51.913	18.18	19.26
35		B1		61.735	58.270	16.20	17.16
36	37	C2		65.406		15.29	
38	39	D2		73.416	69.296	13.62	14.29
40		E2		82.407	77.782	12.13	12.86
41	42	F2		87.307		11.45	
43	44	G2		97.999	92.499	10.20	10.81
45	46	A2		110.00	103.83	9.091	9.631
47		B2		123.47	116.54	8.099	8.581
48	49	C3		130.81		7.645	
50	51	D3		146.83	138.59	6.811	7.216
52		E3		164.81	155.56	6.068	6.428
53	54	F3		174.61		5.727	
55	56	G3		196.00	185.00	5.102	5.405
57	58	A3		220.00	207.65	4.545	4.816
59		B3		246.94	233.08	4.050	4.290
60	61	C4		261.63		3.822	
62	63	D4		293.67	277.18	3.405	3.608
64		E4		329.63	311.13	3.034	3.214
65	66	F4		349.23		2.863	
67	68	G4		392.00	369.99	2.551	2.703
69	70	A4		440.00	415.30	2.273	2.408
71		B4		493.88	466.16	2.025	2.145
72	73	C5		523.25		1.910	
74	75	D5		587.33	554.37	1.703	1.804
76		E5		659.26	622.25	1.517	1.607
77	78	F5		698.46		1.432	
79	80	G5		783.99	739.99	1.276	1.351
81	82	A5		880.00	830.61	1.136	1.204
83		B5		987.77	932.33	1.012	1.073
84	85	C6		1046.5		0.9556	
86	87	D6		1174.7	1108.7	0.8513	0.9020
88		E6		1318.5	1244.5	0.7584	0.8034
89	90	F6		1396.9		0.7159	
91	92	G6		1568.0	1480.0	0.6378	0.6757
93	94	A6		1760.0	1661.2	0.5682	0.6020
95		B6		1975.5	1864.7	0.5062	0.5363
96	97	C7		2093.0		0.4778	
98	99	D7		2349.3	2217.5	0.4257	0.4510
100		E7		2637.0	2489.0	0.3792	0.4018
101	102	F7		2793.0		0.3580	
103	104	G7		3136.0	2960.0	0.3189	0.3378
105	106	A7		3520.0	3322.4	0.2841	0.3010
107		B7		3951.1	3729.3	0.2531	0.2681
108		C8	J. Wolfe, UNSW	4186.0		0.2389	



※出處：Note names, MIDI numbers and frequencies，

<http://newt.phys.unsw.edu.au/jw/notes.html>

【評語】 080818

1. 研究成果豐富，資料整理與呈現詳細。
2. 能分析歷屆科展相關作品，為研究方向定位。
3. 研究題目具實用性與參考性。
4. 部分實驗（例如：竹體的長度、指孔面積...等等），由歷屆科展作品或文獻即可預知或推知結果，可不必做。