

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

080101

水鳥笛發聲機制之研究

學校名稱：連江縣立中正國民中小學

作者： 小六 葉品妍 小六 陳亮吟	指導老師： 陳珮瑤 曹祐慈
-------------------------	---------------------

關鍵詞：水鳥笛、頻率

水鳥笛發聲機制之研究

一、摘要

本次科展以探究自製水鳥笛的發聲機制為主題，主要因為地區有許多特有鳥類，希望這個實驗可以做為未來模擬鳥類發聲水鳥笛研究的參考，也可以作為地區發展體驗觀光的參考。

本研究分別以無水與有水時的發聲情形做探討。在無水時分別觀察吹管與內吸管粗細、長短與頻率的關係。有水時則探究何時發生多頻音，而在產生多頻音的情況下，影響的發聲的因素有哪些。

結果發現無水時水鳥笛發出單一頻率之聲音，且內吸管越長頻率越低，與內吸管粗細、外吸管長短、外吸管粗細無關。在有水的情況下若水位不及內吸管底部，則發出的聲音與無水時相同；若水位高於內吸管底部，則產生多頻聲音，且水位越高多頻變化越快。

二、研究動機

在我們所生長的馬祖，蟲鳴鳥叫不絕於耳。在科學營中第一次接觸到用常見的飲料瓶加水，用吸管吹氣，就能發出啾啾啾……像鳥叫聲的水鳥笛。從此點燃起我們對於水鳥笛聲音變化的好奇心，因此想針對水鳥笛的發聲原理，進行探索與研究。

三、研究目的

探討影響對水鳥笛吹氣時的聲音頻率變化及影響其發聲的因素。

四、研究器材

(一)水鳥笛DIY

1. 統一規格透明玻璃瓶
2. 寶特瓶蓋
3. 寬度0.5cm、0.7cm、1.2cm的吸管
4. 寬度吸管
5. 熱熔膠槍
6. 熱融膠條

(二)10mL 針筒 1 個

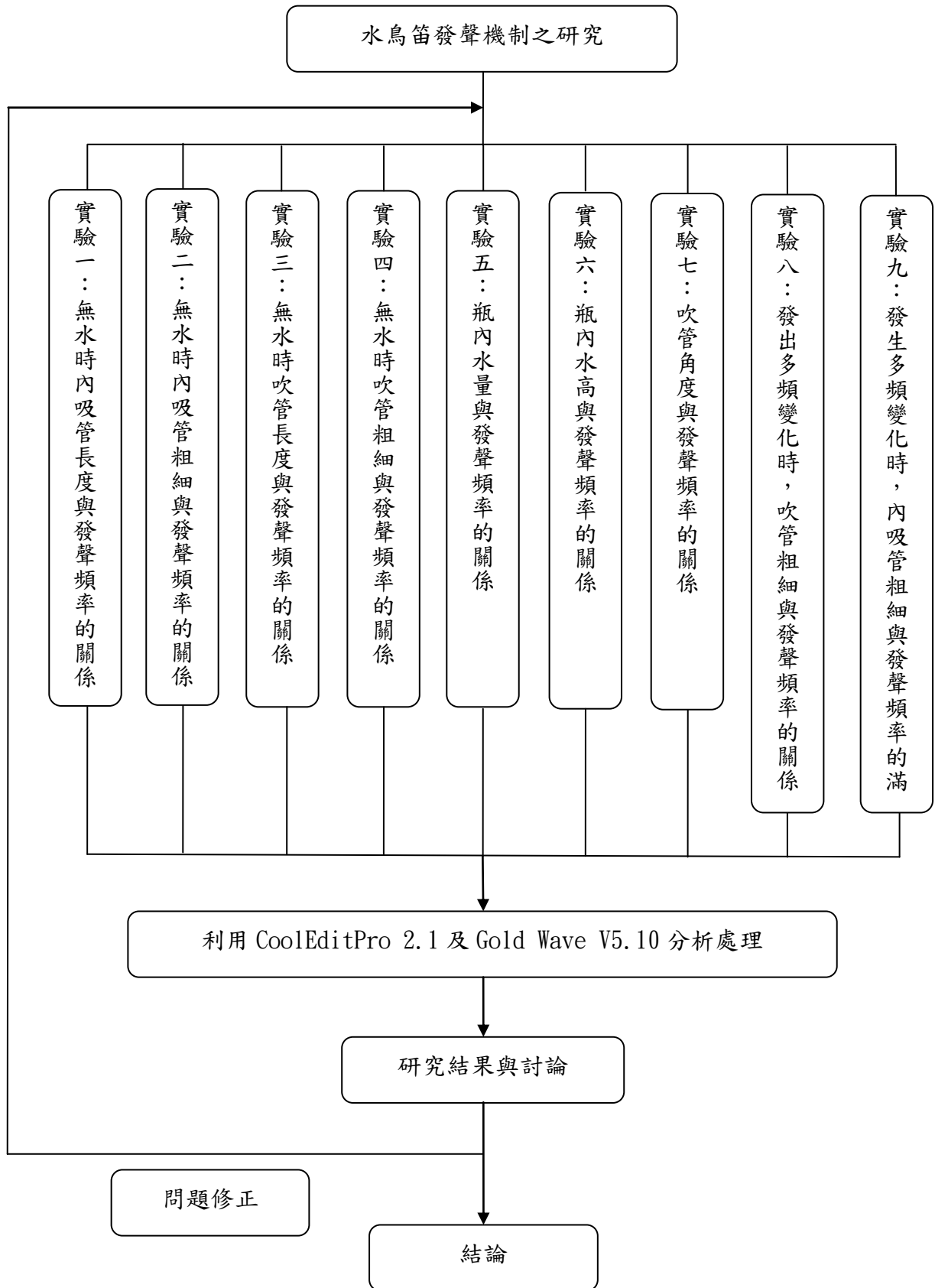
(三)mp3 錄音機

(四)玻璃燒杯

(五)Gold Wave V5.10、CoolEditPro2.1等音訊處理軟體

五、研究過程與方法

(一)研究架構



(二)研究方法

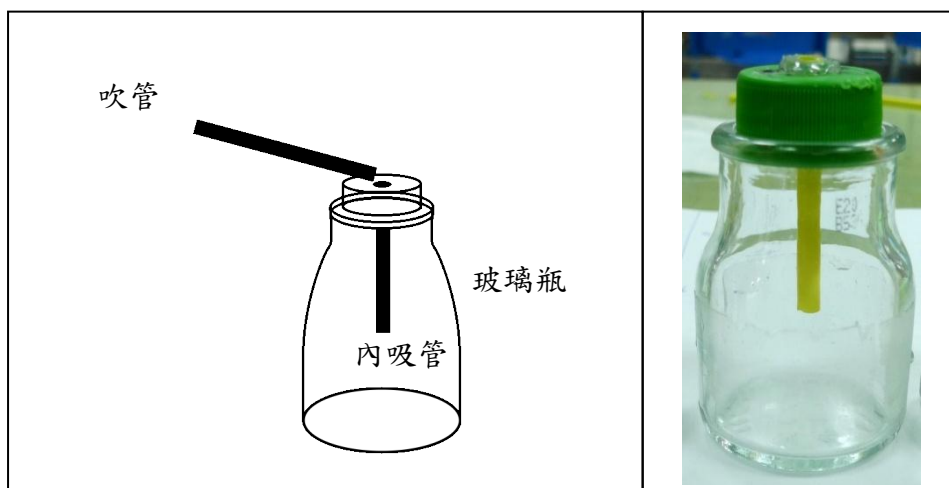
1. 改變自製水鳥笛的不同變因，並且利用吹氣的方式，使其發出聲音。
2. 以mp3記錄下各種情況下水鳥笛所發出的聲音後，利用音訊處理軟體 CoolEditPro 2.1及Gold Wave V5.10進行分析，觀察其聲音特徵並計算頻率。
3. 頻率計算的方式：利用Gold Wave V5.10軟體估算出10次週期的時間，再加以平均後求倒數，即為頻率大小。

$$\text{頻率(Hz)} = \frac{1}{\text{週期(Sec)}}$$

(三)研究步驟

1. 實驗一：內吸管長度與發聲頻率的關係

(1) 實驗裝置如下圖(一)



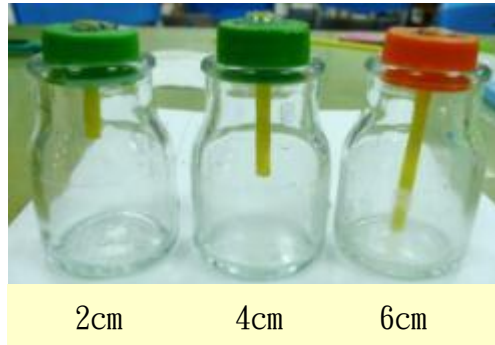
圖(一)自製水鳥笛裝置圖

- (2) 固定瓶內不裝水、吹管長度3.00cm、吹管直徑0.50cm、內吸管直徑0.50cm。
- (3) 改變不同內吸管長度(2.00cm、4.00cm、6.00cm)，吹氣使其發出聲音，並利用mp3紀錄發出之聲音。



圖(二)mp3

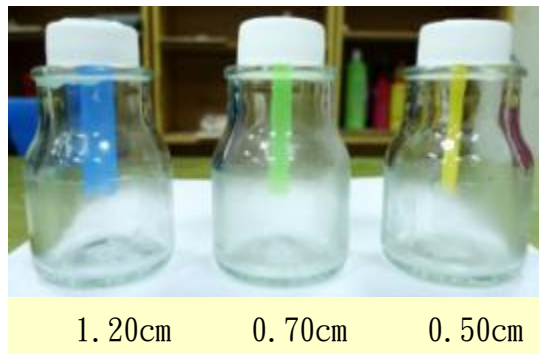
- (4) 使用CoolEditPro 2.1及Gold Wave V5.10找出頻率 - 時間變化關係圖及頻率大小。



圖(三)不同內吸管長度的水鳥笛

2. 實驗二：內吸管粗細與發聲頻率的關係

- (1) 利用自製水鳥笛(裝置如圖一)，瓶內不裝水、固定吹管長度3.00cm、吹管直徑0.50cm、內吹管長度4.00cm。
- (2) 改變不同內吸管粗細(直徑0.50cm、0.70cm、1.20cm)，吹氣使其發出聲音，並利用mp3紀錄發出之聲音。
- (3) 使用CoolEditPro 2.1及Gold Wave V5.10找出頻率 - 時間變化關係圖及頻率大小。



圖(四)不同內吸管粗細的水鳥笛

3. 實驗三：吹管長度與發聲頻率的關係

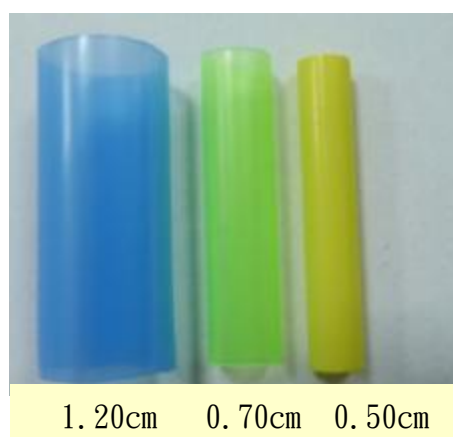
- (1) 利用自製水鳥笛(裝置如圖一)，瓶內不裝水、固定內吸管長度為2.00cm、內吸管直徑0.50cm、吹管直徑0.50cm。
- (2) 改變不同吹管長度(3.00cm、6.00cm、9.00cm)，吹氣使其發出聲音，並利用mp3紀錄發出之聲音。
- (3) 使用CoolEditPro 2.1及Gold Wave V5.10找出頻率 - 時間變化關係圖及頻率大小。



圖(五)不同長度的吹管

4. 實驗四：吹管粗細與發聲頻率的關係

- (1) 利用自製水鳥笛(裝置如圖一)，瓶內不裝水、固定吹管長度為3.00cm，吹管直徑0.50cm、內吸管長度為4.50cm，內吸管直徑0.70cm。
- (2) 改變不同吹管粗細(直徑0.50cm、0.70cm、1.20cm)，吹氣使其發出聲音，並利用mp3紀錄發出之聲音。
- (3) 使用CoolEditPro 2.1及Gold Wave V5.10找出頻率 - 時間變化關係圖及頻率大小。



圖(六)不同粗細的吹管

5. 實驗五：瓶內水量與發聲頻率的關係

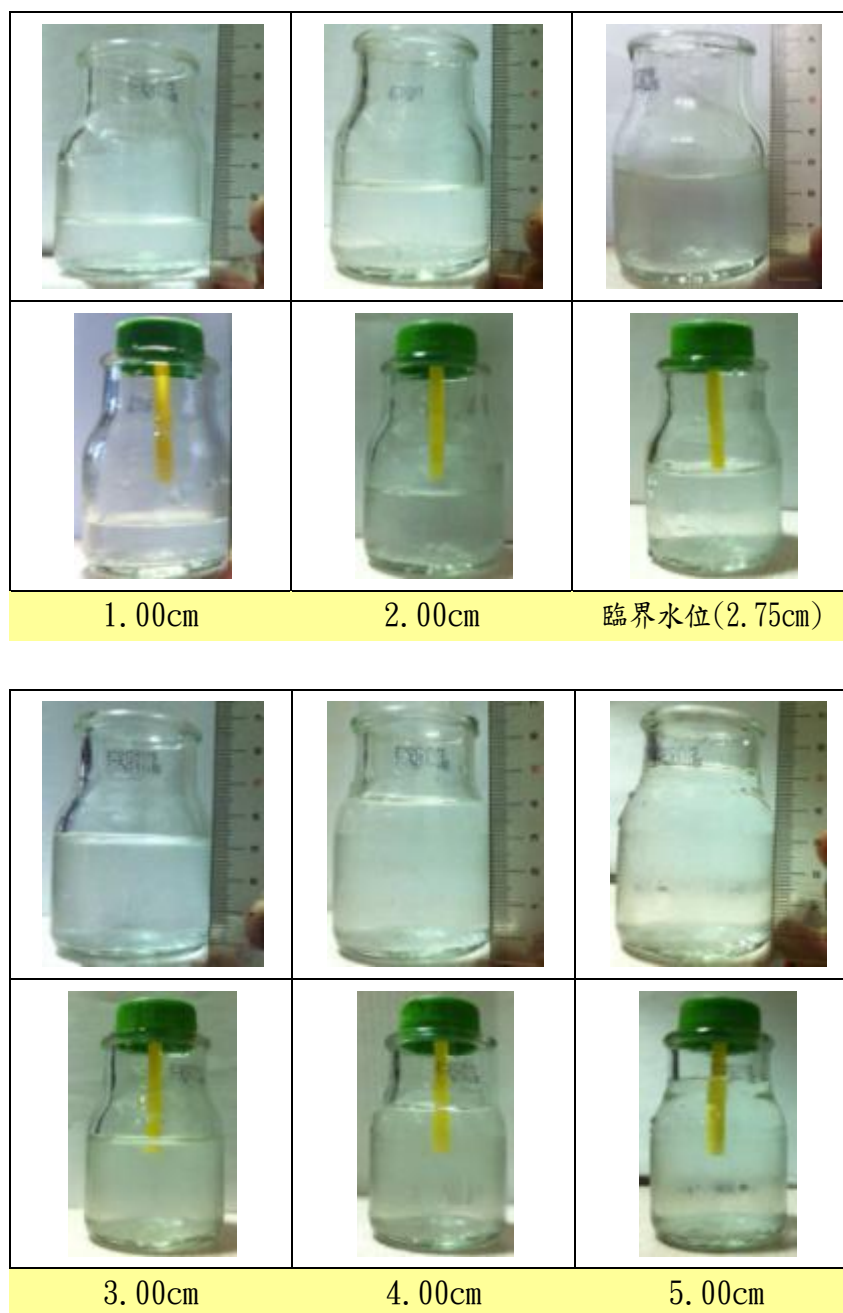
- (1) 利用自製水鳥笛(裝置如圖一)，固定吹管長度為3.00cm，吹管直徑0.50cm、內吸管長度為4.00cm，內吸管直徑0.50cm。
- (2) 改變不同瓶內水量(18.0 ml、36.0ml、42.0ml、48.0ml、54.0ml、60.0ml、66.0ml)，吹氣使其發出聲音，並利用mp3紀錄發出之聲音。
- (3) 使用CoolEditPro 2.1找出頻率 - 時間變化關係圖。



圖(七)不同水量的水鳥笛

6. 實驗六：瓶內水高與發聲頻率的關係

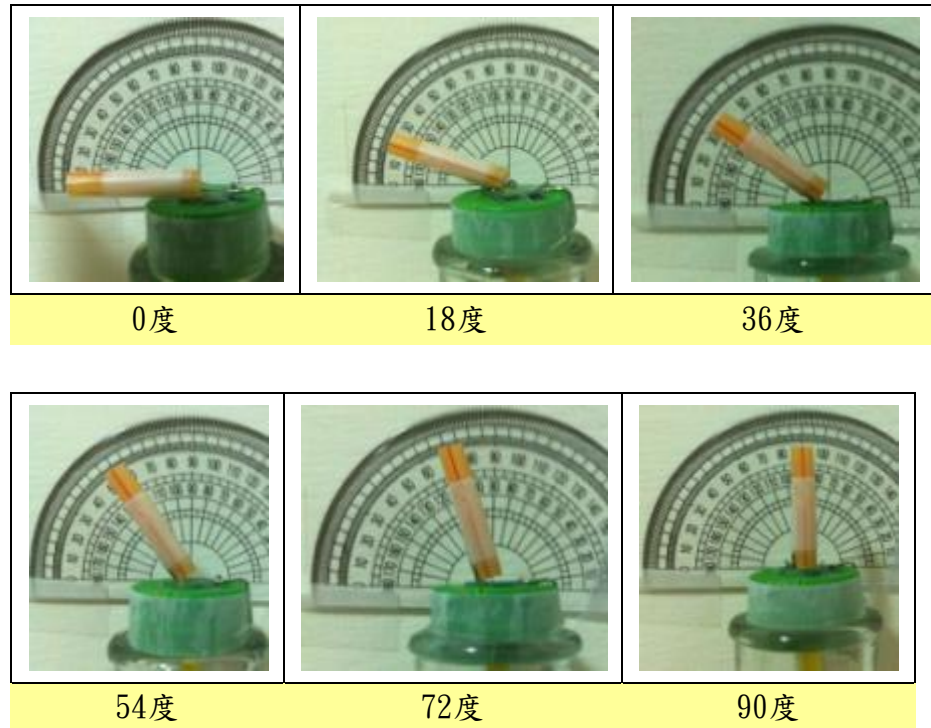
- (1) 利用自製水鳥笛(裝置如圖一)，固定吹管長度為3.00cm，吹管直徑0.50cm、內吸管長度為4.00cm，內吸管直徑0.50cm。
- (2) 改變不同瓶內水高(1.00cm、2.00cm、3.00cm、4.00cm、5.00cm及水與內吸管底部恰好接觸時的水高)，吹氣使其發出聲音，並利用mp3紀錄發出之聲音。
- (3) 使用CoolEditPro 2.1找出頻率 - 時間變化關係圖。



圖(八)不同瓶內水高

7. 實驗七：吹管角度與發聲頻率的關係

- (1) 利用自製水鳥笛(裝置如圖一)，固定吹管長度為3.00cm，吹管直徑0.50cm、內吸管長度為4.00cm，內吸管直徑0.50cm，且水量高於內吸管底部。
- (2) 改變不同吹管角度(0度、18度、36度、54度、72度、90度)，吹氣使其發出聲音，並利用mp3紀錄發出之聲音。
- (3) 使用CoolEditPro 2.1找出頻率 - 時間變化關係圖。



圖(九)不同吹管角度

8. 實驗八：發生多頻變化時，吹管粗細與發聲頻率的關係

- (1) 利用自製水鳥笛(裝置如圖一)，固定吹管長度為3.00cm、內吸管長度為4.00cm，內吸管直徑0.50cm，且水量高於內吸管底部。
- (2) 改變不同吹管粗細(直徑0.50cm、0.70cm、1.20cm)，吹氣使其發出聲音，並利用mp3紀錄發出之聲音。
- (3) 使用CoolEditPro 2.1找出頻率 - 時間變化關係圖。



圖(十)發生多頻變化時，不同吹管粗細的影響

9. 實驗九：發生多頻變化時，內吸管粗細與發聲頻率的關係

- (1) 利用自製水鳥笛(裝置如圖一)，固定吹管長度為3.00cm、吹管直徑0.50cm、內吸管長度為4.00cm，且水量高於內吸管底部。
- (2) 改變不同內吸管粗細(直徑0.50cm、0.70cm、1.20cm)，吹氣使其發出聲音，並利用mp3紀錄發出之聲音。
- (3) 使用CoolEditPro 2.1找出頻率 - 時間變化關係圖。



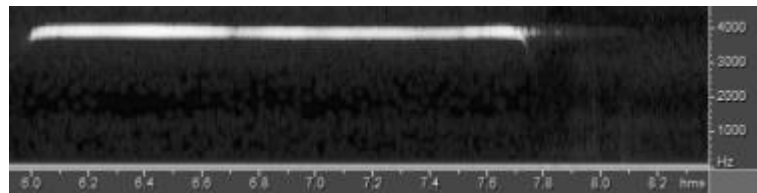
圖(十一)發生多頻變化時，不同內吸管粗細的影響

六、研究結果

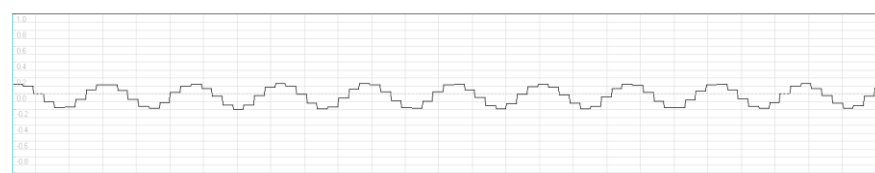
(一)瓶內吸管長度與頻率變化的關係：

(瓶內不裝水、吹管長度為3.00cm、吹管直徑0.50cm、內吸管直徑0.50cm)

1. 內吸管長度2.00cm時



圖(十二)內吸管長度2.00cm時頻譜圖



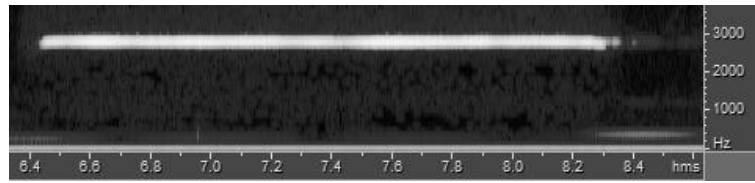
4.06105 4.06360 時間(sec)

圖(十三)內吸管長度2.00cm時振幅圖

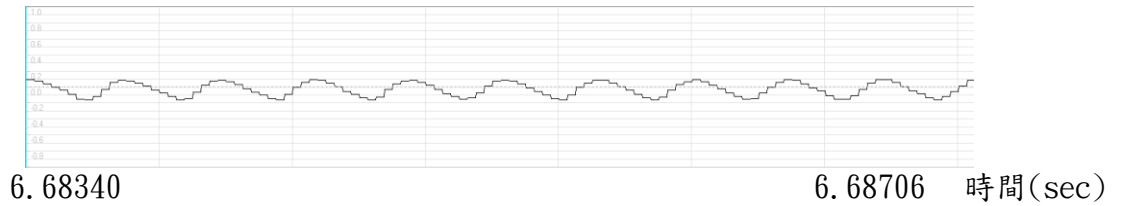
$$\text{頻率} = \frac{1}{\frac{(4.06360 - 4.06105)}{10}} \approx 3921(\text{Hz})$$

※實驗結果發現：內吸管長度2.00cm時，發出的聲音為一單頻音，頻率為3921Hz

2. 內吸管長度4.00cm時



圖(十四)內吸管長度4.00cm時頻譜圖

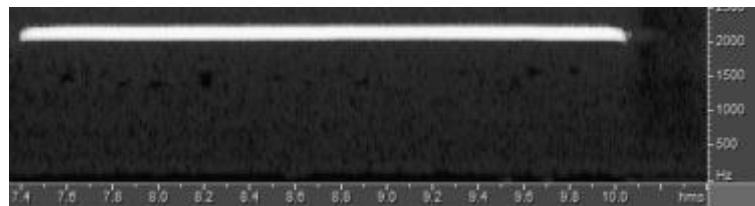


圖(十五)內吸管長度4.00cm時振幅圖

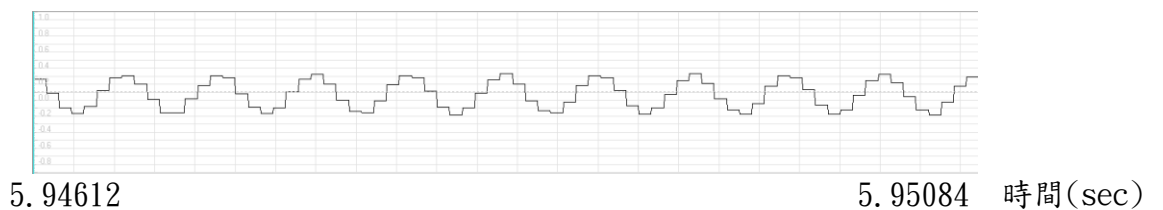
$$\text{頻率} = \frac{1}{\frac{(6.68706 - 6.68340)}{10}} \approx 2732(\text{Hz})$$

※實驗結果發現：內吸管長度4.00cm時，發出的聲音為單頻音，頻率為2732Hz。

3. 內吸管長度6.00cm時



圖(十六)內吸管長度6.00cm時頻譜圖



圖(十七)內吸管長度6.00cm時振幅圖

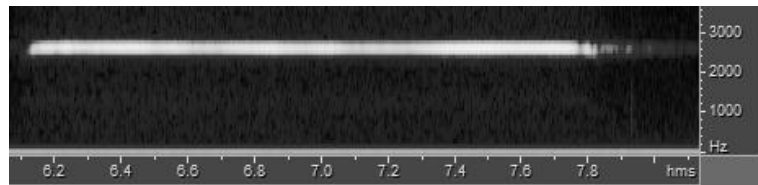
$$\text{頻率} = \frac{1}{\frac{(5.95084 - 5.94612)}{10}} \approx 2119(\text{Hz})$$

※實驗結果發現：內吸管長度6.00cm時，發出的聲音為單頻音，頻率為2119Hz。

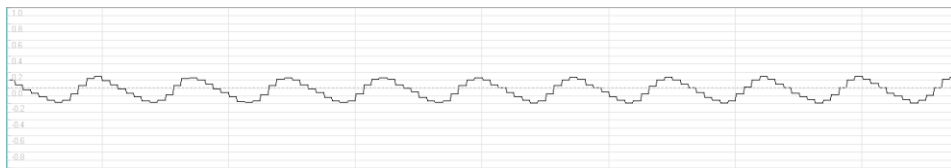
(二)瓶內吸管粗細與頻率變化的關係：

(瓶內不裝水、固定吹管長度3.00cm、吹管直徑0.50cm、內吸管長度4.0cm。)

1. 內吸管直徑0.5cm



圖(十八)內吸管直徑0.5cm時頻譜圖



4.72862

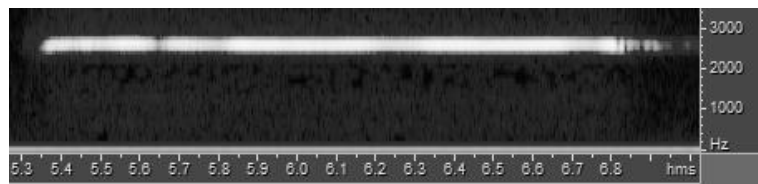
4.73237 時間(sec)

圖(十六)內吸管直徑0.5cm時振幅圖

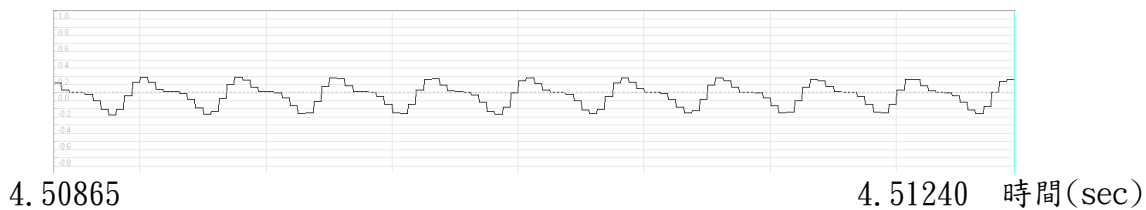
$$\text{頻率} = \frac{1}{\frac{(4.73237 - 4.72862)}{10}} \approx 2667(\text{Hz})$$

※實驗結果發現：內吸管直徑0.50cm時，發出的聲音為一單頻音，頻率為2667Hz。

2. 內吸管直徑0.7cm



圖(十九)內吸管直徑0.7cm時頻譜圖



圖(二十)內吸管直徑0.7cm時振幅圖

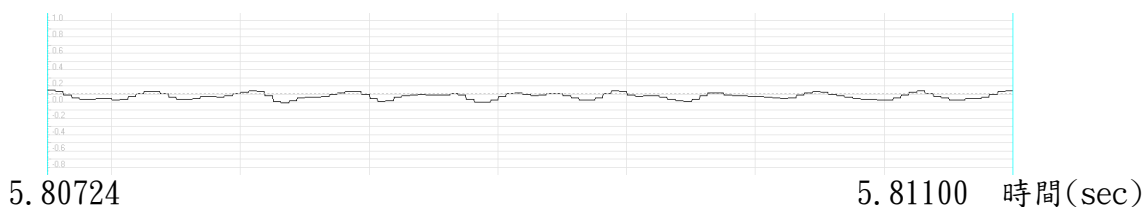
$$\text{頻率} = \frac{1}{\frac{(4.51240 - 4.50865)}{10}} \approx 2667(\text{Hz})$$

※實驗結果發現：內吸管直徑0.70cm時，發出的聲音為一單頻音，頻率為2667Hz。

3. 內吸管直徑1.2cm



圖(二十一)內吸管直徑1.2cm時頻譜圖



圖(二十二)內吸管直徑1.2cm時振幅圖

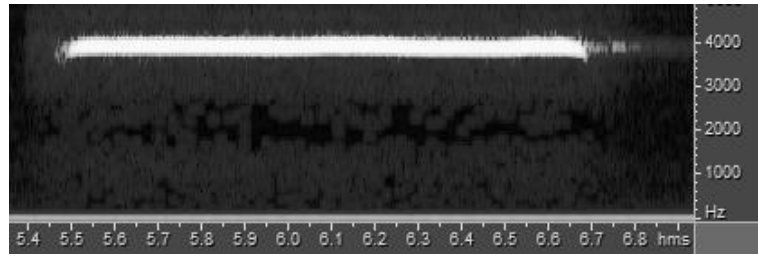
$$\text{頻率} = \frac{1}{\frac{(5.81100 - 5.80724)}{10}} \approx 2660(\text{Hz})$$

※實驗結果發現：內吸管直徑1.20cm時，發出的聲音為一單頻音，頻率為2660Hz。

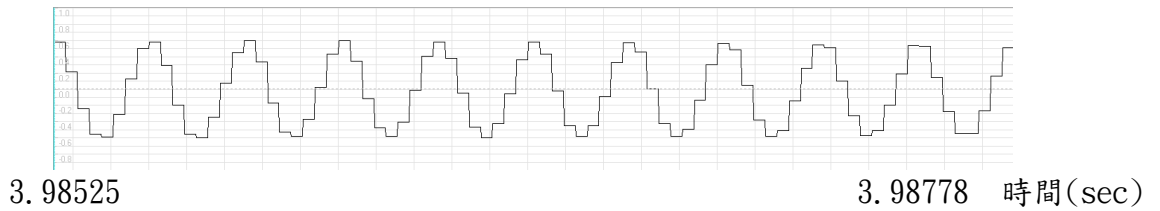
(三)吹管長度與頻率變化的關係：

(瓶內不裝水、固定內吸管長度為2cm、內吸管直徑0.5cm、吹管直徑0.5cm。)

1. 吹管長3.00cm



圖(二十三)吹管長3.00cm時頻譜圖

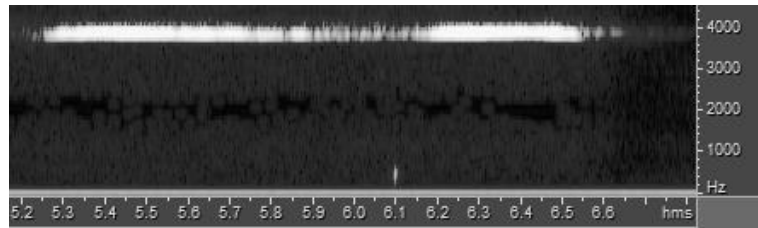


圖(二十四)吹管長3.00cm時振幅圖

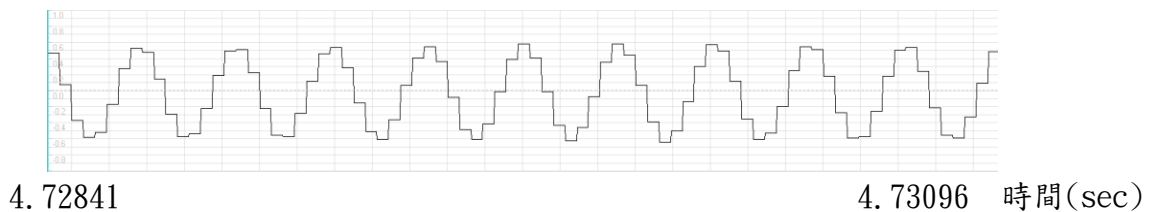
$$\text{頻率} = \frac{1}{\frac{(3.98778 - 3.98525)}{10}} \approx 3953(\text{Hz})$$

※實驗結果發現：吹管長3.00cm時，發出的聲音為一單頻音，頻率為3953Hz。

2. 吹管長6.00cm



圖(二十五)吹管長6.00cm時頻譜圖

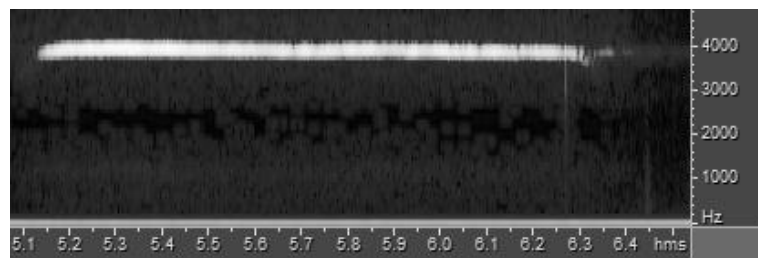


圖(二十六)吹管長6.00cm時振幅圖

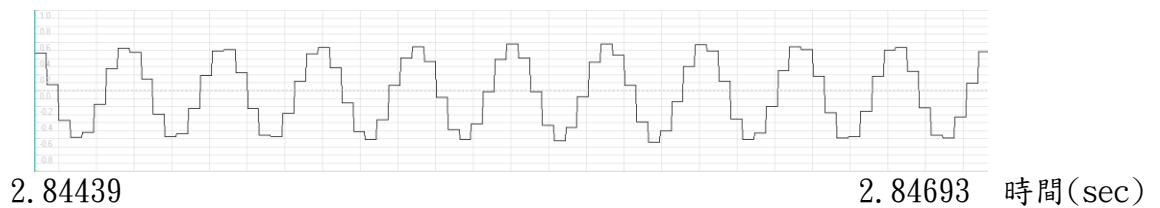
$$\text{頻率} = \frac{1}{\frac{(4.73096 - 4.72841)}{10}} \approx 3922(\text{Hz})$$

※實驗結果發現：吹管長6.00cm時，發出的聲音為一單頻音，頻率為3922Hz。

3. 吹管長9.00cm



圖(二十七)吹管長9.00cm時頻譜圖



圖(二十八)吹管長9.00cm時振幅圖

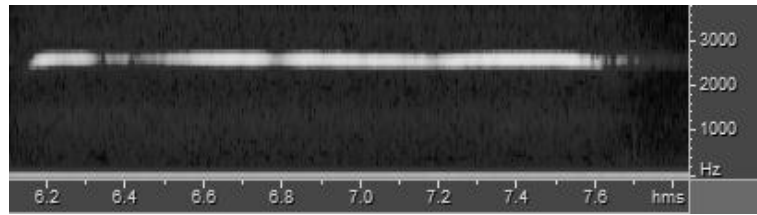
$$\text{頻率} = \frac{1}{\frac{(2.84693 - 2.84439)}{10}} \approx 3937(\text{Hz})$$

※實驗結果發現：吹管長9.00cm時，發出的聲音為一單頻音，頻率3937Hz。

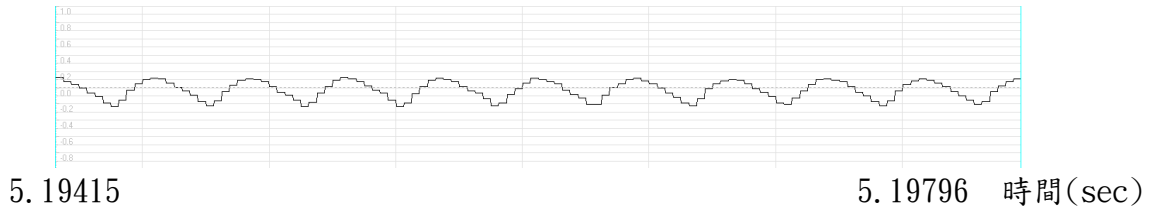
(四)吹管粗細與頻率變化的關係：

(瓶內不裝水、固定吹管長度為3.00cm，吹管直徑0.50cm、內吸管長度為4.50cm，內吸管直徑0.70cm。)

1. 吹管直徑0.50cm



圖(二十九)吹管直徑長0.5cm時頻譜圖



圖(二十八)吹管直徑長0.5cm時振幅圖

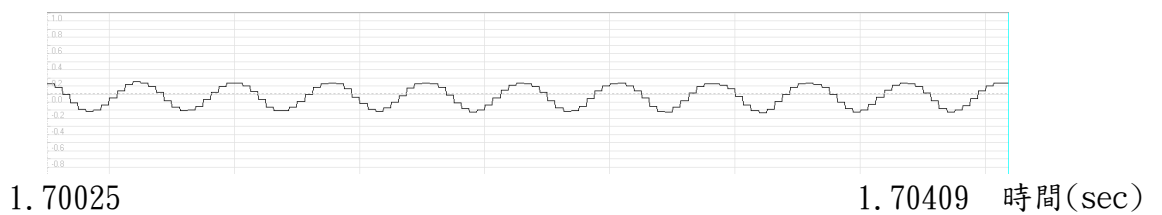
$$\text{頻率} = \frac{1}{\frac{(5.19796 - 5.19415)}{10}} \approx 2625(\text{Hz})$$

※實驗結果發現：吹管直徑0.50cm時，發出的聲音為一單頻音，頻率為2625Hz。

2. 吹管直徑0.70cm



圖(三十)吹管直徑長0.7cm時振幅圖



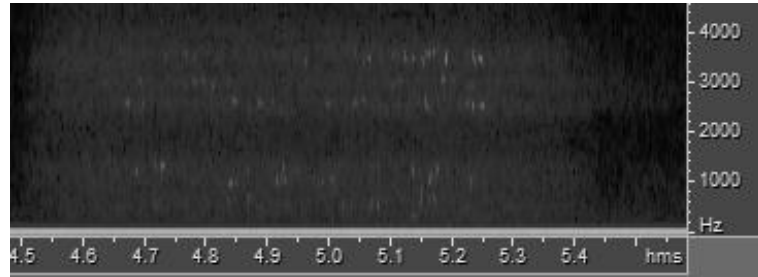
圖(三十一)吹管直徑長0.7cm時振幅圖

$$\text{頻率} = \frac{1}{\frac{(1.70409 - 1.70025)}{10}} \approx 2604(\text{Hz})$$

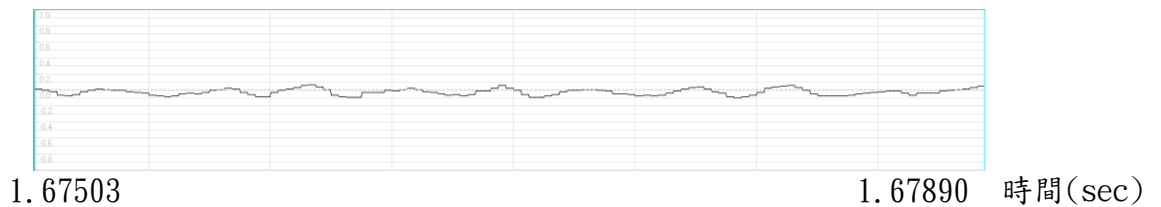
※實驗結果發現：吹管直徑0.70cm時，發出的聲音為一單頻音，頻率

為2604Hz。

3. 吹管直徑1.20cm



圖(三十二)吹管直徑長1.2cm時頻譜圖



圖(三十三)吹管直徑長1.2cm時振幅圖

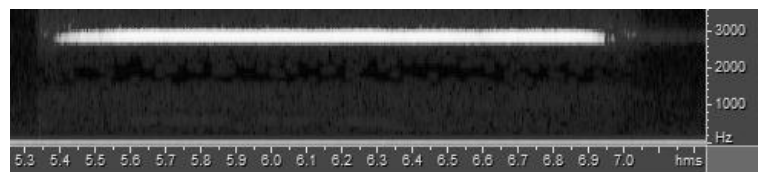
$$\text{頻率} = \frac{1}{\frac{(1.67890 - 1.67503)}{10}} \approx 2584(\text{Hz})$$

※實驗結果發現：吹管直徑1.20cm時，發出的聲音為一單頻音，頻率為2584Hz。

(五)瓶內水量與頻率變化的關係：

(固定吹管長度為3.00cm，吹管直徑0.50cm、內吸管長度為4.00cm，內吸管直徑0.50cm。)

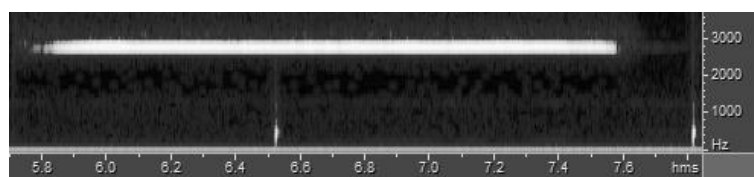
1. 瓶內水量18.0ml



圖(三十四) 瓶內水量18.0ml時頻譜圖

※實驗結果發現：瓶內水量為18.0ml時發出單頻音。

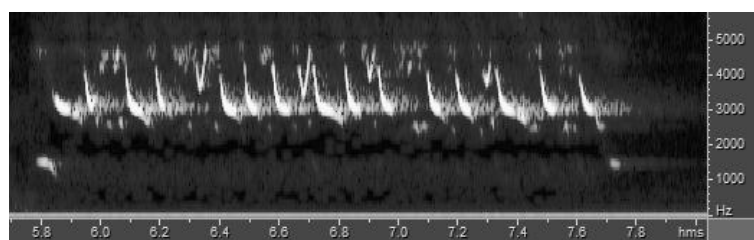
2. 瓶內水量36.0ml



圖(三十五) 瓶內水量36.0ml時頻譜圖

※實驗結果發現：瓶內水量為36.0ml時發出單頻音。

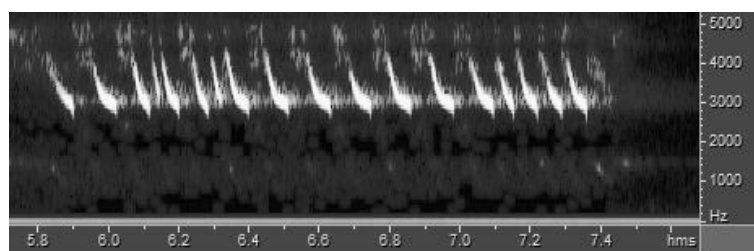
3. 瓶內水量42.0ml



圖(三十六) 瓶內水量42.0ml時頻譜圖

※實驗結果發現：瓶內水量為42.0ml時發出多頻音。

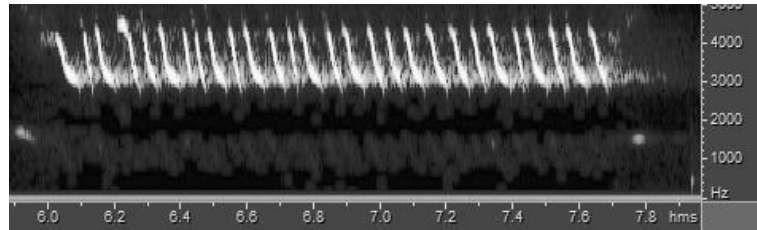
4. 瓶內水量48.0ml



圖(三十七) 瓶內水量48.0ml時頻譜圖

※實驗結果發現：瓶內水量為48.0ml時發出多頻音。

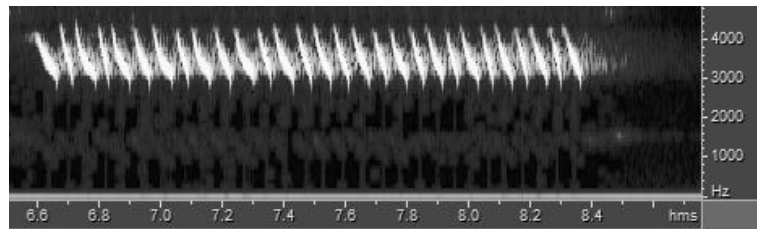
5. 瓶內水量54.0ml



圖(三十八) 瓶內水量54.0ml時頻譜圖

※實驗結果發現：瓶內水量為54.0ml時發出多頻音。

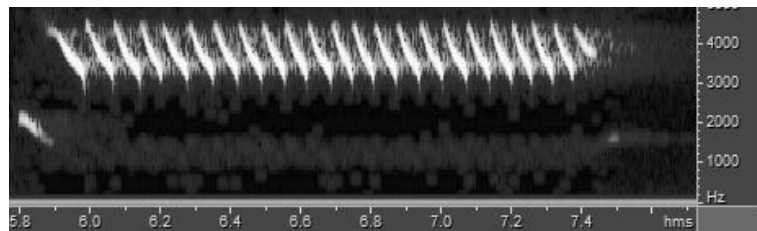
6. 瓶內水60.0量ml



圖(三十九) 瓶內水量60.0ml時頻譜圖

※實驗結果發現：瓶內水量為60.0ml時發出多頻音。

7. 瓶內水量66.0ml



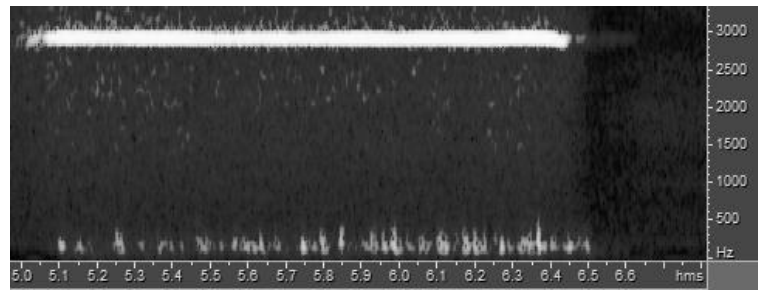
圖(四十) 瓶內水量66.0ml時頻譜圖

※實驗結果發現：瓶內水量為66.0ml時發出多頻音。

(六)瓶內水高與頻率變化的關係：

(固定吹管長度為3.00cm，吹管直徑0.50cm、內吸管長度為4.00cm，內吸管直徑0.50cm。)

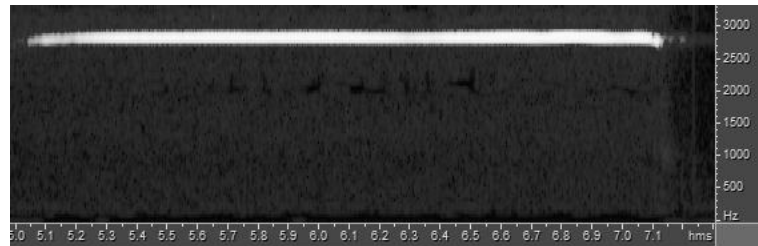
1. 瓶內水高1.0cm。



圖(四十一) 瓶內水高1.0cm時頻譜圖

※實驗結果發現：瓶內水量為1.0cm時發出單頻音。

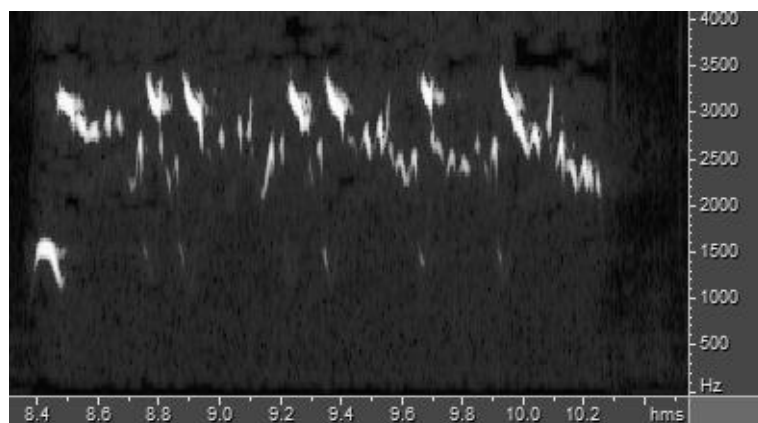
2. 瓶內水高2.0cm。



圖(四十二) 瓶內水高2.0cm時頻譜圖

※實驗結果發現：瓶內水量為2.0cm時發出單頻音。

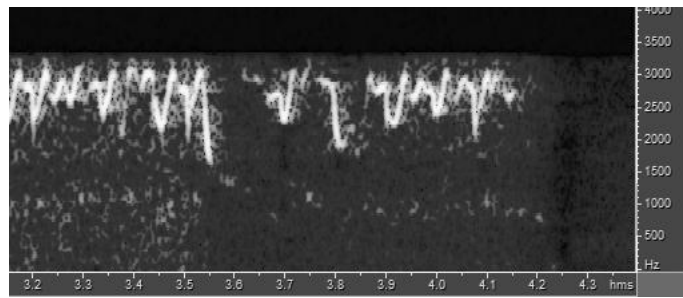
3. 臨界水位。



圖(四十三) 瓶內水高臨界水位時頻譜圖

※實驗結果發現：瓶內水量為臨界水位時發出多頻音。

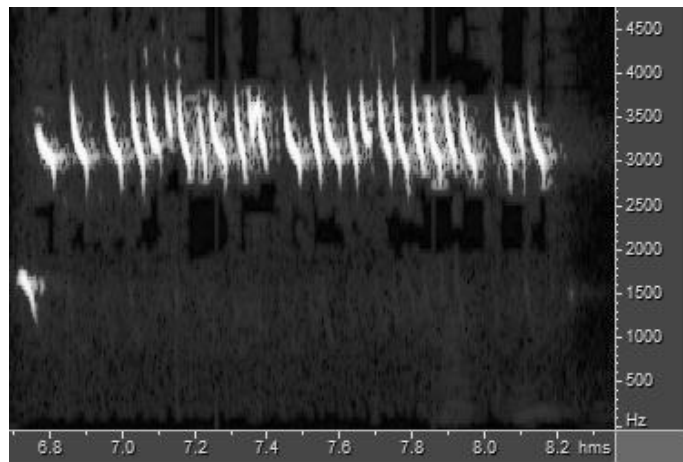
4. 瓶內水高3.0cm。



圖(四十四) 瓶內水高3.0cm時頻譜圖

※實驗結果發現：瓶內水量為3.0cm時發出多頻音。

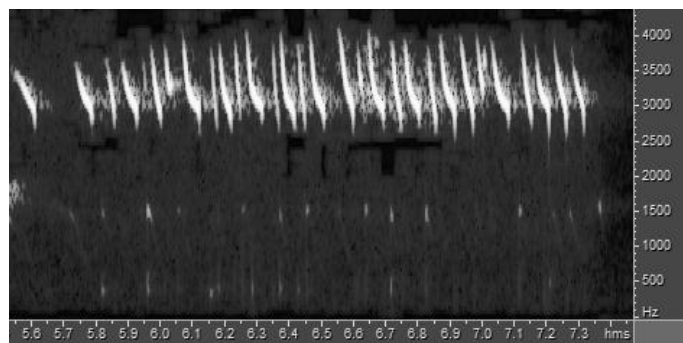
5. 瓶內水高4.0cm。



圖(四十五) 瓶內水高4.0cm時頻譜圖

※實驗結果發現：瓶內水量為4.0cm時發出多頻音。

6. 瓶內水高5.0cm。

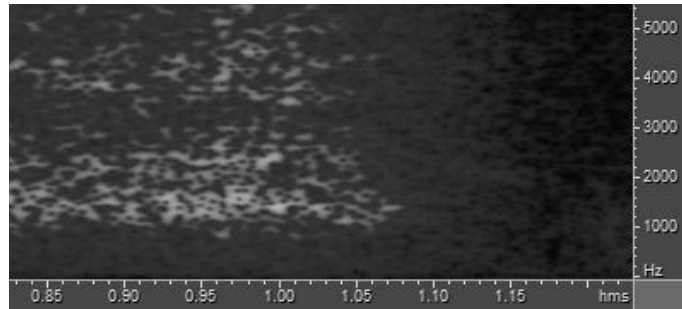


圖(四十六) 瓶內水高5.0cm時頻譜圖

※實驗結果發現：瓶內水量5.0cm時發出多頻音。

(七)吹管角度與頻率變化的關係：

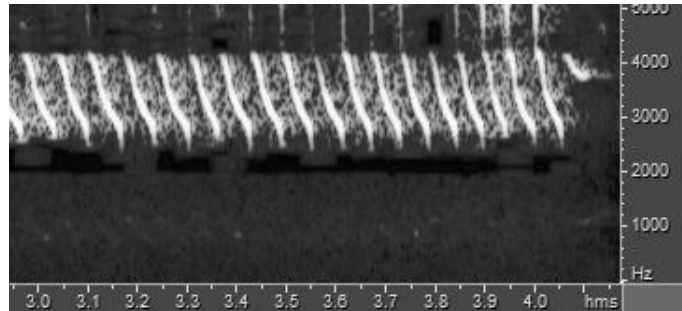
1. 吹管0度。



圖(四十七)吹管0度時的頻率對時間關係圖

※實驗結果發現，在吹管0度時幾乎吹不出聲音。

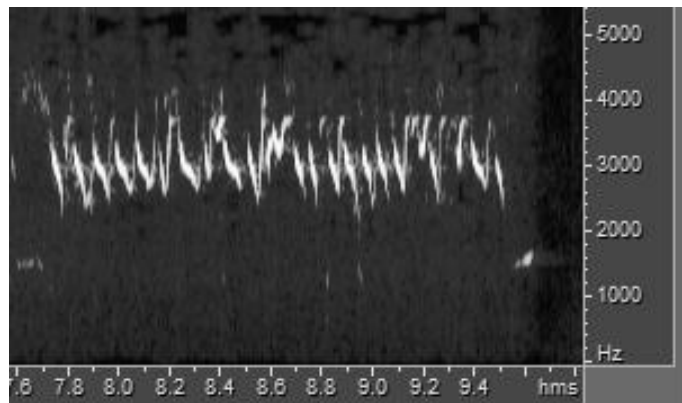
2. 吹管18度。



圖(四十八)吹管18度時的頻率對時間關係圖

※實驗結果發現，在吹管18度可吹出多頻聲音。

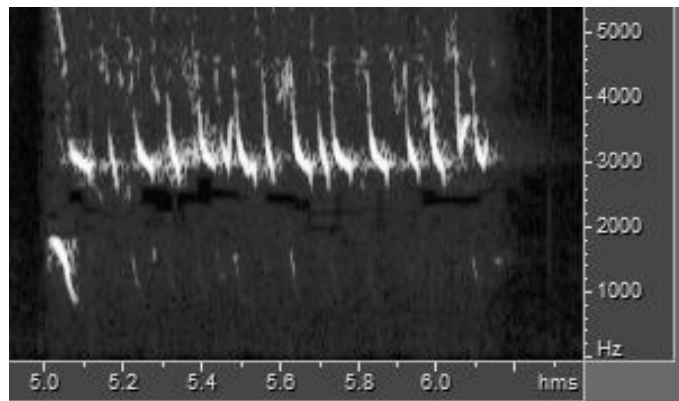
3. 吹管36度。



圖(四十九)吹管36度時的頻率對時間關係圖

※實驗結果發現，在吹管36度時可吹出多頻聲音，但比18度不容易，且不像18度時那麼穩定。

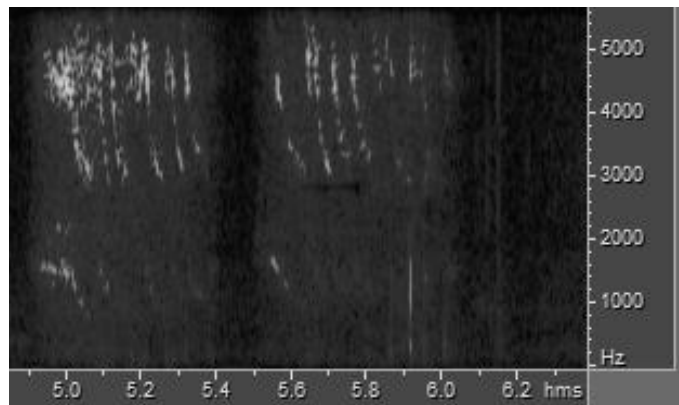
4. 吹管54度。



圖(五十)吹管54度時的頻率對時間關係圖

※實驗結果發現，在吹管54度時可吹出多頻聲音，但較18度、36度更不容易。

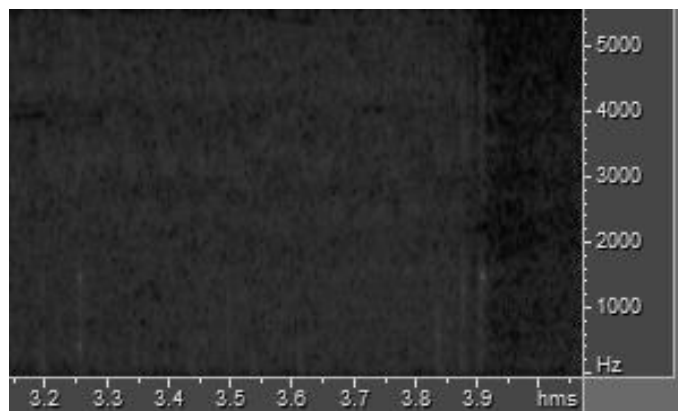
5. 吹管72度。



圖(五十一)吹管72度時的頻率對時間關係圖

※實驗結果發現，在吹管72度時發出明顯氣泡的咕嚕聲，偶爾出現高頻。

6. 吹管90度。

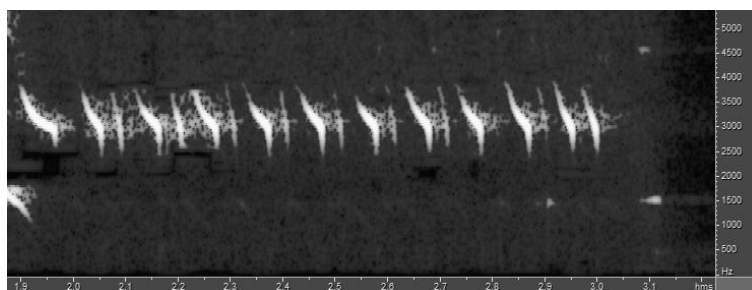


圖(五十二)吹管90度時的頻率對時間關係圖

※實驗結果發現，在吹管90度時發出明顯氣泡的咕嚕聲。

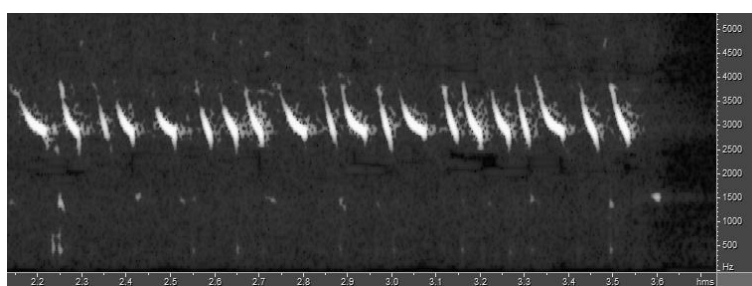
(八)發生多頻變化時，吹管粗細與發聲頻率的關係

1. 吹管直徑0.50cm



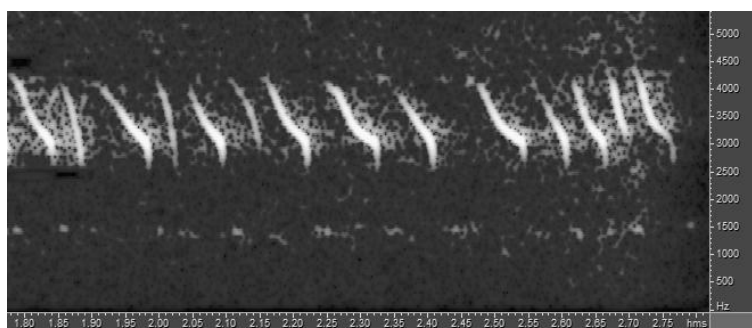
圖(五十三)吹管直徑0.50cm時頻率對時間關係圖

2. 吹管直徑0.70cm



圖(五十四)吹管直徑0.70cm時頻率對時間關係圖

3. 吹管直徑1.20cm

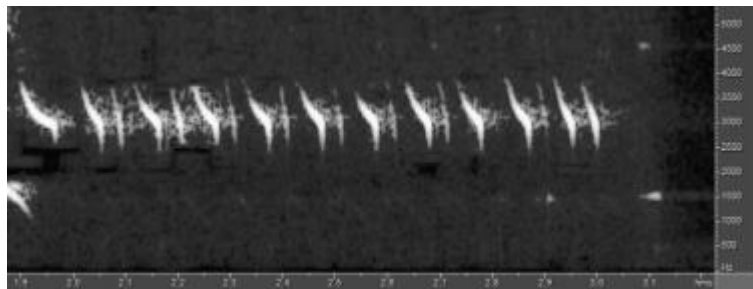


圖(五十五)吹管直徑1.20cm時頻率對時間關係圖

※實驗結果發現，在吹管直徑越小越容易吹出多頻音，反之則要吹得用力些才會出現多頻音，而吹出的聲音則差異不大。

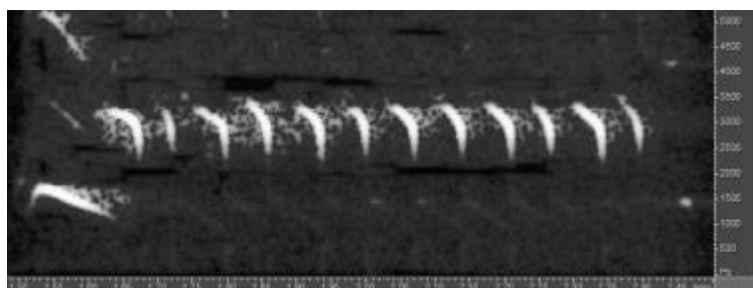
(九)發生多頻變化時，內吸管粗細與發聲頻率的關係

1. 內吸管直徑0.50cm



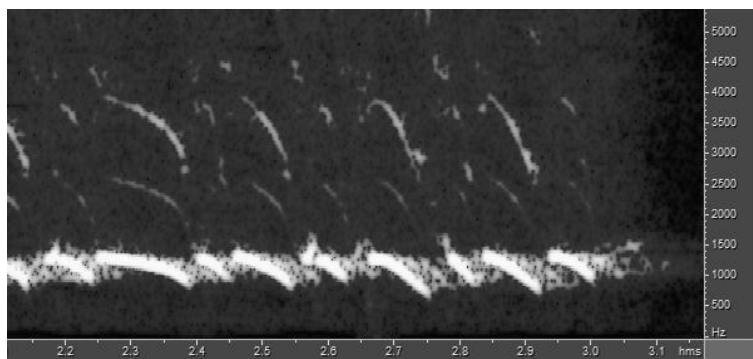
圖(五十六)內吸管直徑0.50cm時頻率對時間關係圖

2. 內吸管直徑0.70cm



圖(五十七)內吸管直徑0.70cm時頻率對時間關係圖

3. 內吸管直徑1.20cm



圖(五十八)內吸管直徑1.20cm時頻率對時間關係圖

※實驗結果發現，在內吸管直徑0.50cm、0.70cm時，聲音差異不太，但在1.20cm時則出現較不一樣的低頻聲音。

七、討論

(一)實驗一：發聲頻率與內吸管長度的關係

1. 實驗結果發現：內吸管長度2.00cm時，發出的聲音為一單頻音，頻率為3921Hz；內吸管長度4.00cm時，發出的聲音為單頻音，頻率為2732Hz；內吸管長度6.00cm時，發出的聲音為單頻音，頻率為2119Hz。
2. 改變不同長度的內吸管，發現發出的聲音皆為單頻音，且內吸管越長頻率越低，聲音較低沉；內吸管越短頻率越高，聲音較高亢。

(二)實驗二：發聲頻率與內吸管粗細的關係

1. 實驗結果發現：內吸管直徑0.50cm時，發出的聲音為一單頻音，頻率為2667Hz；內吸管直徑0.70cm時，發出的聲音為一單頻音，頻率為2667Hz；內吸管直徑1.20cm時，發出的聲音為一單頻音，頻率為2660Hz。
2. 改變不同粗細的內吸管，發現發出的聲音皆為單頻音，且頻率沒有明顯的變化。

(三)實驗三：發聲頻率與吹管長度的關係

1. 實驗結果發現：吹管長3.00cm時，發出的聲音為一單頻音，頻率為3953Hz；吹管長6.00cm時，發出的聲音為一單頻音，頻率為3922Hz；吹管長9.00cm時，發出的聲音為一單頻音，頻率3937Hz。
2. 改變不同長度的吹管，發現發出的聲音皆為單頻音，且頻率沒有明顯的變化。
3. 實驗中發現，吹管長度長的較不容易吹出聲音，推測可能較長的吹管其管壁與空氣摩擦距離較長的關係。

(四)實驗四：發聲頻率與吹管粗細的關係

1. 實驗結果發現：吹管直徑0.50cm時，發出的聲音為一單頻音，頻率為2625Hz；吹管直徑0.70cm時，發出的聲音為一單頻音，頻率為2604Hz；吹管直徑1.20cm時，發出的聲音為一單頻音，頻率為2584Hz。
2. 改變不同粗細的吹管，發現發出的聲音皆為單頻音，且頻率沒有明顯的變化。
3. 實驗中發現，吹管粗的較不容易吹出聲音，推測可能與吹出空氣的速率有關，因為較粗的吹管截面積較大，空氣流速慢；反之，較細的吹管截面積較小，空氣流速快。

(五)由以上實驗一～四推測，水鳥笛發出聲音頻率主要與內吸管的空氣柱長度有關，因此，內吸管長度越長頻率越低，聲音低沉；內吸管長度越短頻率越高，聲音高亢。

(六)實驗五：發聲頻率與瓶內水量的關係

1. 實驗結果發現：瓶內水量為18.0ml、36.0ml時發出單頻音，水量為48.0ml、54.0ml、60.0ml、66.0ml時聲音出現多頻變化，即多頻音。
2. 發出單頻音時，其頻率大致相同。

3. 發出多頻音時的水量都超過內吸管底部，且水量越多，頻率變化越快速。
- (七) 實驗六：發聲頻率與瓶內水高的關係
1. 實驗結果發現：瓶內水高為1.00cm、2.00cm時發出單頻音，水高正好到達內吸管底部時發生多頻音，3.00cm、4.00cm、5.00cm時水高皆超過內吸管底部，皆發生多頻音。
 2. 所得結果與實驗五相同，水高不及內吸管底部時出現單頻音，水高至臨界水位以上時發出多頻音，此時，水量越多，頻率變化越快速。
- (八) 實驗七：吹管角度與頻率變化的關係
- 實驗結果發現當吹管角度為0度時，無法吹出聲音；吹管角度18度、36度、54度可吹出明顯多頻音；當吹管角度為72度、90度時，明顯聽到空氣從水中出來的咕嚕聲。
- (九) 實驗八：發生多頻變化時，吹管粗細與發聲頻率的關係
1. 吹管直徑越小越容易吹出多頻音，反之則要吹得用力些才會出現多頻音，而吹出的聲音則差異不大。
 2. 可推測此與吹管粗細的吹氣速率大小有關，吹管細時較容易達到較快的吹氣速率，較粗則否。
- (十) 實驗九：發生多頻變化時，內吸管粗細與發聲頻率的關係
1. 在內吸管直徑0.50cm、0.70cm時，聲音差異不太，但在1.20cm時則出現較不一樣的低頻聲音。
 2. 推測可能是吹管與內吸管直徑差異太大，在吹氣時使內吸管本身產生振動發出聲音，而非空氣柱。
- (十一) 水鳥笛的發聲主要因為內吸管的空氣柱振動的關係，當內吸管水位升高時，管內空氣柱變短，振動頻率變大；內吸管水位下降時，管內空氣柱變長，振動頻率變小。因此，影響管內水位的高低的因素即會影響發聲頻率的高低，而當水位低於內吸管時，內吸管長度無法發生變化，故發出單頻音，且與無水時相同。
- (十二) 「柏努利」現象指的是，當氣流速率變大時壓力減小的效應。當外吸管吹氣時，內吸管上部因為氣流經過所以壓力變小，使得內吸管水位上升，發聲頻率變高。
- (十三) 由於水鳥笛發聲時，吹管與內吸管有一傾斜的夾角，因此有一部分空氣被吹入內吸管，對水面造成一向下的壓力，使內吸管水位下降，發聲頻率變低。
- (十四) 因為內吸管與裝水的外玻璃瓶為連通管，因此，當內吸管與外瓶的水位不同時，會產生一回復力，使內吸管水位發生變化。
- (十五) 由(十一)、(十二)、(十三)、(十四)三點可知，柏努利的現象與吹入管內的空氣推動水的力量以及內吸管與外瓶連通管的關係三者間相互影響，使得內吸管空氣柱產生長短變化，因此發出多頻音。

八、結論

- (一)水鳥笛是透過吹管送氣到內吸管，使內吸管產生震動而發聲。
- (二)自製水鳥笛在無水的狀況下，所得的聲音皆為單頻音，且頻率的高低與吹管的粗細、長短及內吸管的粗細無關，但與內吸管的長短有關，內吸管越長，頻率越低；內吸管越短，頻率越高。
- (三)瓶內水量高於內吸管的底部時才會發生多頻音。
- (四)發生多頻音時，水量越多，多頻的變化越快速。
- (五)吹管的角度與多頻音發生有關，在0度時無法出現聲音，在72度、90度時出現氣體從水中冒出的咕嚕聲，而在18度、36度、54度時出現多頻音。
- (六)柏努利的現象與吹入管內的空氣推動水的力量以及內吸管與外瓶連通管的關係三者間相互影響，使得內吸管空氣柱產生長短變化，因此發出多頻音。
- (七)近年來地區因神話之鳥—黑嘴端鳳頭燕鷗的發現躍上國際舞台，且地區有許多特有鳥類，這個實驗可以做為未來模擬鳥類發聲水鳥笛研究的參考，也可以作為地區發展體驗觀光的參考。

九、參考資料

- (一)康軒。(民100年)國小5下自然與生活科技第四單元聲音與樂器。臺北：康軒。
- (二)康軒。(民99年)國中自然第三冊第三章波動與聲音。臺北：康軒。
- (三)康軒。(民100年)國中自然第四冊第六章力與壓力。臺北：康軒。
- (四)褚德三。(民96年)高中物理(上)第一章波動與聲音。臺北：龍騰。
- (五)David Halliday等著 田麗文等譯。(民94年)物理(上)第14章流體。臺北：全華。
- (六)劉昱均 盧彥云。(民98年)台北市立第一女子高級中學數理資賦優異班學生專題研究專輯p129-p136 啾啾啾－水鳥笛發聲機制之研究。臺北：台北市立第一女子高級中學。

【評語】 080101

思慮周詳，若能將多種變因稍加釐清會更好。