

# 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 物理科

第三名

080111

「木」響「蛙」鳴-刮出自然樂章

學校名稱：臺北市私立靜心高級中學(國小部)

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| 作者：<br><br>小六 王禹晴<br><br>小六 呂安婕<br><br>小六 段唯涵<br><br>小六 李佳臻 | 指導老師：<br><br>蔡垂其<br><br>王晶瑩 |
|---|-----------------------------|

關鍵詞：木蛙、音頻、振幅

## 摘要

以木棒刮刷木製青蛙背脊上的刮齒，可以發出類似青蛙鳴叫的聲音，使用聲音**擬真度**的分析，發現木蛙(T2)可以產生與翡翠樹蛙主要頻率(基音)和次要頻率(泛音)相同音名的頻率，再利用自行設計的「**定速刮刷錄音裝置**」對木蛙不同的變因進行實驗分析，結果發現：木棒的大小與重量變化不大的刮齒(不同數量、形狀、排列等因素)，不會影響木蛙的主要頻率(基音)。而會使**主要頻率(基音)變低的條件**如下：1.相同材質：**蛙身愈大**。2.相同材質及相同共振腔大小：**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**。最後找出**以木蛙刮刷的 8 個音階**，**可以刮出自然的樂章**。

## 壹、研究動機

古有「龍洗」透過來回摩擦「洗耳」，使振盪頻率剛好是龍洗的自然頻率(Natural Frequency)，就能產生噴泉並發出蜂鳴聲。在觀光夜市裏，聽見如同青蛙的鳴叫聲，走近攤位，見到許多大小不同的木製青蛙，透過刮刷木製青蛙背脊上齒而發出類似青蛙鳴叫的特殊聲音，木蛙所產生的聲音真的與真實蛙類的鳴叫聲相同嗎？與哪一種蛙類的鳴叫聲相同呢？或只是相似呢？相似度有多高呢？還是根本沒有與任一種真實的青蛙鳴叫聲相似呢？而木棒與木製青蛙的哪些因素會使木製青蛙發出的聲音產生變化呢？因此我們想對木製青蛙的聲音進行研究。

在康軒版五下第四單元「聲音與樂器」的課程中，得知物體振動可以產生聲音，從聽覺角度而言，聲音是由頻率(音高)、振幅(音強)、音品(音色)等三種屬性組成。

「**頻率**」(Frequency)：是聲音之音高，表示聲音的高低，以**赫茲(Hz)**表示。

「**振幅**」(Amplitude)：是聲音之音強，表示聲音的強弱，以**分貝(dB)**表示。

「**音品**」(Timbre)：是聲音之音色，也就是**基音**、**泛音**的組成結構。




## 貳、研究目的

- 一、木製青蛙的刮刷聲音分析
- 二、刮刷木製青蛙相對於真實蛙類鳴叫聲音的擬真程度分析
- 三、探討影響木蛙聲音的變因
  - (一)不同木棒變因對木蛙聲音的影響
  - (二)不同木蛙身體變因對木蛙聲音的影響
  - (三)不同蛙身背脊刮齒變因對木蛙聲音的影響
- 四、以木蛙刮刷的聲音製作不同的音階

## 參、研究設備及器材

### 一、研究器材：

表 3-1 研究器具與材料

|   |   |   |               |
|---|---|---|---------------|
| 1. 桌上型 9 吋帶鋸機 × 1 臺   | 2. 3D 列印機 × 1 臺   | 3. 桌上小型立銑床 × 1 臺  |               |
|  |  |  |               |
| 4. 行動載具(平板) × 1 臺   | 5. 調速馬達 × 1 臺   | 6. 調速控制器 × 1 臺  | 7. 夾板 × 6 片   |
| 8. 行動載具(手機) × 1 臺   | 9. 木製青蛙 × 8 隻   | 10. 密集板 × 10 片  | 11. 海綿 × 6 塊  |
| 12. 游標卡尺 × 1 支  | 13. PLA 線材 × 1 捲  | 14. 電子秤 × 1 臺   | 15. 泡綿墊 × 2 片 |
| 16. 木條(12mm) × 4 條  | 17. 黏著劑 × 15 條  | 18. 升降平台 × 2 個  | 19. 砂紙 × 6 片  |
| 20. 強力雙面膠 × 1 捲   | 21. 飛機木 × 1 批   | 22. 樟木 × 1 片  | 23. 橄欖木 × 1 片 |
| 24. 所羅門梨花板 × 1 片  | 25. 非洲櫟木 × 1 片  | 26. 寮國香檜 × 1 片  | 27. 松木 × 1 片  |

### 二、研究設備：

為了避免實驗過程中人為刮刷速度與力度不同而產生的誤差，因此我們設計了「**定速刮刷錄音裝置**」，如圖 3-1 所示。

透過調速控制器來控制調速馬達的轉速，可減少人為誤差的產生，以利後續有關木蛙刮刷實驗的進行。

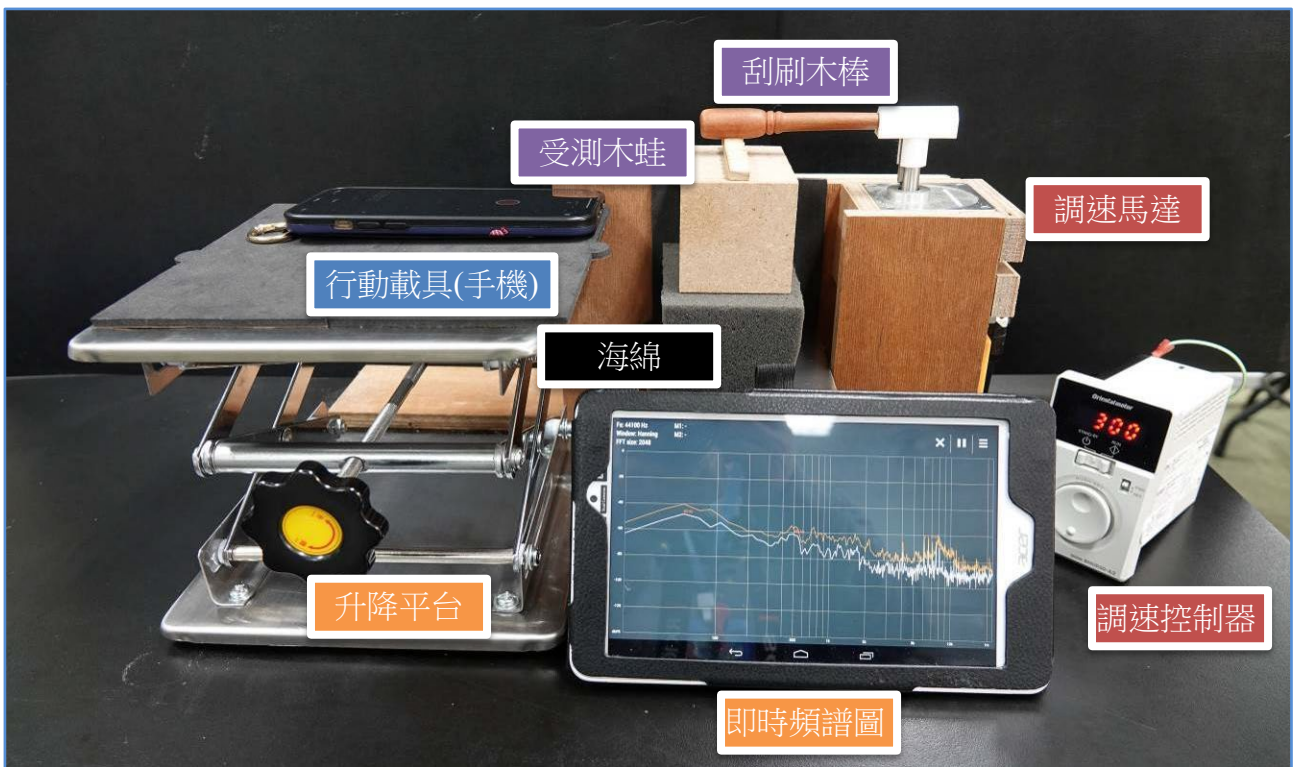


圖 3-1 定速刮刷錄音裝置

定速刮刷錄音裝置的操作步驟如下：

- 1.將選定使用的刮刷木棒安裝在調速馬達轉軸上。
- 2.將受測的木蛙放置在升降平台海綿上方，並調整木蛙下方的升降平台的高度，使木蛙背脊上的刮齒，能低於刮刷木棒，再移動升降平台的水平位置，使木蛙背脊上的刮齒能在適合木棒刮刷的相對位置。
- 3.轉動調速控制器的旋鈕，旋至所設定的轉速。
- 4.扳動調速控制器的開關，使調速馬達開始以設定的轉速開始轉動。
- 5.慢慢調整木蛙下方的升降平台的高度，使木蛙背脊上的刮齒能逐漸被木棒所刮刷，直到木棒刮刷木蛙背脊上的刮齒達到適當的高度。
- 6.開啟距離受測木蛙開口 5 公分處的行動載具(手機)錄音 APP，進行錄音。
- 7.完成錄音後，先停止錄音 APP，再扳動調速控制器的開關，使調速馬達停止。
- 8.將錄音所得的檔案，傳至筆記型電腦中，即可進行聲音的分析。
- 9.實驗進行過程中，可透過即時頻譜圖-Advanced Spectrum Analyzer PRO(Android)，即時監控錄音當下的背景音頻變化，以確保沒有不當的背景音頻干擾，同時也可以初步看到實驗項目的音頻呈現。

## 肆、研究過程或方法

※研究流程：

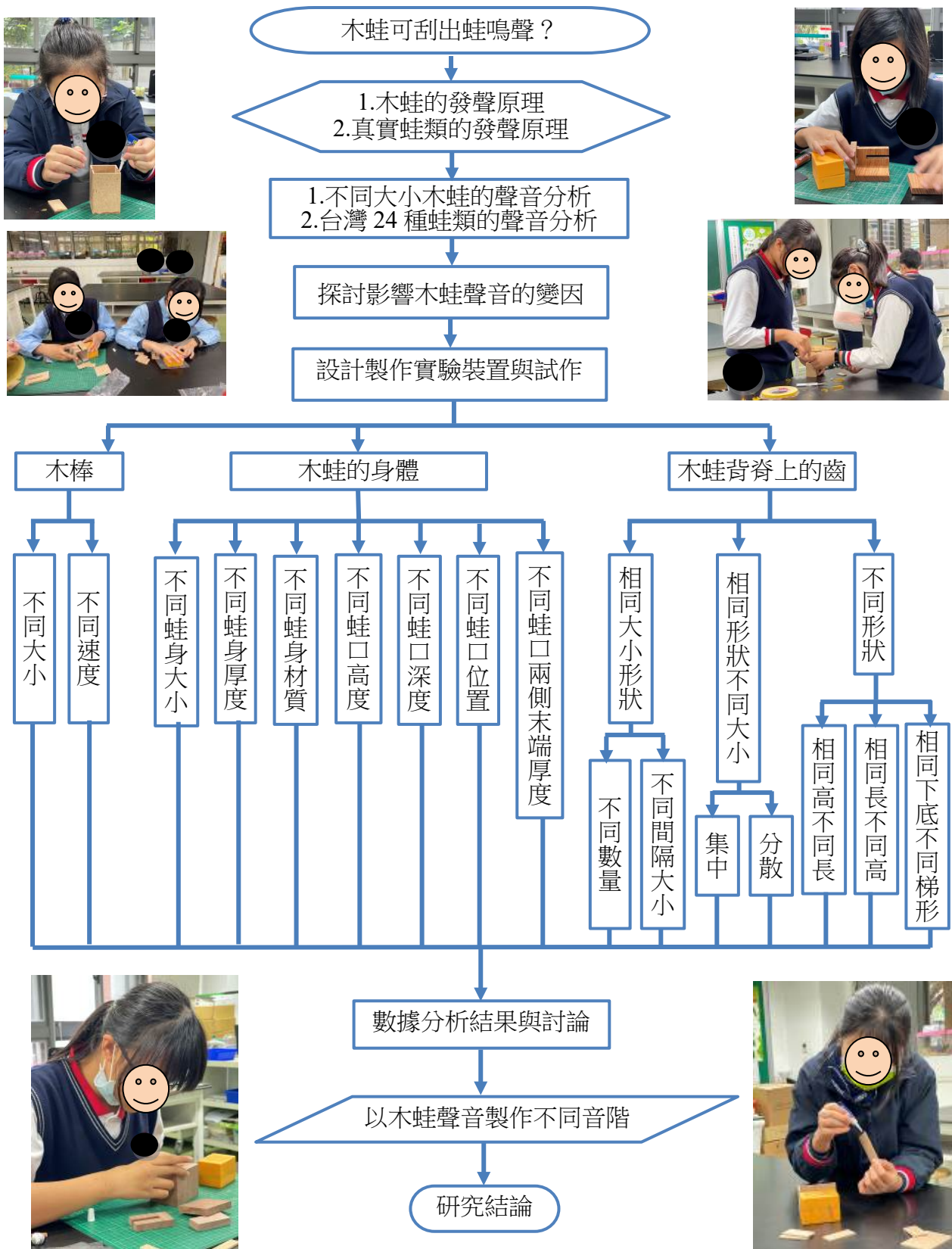


圖 4-1 研究流程圖

## 一、木製青蛙的刮刷聲音分析

### (一)木蛙產生聲音的原理

木蛙背脊上的齒代表可以刮刷的部份，取出穿過嘴巴的木棒就是用來刮刷的工具。如圖 4-2 和圖 4-3。刮刷的時候是由尾端的小齒一路向頭背部的大齒刮刷過去。刮刷的過程中，木棒與背脊的齒反覆的撞擊、分開，讓木蛙身體產生快速的振動，而這種細微的固體振動肉眼並不容易觀察得到，因撞擊後有振動產生，聲音就反覆地出現，木蛙嘴巴內鑿出一個共振腔，讓聲波在共振腔裡反覆反射、疊加相長，便可以將聲音放大，放大的效果可以讓聲音傳到更遠的地方。



圖 4-2 木蛙放置情形

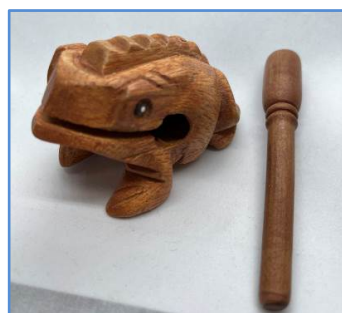


圖 4-3 木蛙取出木棒

### (二)音高頻率表

音名就是音高的名稱，即 C、D、E、F、G、A、B。每高或低八度則重複這七個音名。加上變音記號（#、b）則表示改變音高。括號內為距離中央 C(261.63 赫茲)的半音距離。

表 4-1 音高頻率表（取自維基百科）

單位：Hz

| 音名           | 0               | 1               | 2                | 3               | 4               | 5               | 6               | 7               | 8               | 9                |
|--------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| <b>C</b>     | 16.352<br>(-48) | 32.703<br>(-36) | 65.406<br>(-24)  | 130.81<br>(-12) | 261.63<br>(0)   | 523.25<br>(+12) | 1046.5<br>(+24) | 2093.0<br>(+36) | 4186.0<br>(+48) | 8372.0<br>(+60)  |
| C#/Db        | 17.324<br>(-47) | 34.648<br>(-35) | 69.296<br>(-23)  | 138.59<br>(-11) | 277.18<br>(+1)  | 554.37<br>(+13) | 1108.7<br>(+25) | 2217.5<br>(+37) | 4434.9<br>(+49) | 8869.8<br>(+61)  |
| <b>D</b>     | 18.354<br>(-46) | 36.708<br>(-34) | 73.416<br>(-22)  | 146.83<br>(-10) | 293.66<br>(+2)  | 587.33<br>(+14) | 1174.7<br>(+26) | 2349.3<br>(+38) | 4698.6<br>(+50) | 9397.3<br>(+62)  |
| D#/Eb        | 19.445<br>(-45) | 38.891<br>(-33) | 77.782<br>(-21)  | 155.56<br>(-9)  | 311.13<br>(+3)  | 622.25<br>(+15) | 1244.5<br>(+27) | 2489.0<br>(+39) | 4978.0<br>(+51) | 9956.1<br>(+63)  |
| <b>E</b>     | 20.602<br>(-44) | 41.203<br>(-32) | 82.407<br>(-20)  | 164.81<br>(-8)  | 329.63<br>(+4)  | 659.26<br>(+16) | 1318.5<br>(+28) | 2637.0<br>(+40) | 5274.0<br>(+52) | 10548.0<br>(+64) |
| <b>F</b>     | 21.827<br>(-43) | 43.654<br>(-31) | 87.307<br>(-19)  | 174.61<br>(-7)  | 349.23<br>(+5)  | 698.46<br>(+17) | 1396.9<br>(+29) | 2793.8<br>(+41) | 5587.7<br>(+53) | 11175.0<br>(+65) |
| <b>F#/Gb</b> | 23.125<br>(-42) | 46.249<br>(-30) | 92.499<br>(-18)  | 185.00<br>(-6)  | 369.99<br>(+6)  | 739.99<br>(+18) | 1480.0<br>(+30) | 2960.0<br>(+42) | 5919.9<br>(+54) | 11840.0<br>(+66) |
| <b>G</b>     | 24.500<br>(-41) | 48.999<br>(-29) | 97.999<br>(-17)  | 196.00<br>(-5)  | 392.00<br>(+7)  | 783.99<br>(+19) | 1568.0<br>(+31) | 3136.0<br>(+43) | 6271.9<br>(+55) | 12544.0<br>(+67) |
| G#/Ab        | 25.957<br>(-40) | 51.913<br>(-28) | 103.830<br>(-16) | 207.65<br>(-4)  | 415.30<br>(+8)  | 830.61<br>(+20) | 1661.2<br>(+32) | 3322.4<br>(+44) | 6644.9<br>(+56) | 13290.0<br>(+68) |
| <b>A</b>     | 27.500<br>(-39) | 55.000<br>(-27) | 110.000<br>(-15) | 220.00<br>(-3)  | 440.00<br>(+9)  | 880.00<br>(+21) | 1760.0<br>(+33) | 3520.0<br>(+45) | 7040.0<br>(+57) | 14080.0<br>(+69) |
| A#/Bb        | 29.135<br>(-38) | 58.270<br>(-26) | 116.540<br>(-14) | 233.08<br>(-2)  | 466.16<br>(+10) | 932.33<br>(+22) | 1864.7<br>(+34) | 3729.3<br>(+46) | 7458.6<br>(+58) | 14917.0<br>(+70) |
| <b>B</b>     | 30.868<br>(-37) | 61.735<br>(-25) | 123.470<br>(-13) | 246.94<br>(-1)  | 493.88<br>(+11) | 987.77<br>(+23) | 1975.5<br>(+35) | 3951.1<br>(+47) | 7902.1<br>(+59) | 15804.0<br>(+71) |









### (三)木製青蛙的刮刷聲音分析

市面上常見八種不同大小芒果木雕刻的木製青蛙，分別測量蛙身的長、寬、高、重量與木棒的長度、重量，再使用定速刮刷錄音裝置，轉速設定為 30rpm(2 秒刮刷一次)，以原來配對的木棒刮刷蛙身背脊上的齒，並利用行動載具(手機)錄下所發出的聲音，然後以電腦音訊編輯軟體 Audacity 的頻譜圖分析，找出主要峰值頻率(基音)與其他峰值頻率(泛音)。

#### 1.八種不同大小的木蛙

使用直尺以測量身高的方式測量不同大小木蛙身體的長、寬、高，再使用電子秤分別測量重量。結果如表 4-2 所示。









表 4-2 不同大小木蛙的尺寸與重量

|        | TB1   | TB2   | TB3   | TB4   | TB5   | TB6  | TB7   | TB8   |
|--------|---|---|---|---|---|--|---|---|
| 照片     |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 長 (cm) | 5.6   | 7.4   | 8.7   | 10.2  | 13.3  | 15.7   | 17.4  | 20.1  |
| 寬 (cm) | 3.8   | 5.1   | 6.2   | 7.6   | 8.6   | 9.7  | 11.5  | 12.5  |
| 高 (cm) | 3.7   | 4.7   | 6   | 7.4   | 8.5   | 9.8  | 11.3  | 12.6  |
| 重 (g)  | 20.0  | 40.9  | 43.2  | 112.6   | 214.7   | 303.8  | 536.2   | 722.7   |

#### 2.八根不同大小的木棒

取出木蛙口中的木棒，分別用直尺測量總長度與木棒前端較大的圓棒直徑，再用電子秤測量重量。結果如表 4-3 所示。

表 4-3 不同大小木棒的長度、直徑與重量

|         | TS1   | TS2   | TS3   | TS4   | TS5   | TS6  | TS7   | TS8   |
|---------|---|---|---|---|---|--|---|---|
| 照片      |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 長 (cm)  | 8.7   | 11.0  | 13.8  | 16.1  | 16.2  | 17.5   | 20.3  | 20.3  |
| 直徑 (cm) | 1.0   | 1.4   | 1.5   | 1.7   | 1.7   | 1.8  | 2.6   | 2.6   |
| 重 (g)   | 4.5   | 10.4  | 13.4  | 19.3  | 23.1  | 25.7   | 54.5  | 55.2  |

## 二、刮刷木製青蛙相對於真實蛙類鳴叫聲音的擬真程度分析

### (一)真實蛙類的鳴叫發聲原理

蛙類的鳴叫方法相當獨特，發音之前，雄性先吸一口氣到肺部，並把肚子鼓起來，然後腹部縮小把肺部的氣體擠壓到咽喉，在此震動聲帶發出聲音，最後聲音及氣體一起被送到位於喉部下方或側面的鳴囊，氣體將鳴囊鼓大成為聲音的共鳴腔，並擴散出去。如圖 4-4 (圖文取自

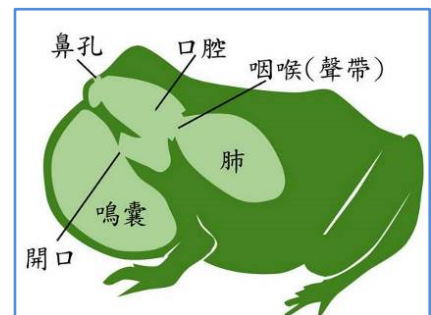


圖 4-4 蛙類鳴叫發聲原理

台灣野生動物之聲資訊網)。由於蛙類有鳴囊當作共鳴腔，蛙鳴也就格外的響亮大聲。有些蛙類的叫聲和蟲叫聲很像，但還是可以分辨出來。蟲叫聲多半比較單調連續沒有共鳴，蛙叫聲有共鳴而且斷斷續續、變化豐富。

## (二)真實蛙類的鳴叫聲音分析

我們無法直接到大自然一一去錄製真實蛙類的聲音，因此從網路資源找尋台灣蛙類鳴叫的聲音資料庫，透過下載或播放並錄音的方式，取得真實蛙類的鳴叫聲音的檔案，然後再使用電腦音頻分析軟體進行聲音的分析。我們共取用 24 種台灣常見的蛙類，為了分析的方便，我們將所選取的蛙類，依分析後的聲音主要頻率，由低至高重新編排並加上編號，如表 4-4 所示，以利後續與刮刷木製青蛙的擬真程度分析。

表 4-4 台灣常見的蛙類名稱與編號(編號-名稱)

| 編號  | 蛙類名稱   | 編號  | 蛙類名稱 | 編號  | 蛙類名稱    | 編號  | 蛙類名稱   |
|-----|--------|-----|------|-----|---------|-----|--------|
| F1  | 牛蛙     | F2  | 腹斑蛙  | F3  | 虎皮蛙     | F4  | 古氏赤蛙   |
| F5  | 澤蛙     | F6  | 白領樹蛙 | F7  | 盤古蟾蜍    | F8  | 莫氏樹蛙   |
| F9  | 台北樹蛙   | F10 | 黑眶蟾蜍 | F11 | 橙腹樹蛙    | F12 | 翡翠樹蛙   |
| F13 | 褐樹蛙    | F14 | 台北赤蛙 | F15 | 梭德氏赤蛙   | F16 | 面天樹蛙   |
| F17 | 拉都希氏赤蛙 | F18 | 諸羅樹蛙 | F19 | 黑蒙西氏小雨蛙 | F20 | 艾氏樹蛙   |
| F21 | 巴氏小雨蛙  | F22 | 小雨蛙  | F23 | 日本樹蛙    | F24 | 斯文豪氏赤蛙 |

## (三)擬真程度分析

從上述所得聲音檔案的頻譜圖的分析中，得到的刮刷木製青蛙與真實蛙類鳴叫聲音主要音頻與次要音頻，進行擬真程度分析。

為了進行計算與比較，我們將所得的音頻，使用表 1-1 音高頻率表，轉換成人類耳朵較能辨別差異的音名，再以此音名對應出距離中央 C (261.63 赫茲) 的半音距離，再以此半音距離作為聲音的比較基礎。

例如：台北樹蛙的主要音頻為 1451Hz，轉換為音名是 F#6/Gb6，對應距離中央 C (261.63 赫茲) 的半音距離 30。

絕對誤差：是測量值與真值之差。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**

相對誤差：絕對誤差與真值的比值，常以百分比表示。

**相對誤差 = (絕對誤差 ÷ 真值) × 100%**

此處的測量值分別為刮刷 8 隻不同大小木蛙所產生聲音的主要頻率和次要頻率，轉換對應距離中央 C (261.63 赫茲) 的半音距離；真值則為 24 種台灣常見蛙類鳴叫聲的主要頻率和次要頻率，轉換對應距離中央 C (261.63 赫茲) 的半音距離。

**加權相對誤差和 = (((最高主要頻率的相對誤差 × 2) + 次高主要頻率的相對誤差) ÷ 3) × 2**

其中最高主要頻率的相對誤差權重設定為 2，次高主要頻率的相對誤差權重設定為 1。

若無次高主要頻率的相對誤差，則直接以最高主要頻率的相對誤差作為加權相對誤差和。

**擬真度 = 100% - 加權相對誤差和**



### 三、探討影響木蛙聲音的變因

我們以木蛙的發聲原理，將影響木蛙聲音的因素分成三個，分別是(一)木棒。(二)蛙身。(三)背脊上的刮齒。

木棒可直接取用原來的木棒進行實驗，木蛙的手工雕刻是一項專業的技術，我們無法以手工雕刻方法製作大量的木蛙，並進行變因的控制，因此我們我們以木蛙的主要構造與發聲原理為參考，製作了方便製作並可以控制變因的實驗用「方形木蛙」。如圖 4-5。刮齒則使用 3D 列印機，以 PLA 材料製作較精準且符合操縱變因尺寸的刮齒。

聲音的分析，則以主要音頻作為分析的主要依據，必要時，再輔以振幅的變化進行比較分析。

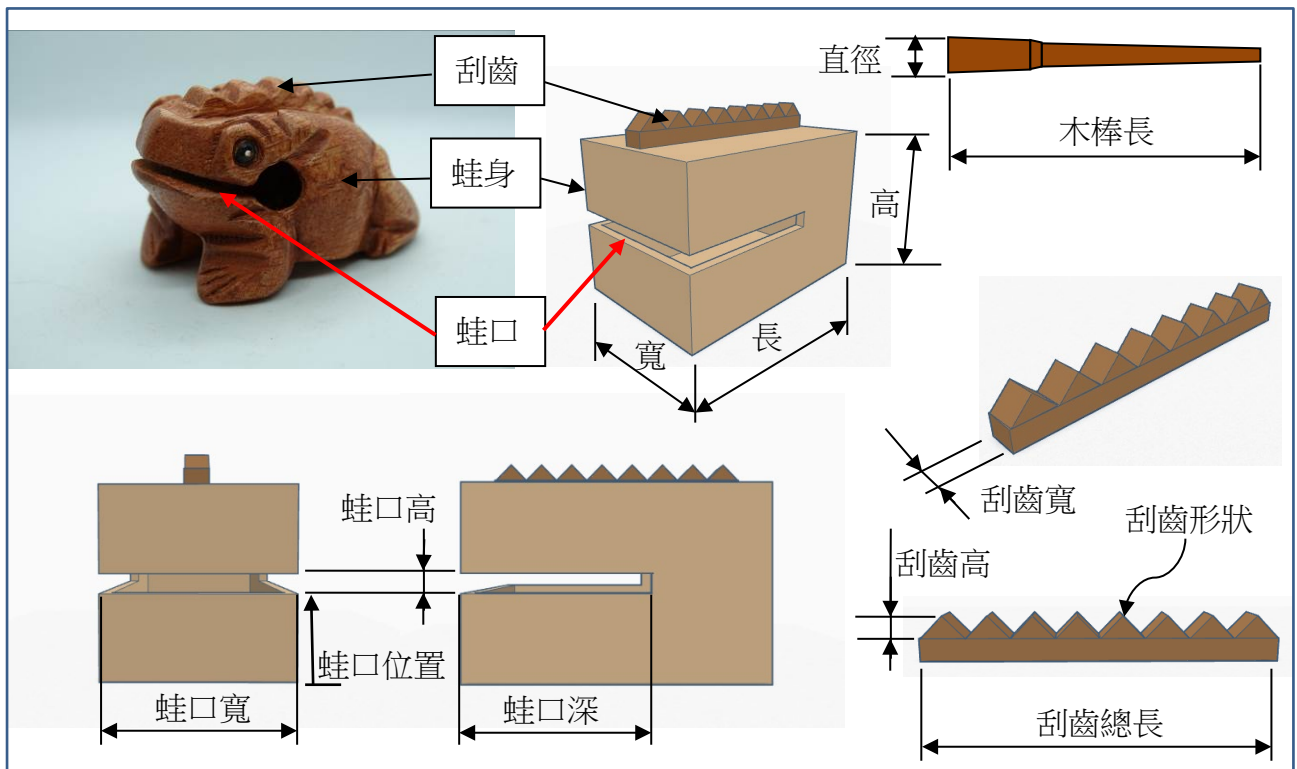


圖 4-5 方形木蛙的各部位名稱









#### (一)木棒

以木棒刮刷木蛙背脊上的刮齒，可以產生聲音，因此木棒的刮刷是產生聲音主要的能量來源，我們分別以不同的木棒大小及刮刷的速度進行實驗，以了解木棒對木蛙的聲音有何影響。

##### 1.不同大小的木棒

我們想知道同一隻木蛙，若使用不同大小的木棒進行刮刷發聲，聲音會有什麼差異。直接取用原本的 8 支木棒，蛙身取用最小木蛙 TB1 和最大的木蛙 TB8，使用定速刮刷錄音裝置，轉速設定為 30rpm(2 秒刮刷一次)，並利用行動載具(手機)錄下所發出的聲音，再以音訊編輯軟體 Audacity 的頻譜圖分析，找出主要峰值頻率(基音)。

表 4-5 不同大小的木棒

|        | TS1   | TS2   | TS3   | TS4   | TS5   | TS6  | TS7   | TS8   |
|--------|---|---|---|---|---|--|---|---|
| 照片     |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 長 (cm) | 8.7   | 11.0  | 13.8  | 16.1  | 16.3  | 17.5   | 20.3  | 20.3  |
| 重 (g)  | 4.5   | 10.4  | 13.4  | 19.3  | 23.1  | 25.7   | 54.5  | 55.2  |

2.不同的木棒刮刷速度

在相同的條件下，若刮刷的速度不同，對聲音會有什麼影響？我們使用木蛙 TB2 與木棒 TS2，進行實驗，調整定速刮刷錄音裝置中的調速馬達，調整刮刷的速度，分別如表 4-6 所列。r 為調速馬達轉軸中心至刮齒的距離，V 是切線速度， $\omega$  為角速度。

TS2 刮刷時  $r=10\text{cm}$ ,  $V=r\omega$        $\text{rps}=\text{rpm}\div 60$        $\text{rps}$ ：每秒鐘轉速  
 $\omega=\text{rps}\times 2\times\pi$        $V=r\times(\text{rpm}\times 2\times\pi)\div 60$        $\text{rpm}$ ：每分鐘轉速

表 4-6 不同的木棒刮刷速度

| 編號           | SS1  | SS2   | SS3   | SS4   | SS5   | SS6   | SS7   | SS8   |
|--------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 設定轉速(rpm)    | 6    | 18    | 30    | 42    | 54    | 66    | 78    | 90    |
| 切線速度 V(cm/s) | 6.28 | 18.85 | 31.41 | 43.98 | 56.55 | 69.11 | 81.68 | 94.25 |

(二)蛙身

木蛙背脊上的刮齒受到木棒刮刷後，木蛙蛙身會因振動而產生聲音，加上木蛙內部的中空共振腔，使聲音產生放大的效果。而蛙身只是單純放大聲音的共振腔嗎？會不會因為結構外形的不同，而使聲音也產生不同的變化呢？

考慮木蛙的結構，蛙身可能的變因如下：不同的蛙身大小、不同的蛙身厚度、不同的蛙身材質，蛙口的可能變因如下：不同的蛙口高度、不同的蛙口深度、不同的蛙口位置，另外實際的木蛙在蛙口兩側末端，有修磨使厚度變薄，因此我們也把蛙口兩側末端的不同厚薄與不同厚薄區域大小，作為實驗的操縱變因。

分別使用不同操縱變因所製作出不同蛙身的方形木蛙進行實驗，刮齒以同一個木製 8 齒(圖 4-6)黏著於方形木蛙背脊上(圖 4-7)，木棒以同一支 TS2(圖 4-8)為刮刷的木棒，用定速刮刷錄音裝置進行實驗，轉速設定為 30rpm(2 秒刮刷一次)，並利用行動載具(手機)錄下所發出的聲音，再以電腦軟體 Audacity 的頻譜圖分析，找出主要峰值頻率(基音)。



圖 4-6 木製 8 齒刮齒



圖 4-7 刮齒黏著於蛙身











圖 4-8 刮刷木棒 TS2

### 1.不同的蛙身大小

利用厚度 3mm 的密集板與木板黏著劑，製作大小不同的方形木蛙蛙身，蛙口高度與蛙口的位置配合木蛙蛙身高度，同比例放大縮小，蛙口深度亦是配合木蛙蛙身長度的，以同比例放大縮小，方形木蛙製作完成後，再利用電子秤測量每個方形木蛙的重量。結果如表 4-7 所示。


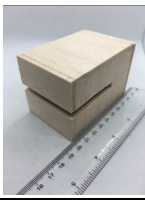

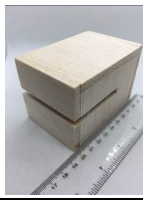

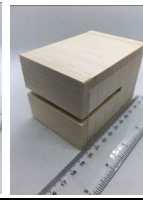
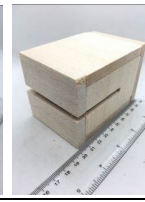
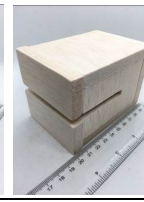
表 4-7 不同蛙身大小的尺寸與重量

|        | SB1   | SB2   | SB3   | SB4   | SB5   | SB6  | SB7   | SB8   |
|--------|---|---|---|---|---|--|---|---|
| 照片     |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 長 (mm) | 66  | 76  | 86  | 96  | 106   | 116  | 126   | 136   |
| 寬 (mm) | 46  | 51  | 56  | 61  | 66  | 71   | 76  | 81  |
| 高 (mm) | 46  | 51  | 56  | 61  | 66  | 71   | 76  | 81  |
| 重 (g)  | 33.9  | 42.3  | 54.4  | 66.4  | 77.7  | 89.8   | 102.9   | 117.1   |

### 2.不同的蛙身厚度

使用不同厚度的飛機木，分別製作不同蛙身厚度的方形木蛙，而內部共振腔大小相同 (80mm × 50mm × 50mm)，蛙口高度 6mm、蛙口深度 50mm、蛙口位置離底 25mm(中間位置)。結果如表 4-8 所示。







表 4-8 不同蛙身厚度、尺寸與重量

|        | ST1   | ST2   | ST3   | ST4   | ST5   | ST6  | ST7   | ST8   |
|--------|---|---|---|---|---|--|---|---|
| 照片     |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 厚 (mm) | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8  | 9   | 10  |
| 長 (mm) | 86  | 88  | 90  | 92  | 94  | 96   | 98  | 100   |
| 寬 (mm) | 56  | 58  | 60  | 62  | 64  | 66   | 68  | 70  |
| 高 (mm) | 56  | 58  | 60  | 62  | 64  | 66   | 68  | 70  |
| 重 (g)  | 11.0  | 13.7  | 17.4  | 23.1  | 30.9  | 31.8   | 39.4  | 40.5  |

### 3.不同的蛙身材質

不同材質的木片，除了色澤、軟硬度與比重的不同，另外也會有紋路上的差異，我們取用六種不同材質的木片作為方形木蛙的蛙身，厚度皆為 12mm，內部共振腔尺寸皆為 70mm × 40mm × 40mm，外部尺寸長 94mm、寬 64mm、高 64mm，蛙口高度 6mm、蛙口深度 50mm、蛙口位置離底 25mm(中間位置)。結果如表 4-9 所示。





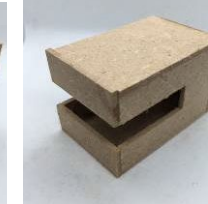
表 4-9 不同的蛙身材質與重量(g)

|        | SM1   | SM2   | SM3   | SM4  | SM5   | SM6   |
|--------|---|---|---|--|---|---|
| 照片     |  |  |  |  |  |  |
| 材質     | 寮國香檳  | 松木  | 樟木  | 橄欖木  | 非洲櫟木  | 所羅門梨花   |
| 重量 (g) | 115.1   | 127.7   | 142.6   | 176.7  | 208.3   | 227.7   |

#### 4.不同的蛙口高度

利用厚度 3mm 的密集板與木板黏著劑，製作不同蛙口開口高度的方形木蛙，而蛙身大小相同 (86mm × 56mm × 56mm)、蛙口深度 50mm、蛙口位置離底 25mm(中間位置)。結果如表 4-10 所示。






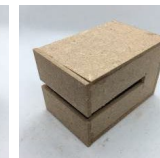

表 4-10 不同的蛙口高度與重量

|          | OH1   | OH2   | OH3   | OH4  | OH5   |
|----------|---|---|---|--|---|
| 照片       |  |  |  |  |  |
| 蛙口高 (mm) | 3   | 6   | 10  | 15   | 19  |
| 重量(g)    | 56.6  | 55.2  | 53.5  | 52.3   | 50.8  |

#### 5.不同開口深度

利用厚度 3mm 的密集板與木板黏著劑，製作不同蛙口開口深度的方形木蛙，而蛙身大小相同 (86mm × 56mm × 56mm)、蛙口高度 6mm、蛙口位置離底 25mm(中間位置)。結果如表 4-11 所示。








表 4-11 不同的蛙口深度與重量

|         | OD1   | OD2   | OD3   | OD4   | OD5  | OD6   | OD7   |
|---------|---|---|---|---|--|---|---|
| 照片      |  |  |  |  |  |  |  |
| 口深 (mm) | 10  | 20  | 30  | 40  | 50   | 60  | 70  |
| 重量 (g)  | 56.8  | 55.4  | 53.5  | 55  | 54.6   | 56.4  | 52.7  |

## 6.不同的蛙口位置

利用厚度 3mm 的密集板與木板黏著劑，製作不同蛙口開口位置的方形木蛙，而蛙身大小相同 (86mm × 56mm × 56mm)、蛙口高度 6mm、蛙口深度 50mm。結果如表 4-12 所示。

表 4-12 不同的開口位置與重量

|         | OP1   | OP2   | OP3   | OP4   | OP5  | OP6   | OP7   |
|---------|---|---|---|---|--|---|---|
| 照片      |  |  |  |  |  |  |  |
| 離底 (mm) | 8   | 13  | 18  | 25  | 32   | 37  | 42  |
| 重量 (g)  | 55.1  | 54.6  | 54.6  | 54.2  | 54.6   | 54.6  | 55.1  |

## 7.不同的開口末端厚度

使用飛機木所製作不用厚度的木蛙蛙身 ST 5，蛙身厚度為 7mm，以蛙身兩側開口末端為中央，畫出 12mm × 12mm 的區域面積(如圖 4-9)，利用桌上小型立銑床，以此相同的區域面積，銑切出所需要的深度(如圖 4-10)，銑得愈深，蛙口兩側末端的厚度就愈薄。結果如表 4-13 所示。

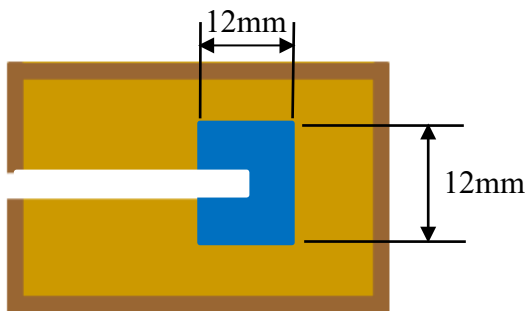









圖 4-9 銑切區域



圖 4-10 銑床銑切厚薄度

表 4-13 不同的開口末端銑深、口厚與重量

|         | OT1   | OT2   | OT3   | OT4   | OT5  | OT6   | OT7   |
|---------|---|---|---|---|--|---|---|
| 照片      |  |  |  |  |  |  |  |
| 銑深 (mm) | 6   | 5   | 4   | 3   | 2  | 1   | 0(未銑)   |
| 口厚 (mm) | 1   | 2   | 3   | 4   | 5  | 6   | 7   |
| 重量 (g)  | 33.4  | 33.6  | 33.7  | 34  | 34.1   | 34.2  | 34.3  |

### (三)背上的刮齒

木蛙背脊上的刮齒受到木棒的刮刷時，會因與木棒的反覆撞擊與分開，產生振動而有聲音，不同的刮齒的數量與排列、不同的刮齒大小與排列、不同形狀的刮齒等，對木蛙的聲音會有什麼影響呢？

我們以刮齒總長為 70mm、刮齒寬為 7mm、齒底厚 2mm，設計不同的刮齒數量、排列、形狀等變因，再以木棒 TS2 為刮刷的木棒，方形木蛙 SB3 作為實驗的蛙身，分別將不同的刮齒黏著於方形木蛙 SB3 的背脊上，以定速刮刷錄音裝置進行聲音的錄製，轉速設定為 30rpm(2 秒刮刷一次)，最後進行聲音的分析。

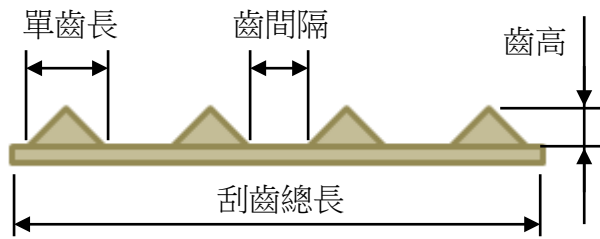


圖 4-11 刮齒各部位名稱(一)

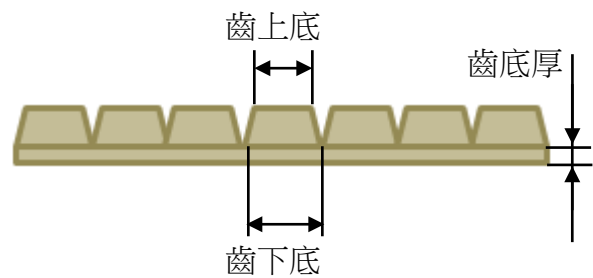


圖 4-12 刮齒各部位名稱(二)

#### 1.相同刮齒形狀與大小

首先我們想知道相同刮齒大小，單齒長 10mm、齒高 5mm，不同的數量與不同的齒間隔，對木蛙的聲音有何影響。

##### (1)不同數量

我們利用 3D 列印機，製作刮齒數量 1 齒至 7 齒(如表 4-14)，再分別黏貼於方形木蛙 SB3 的背脊上，進行刮刷錄音實驗。

表 4-14 不同的刮齒數量與刮齒重量

|        | GN1 | GN2 | GN3 | GN4 | GN5 | GN6 | GN7 |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 照片     |     |     |     |     |     |     |     |
| 重量 (g) | 1.1 | 1.3 | 1.5 | 1.6 | 1.8 | 1.9 | 2.1 |

##### (2)不同的齒間隔大小

在相同刮齒總長 70mm，以相同的刮齒大小，設計不同的間隔大小，因此我們以刮齒數量 4 齒為基準，分別以 3D 列印機製作不同齒與齒的齒間隔的刮齒(如表 4-15)，再分別黏貼於方形木蛙 SB3 的背脊上，進行刮刷錄音實驗。

表 4-15 不同的齒間隔大小與刮齒重量

|        | GS1 | GS2 | GS3 | GS4 | GS5 | GS6 | GS7 | GS8 |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 圖      |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 隔 (mm) | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| 重 (g)  | 1.5 | 1.5 | 1.6 | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 1.5 | 1.5 |




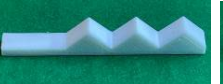
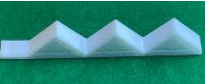
## 2.相同刮齒形狀，不同大小

在相同刮齒總長 70mm，相同刮齒形狀，不同刮齒大小的條件下，我們以刮齒數量 3 齒為基準，且可以再分成刮齒是集中型或平均分散型的兩種情形。

### (1)集中型不同大小的刮齒

集中型的刮齒，將刮齒集中於一側，當刮齒逐漸變大時，單齒長和齒高就會隨之變大(如表 4-16)，此處刮齒重量隨著刮齒變大，重量變輕，是因為齒底厚度由大變小所造成的。


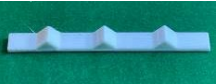
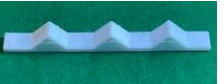
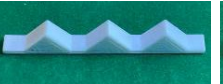
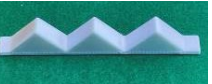
表 4-16 集中型不同大小的刮齒與刮齒重量

|          | GC1   | GC2   | GC3   | GC4  | GC5   |
|----------|---|---|---|--|---|
| 照片       |  |  |  |  |  |
| 單齒長 (mm) | 4   | 8   | 12  | 16   | 20  |
| 齒高 (mm)  | 2   | 4   | 6   | 8  | 10  |
| 重量 (g)   | 4.0   | 3.6   | 3.1   | 2.9  | 2.5   |

### (2)平均分散型不同大小的刮齒

平均分散型的刮齒，以 3 齒為基準，3 齒平均分散在總長 70mm 的刮齒上，齒底厚度相同，隨著刮齒逐漸變大，單齒長和齒高就會隨之變大，刮齒重量也變重，如表 4-17 所示。

表 4-17 平均分散型不同大小的刮齒與刮齒重量

|          | GD1   | GD2   | GD3   | GD4  | GD5   |
|----------|---|---|---|--|---|
| 照片       |  |  |  |  |  |
| 間隔 (mm)  | 16  | 12  | 8   | 4  | 0   |
| 單齒長 (mm) | 4   | 8   | 12  | 16   | 20  |
| 齒高 (mm)  | 2   | 4   | 6   | 8  | 10  |
| 重量 (g)   | 1.1   | 1.3   | 1.5   | 2.1  | 2.6   |



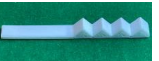
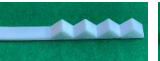
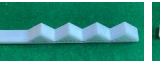
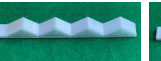
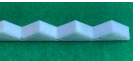
## 3.不同刮齒形狀

當刮齒的形狀不同，對木蛙的聲音會有何影響，我們以三種可能的形狀進行設計與實驗分析，第一種是相同齒高、不同單齒長的刮齒形狀變化。第二種是相同單齒長、不同齒高的刮齒形狀變化。第三種則是以相同的齒下底，不同齒上底的梯型刮齒形狀。

### (1)相同齒高、不同單齒長的刮齒

齒高設定為 5mm，刮齒數量為 4 齒，配合刮齒總長 70mm，單齒長為 5mm 至 17mm，如表 4-18 所示。

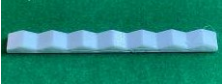
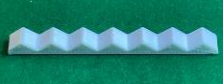
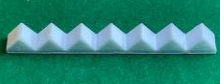


表 4-18 相同齒高不同單齒長的刮齒與刮齒重量

|         | GL1   | GL2   | GL3   | GL4   | GL5  | GL6   | GL7   |
|---------|---|---|---|---|--|---|---|
| 照片      |  |  |  |  |  |  |  |
| 齒長 (mm) | 5   | 7   | 9   | 11  | 13   | 15  | 17  |
| 重量 (g)  | 1.3   | 1.4   | 1.6   | 1.7   | 1.7  | 1.7   | 1.9   |

(2)相同單齒長(10mm、7 齒)、不同齒高的刮齒

單齒長設定為 10mm，配合刮齒總長 70mm，刮齒數量為 7 齒，齒高為 2mm 至 10mm，如表 4-19 所示。


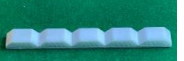
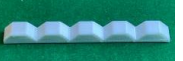
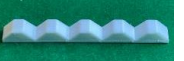
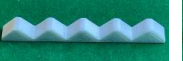

表 4-19 相同單齒長不同齒高的刮齒與刮齒重量

|         | GH1   | GH2   | GH3   | GH4  | GH5   |
|---------|---|---|---|--|---|
| 照片      |  |  |  |  |  |
| 齒高 (mm) | 2   | 4   | 6   | 8  | 10  |
| 重量 (g)  | 1.4   | 1.8   | 2.2   | 2.5  | 2.9   |

(3)相同下底(14mm、5 齒)、不同梯形的刮齒

齒下底設定為 14mm，配合刮齒總長 70mm，刮齒數量為 5 齒，齒上底為最大為 10mm，如表 4-20 所示。

表 4-20 相同下底、不同上底的梯形刮齒與刮齒重量

|         | GT1   | GT2   | GT3   | GT4  | GT5   | GT6   |
|---------|---|---|---|--|---|---|
| 照片      |  |  |  |  |  |  |
| 上底 (mm) | 10  | 8   | 6   | 4  | 2   | 0   |
| 齒高 (mm) | 1.5   | 2.5   | 3.5   | 4.5  | 5.5   | 6.5   |
| 重量 (g)  | 1.7   | 1.9   | 2.1   | 2.2  | 2.3   | 2.4   |

#### 四、以木蛙刮刷的聲音製作不同的音階

從研究過程中，找出可以配合八個音名的木蛙聲音，經音訊編輯分析軟體編成一個八個音名的音階聲音檔，再以聲音量測系統(SM)，繪出時頻圖。從時頻圖可以看出主要頻率是否逐漸升高，符合八個音名的音階變化，若能產生音階的變化，就能透過木蛙的不同音階的蛙鳴聲，演奏出不同的曲目，刮刷出自然的樂章。

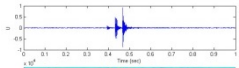
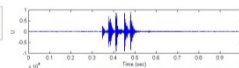
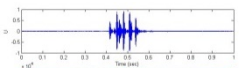
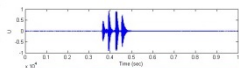
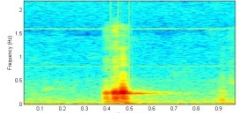
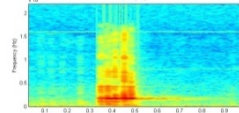
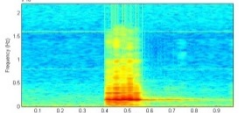
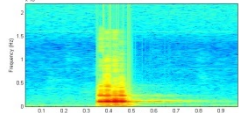
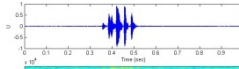
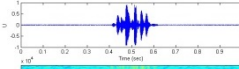
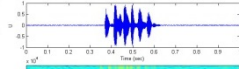
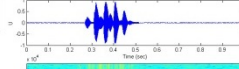
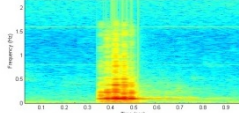
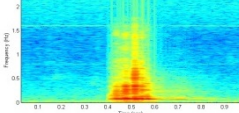
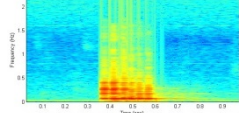
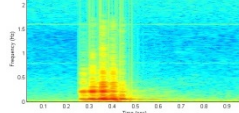


## 伍、研究結果

### 一、木製青蛙的刮刷聲音分析

從定速刮刷錄音裝置所錄得的聲音檔，每隻大小不同的木蛙取其中一個音波以聲音量測系統(SM)找出時間長度 1 秒的時頻圖，再用音訊編輯軟體(Audacity)找十個音波的主要峰值頻率(基音)與次要峰值頻率(泛音)，然後計算平均值。結果如表 5-1 所示。

表 5-1 不同大小木蛙的時頻圖與基音、泛音 分析時間長度：1 秒

| 木蛙編號   | TB1  | TB2  | TB3   | TB4  |
|--------|--|--|---|--|
| 波形圖    |   |   |   |   |
| 時頻圖    |   |   |   |   |
| 音頻(Hz) | 2187.6、2382.5  | 1735.5、1540.7  | 1403.2、2905.9   | 972.6、2329.7   |
| 木蛙編號   | TB5  | TB6  | TB7   | TB8  |
| 波形圖    |   |   |   |   |
| 時頻圖    |  |  |  |  |
| 音頻(Hz) | 885.7、2181   | 663.5、3288   | 615.6、1688.1  | 535.6、2041.4   |

以不同大小木蛙的主要峰值頻率(基音)的平均數與標準差繪頻率變化圖，如圖 5-1 所示。

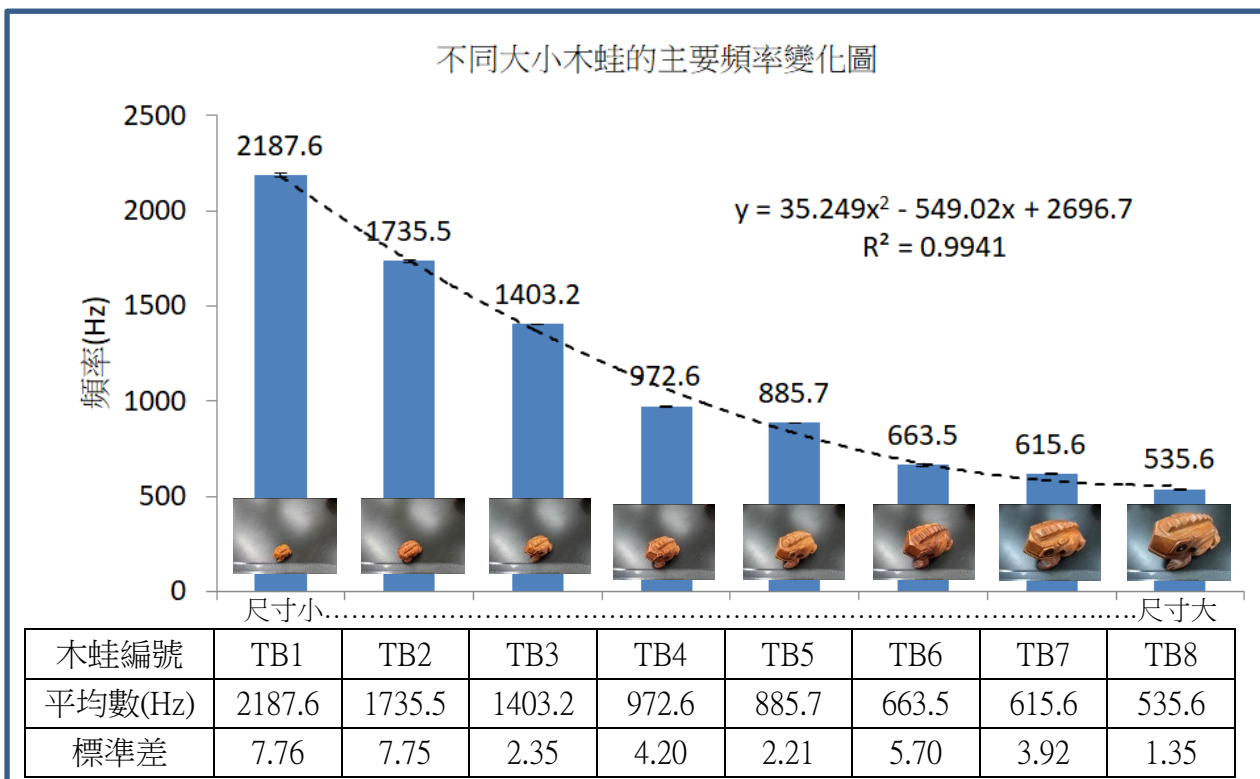


圖 5-1 不同大小木蛙聲音主要頻率的變化圖

**分析結果：**1.木蛙 TB1 的主要頻率最高，木蛙 TB8 的主要頻率最低。

2.隨著木蛙尺寸的增加，木蛙的重量增加，主要頻率有明顯下降的趨勢。

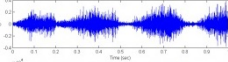
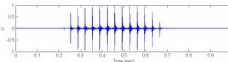
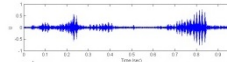
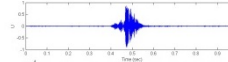
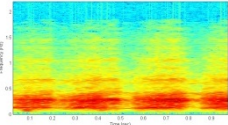
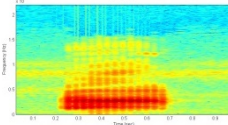
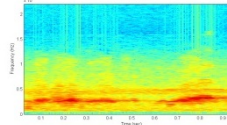
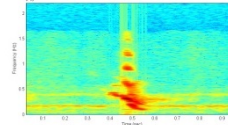
## 二、刮刷木製青蛙相對於真實蛙類鳴叫聲音的擬真程度分析

### (一)真實蛙類的鳴叫聲音分析

從網路資源找尋台灣蛙類鳴叫的聲音資料庫，透過下載或播放並錄音所得到的蛙鳴聲，以聲音量測系統(SM)找出時間長度 1 秒的時頻圖，再用音訊編輯軟體(Audacity)找出主要峰值頻率(基音)與其他次要峰值頻率(泛音)，如表 5-2 所示。

**表 5-2** 二十四種台灣常見蛙類聲音分析 分析時間長度：1 秒

| 編號-名稱  | F1-牛蛙          | F2-腹斑蛙         | F3-虎皮蛙         | F4-古氏赤蛙         |
|--------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 波形圖    |                |                |                |                 |
| 時頻圖    |                |                |                |                 |
| 音頻(Hz) | 181、1115、1481  | 574、1214、1132  | 597、1961、1797  | 867、462、613     |
| 編號-名稱  | F5-澤蛙          | F6-白領樹蛙        | F7-盤古蟾蜍        | F8-莫氏樹蛙         |
| 波形圖    |                |                |                |                 |
| 時頻圖    |                |                |                |                 |
| 音頻(Hz) | 1044、2346、2547 | 1102、1044、710  | 1112、1483、722  | 1231、2430       |
| 編號-名稱  | F9-台北樹蛙        | F10-黑眶蟾蜍       | F11-橙腹樹蛙       | F12-翡翠樹蛙        |
| 波形圖    |                |                |                |                 |
| 時頻圖    |                |                |                |                 |
| 音頻(Hz) | 1451           | 1547、1728、1388 | 1599、1330      | 1717、1587、1348  |
| 編號-名稱  | F13-褐樹蛙        | F14-台北赤蛙       | F15-梭德氏赤蛙      | F16-面天樹蛙        |
| 波形圖    |                |                |                |                 |
| 時頻圖    |                |                |                |                 |
| 音頻(Hz) | 1803、1929、1486 | 1981、1662、2777 | 2060、1880、1596 | 2415、2680、2995  |
| 編號-名稱  | F17-拉都希氏赤蛙     | F18-諸羅樹蛙       | F19-黑蒙西氏小雨蛙    | F20-艾氏樹蛙        |
| 波形圖    |                |                |                |                 |
| 時頻圖    |                |                |                |                 |
| 音頻(Hz) | 2429、2324、2681 | 2449           | 2616、2499、2192 | 2628、3671、13354 |

| 編號-名稱  | F21-巴氏小雨蛙   | F22-小雨蛙   | F23-日本樹蛙   | F24-斯文豪氏赤蛙  |
|--------|---|---|--|---|
| 波形圖    |  |  |  |  |
| 時頻圖    |  |  |  |  |
| 音頻(Hz) | 2654、2821、2479  | 2696、2858、1403  | 2717、3258、3129   | 3000、2649、3527  |

**結果發現：**1.牛蛙的叫聲低沈有如牛叫聲，主要頻率(基音)約 181Hz 為最低。

2.斯文豪氏赤蛙的叫聲有如鳥鳴聲，主要頻率(基音)約為 3000Hz 為最高。

## (二)擬真程度分析

1.八隻不同大小木蛙刮刷所得的聲音，由頻譜圖分析中，找出的主要音頻和次要音頻，再轉換成對應成音名和距離中央 C (261.63 赫茲) 的半音距離，如表 5-3 所示。

**表 5-3** 不同大小木蛙的音頻值、音名(半音距離)

| 木蛙編號   | T1                    | T2                    | T3                         | T4               |
|--------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|------------------|
| 音頻(Hz) | 2187.6、2382.5         | 1735.5、1540.7         | 1403.2、2905.9              | 972.6、2329.7     |
| 音名(距離) | C#7/Db7(37)<br>D7(38) | A6(33)<br>G6(31)      | F6(29)<br>F#7/Gb7(42)      | B5(23)<br>D7(38) |
| 木蛙編號   | T5                    | T6                    | T7                         | T8               |
| 音頻(Hz) | 885.7、2181            | 663.5、3288.0          | 615.6、1688.1               | 535.6、2041.4     |
| 音名(距離) | A5(21)<br>C#7/Db7(37) | E5(16)<br>G#7/Ab7(44) | D#5/Eb5(15)<br>G#6/Ab6(32) | C5(12)<br>C7(36) |

2.二十四種台灣常見蛙類的聲音經由頻譜圖分析中，找出主要峰值頻率(基音)與其他次要峰值 頻率(泛音)，再轉換對應成音名和距離中央 C (261.63 赫茲) 的半音距離，如表 5-4。

**表 5-4** 真實蛙類的音頻值、音名(半音距離)

| 編號-名稱  | F1-牛蛙                                     | F2-腹斑蛙                               | F3-虎皮蛙                                    | F4-古氏赤蛙                              |
|--------|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| 音頻(Hz) | 181、1115、1481                             | 574、1214、1132                        | 597、1961、1797                             | 867、462、613                          |
| 音名(距離) | F#3/Gb3(-6)<br>C#6/Db6(25)<br>F#6/Gb6(30) | D5(14)<br>D#6/Eb6(27)<br>C#6/Db6(25) | D5(14)<br>B6(35)<br>A6(33)                | A5(21)<br>A#4/Bb4(10)<br>D#5/Eb5(15) |
| 編號-名稱  | F5-澤蛙                                     | F6-白領樹蛙                              | F7-盤古蟾蜍                                   | F8-莫氏樹蛙                              |
| 音頻(Hz) | 1044、2346、2547                            | 1102、1044、710                        | 1112、1483、722                             | 1231、2430                            |
| 音名(距離) | C6(24)<br>D7(38)<br>D#7/Eb7(39)           | C#6/Db6(25)<br>C6(24)<br>F5(17)      | C#6/Db6(25)<br>F#6/Gb6(30)<br>F#5/Gb5(18) | D#6/Eb6(27)<br>D#7/Eb7(39)           |
| 編號-名稱  | F9-台北樹蛙                                   | F10-黑眶蟾蜍                             | F11-橙腹樹蛙                                  | F12-翡翠樹蛙                             |
| 音頻(Hz) | 1451                                      | 1547、1728、1388                       | 1599、1330                                 | 1717、1587、1348                       |
| 音名(距離) | F#6/Gb6(30)                               | G6(31)<br>A6(33)<br>1388(29)         | G6(31)<br>E6(28)                          | A6(33)<br>G6(31)<br>E6(28)           |

|        |                                 |                                 |                                      |                                      |
|--------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 編號-名稱  | F13-褐樹蛙                         | F14-台北赤蛙                        | F15-梭德氏赤蛙                            | F16-面天樹蛙                             |
| 音頻(Hz) | 1803、1929、1486                  | 1981、1662、2777                  | 2060、1880、1596                       | 2415、2680、2995                       |
| 音名(距離) | A6(33)<br>B6(35)<br>F#6/Gb6(30) | B9(71)<br>G#6/Ab6(32)<br>F7(41) | C7(36)<br>A#6/Bb6(34)<br>G6(31)      | D7(38)<br>E7(40)<br>F#7/Gb7(42)      |
| 編號-名稱  | F17-拉都希氏赤蛙                      | F18-諸羅樹蛙                        | F19-黑蒙西氏小雨蛙                          | F20-艾氏樹蛙                             |
| 音頻(Hz) | 2429、2324、2681                  | 2449                            | 2616、2499、2192                       | 2628、3671、13354                      |
| 音名(距離) | D#7/Eb7(39)<br>D7(38)<br>E7(40) | D#7/Eb7(39)                     | E7(40)<br>D#7/Eb7(39)<br>C#7/Db7(37) | E7(40)<br>A#7/Bb7(46)<br>G#9/Ab9(68) |
| 編號-名稱  | F21-巴氏小雨蛙                       | F22-小雨蛙                         | F23-日本樹蛙                             | F24-斯文豪氏赤蛙                           |
| 音頻(Hz) | 2654、2821、2479                  | 2696、2858、1403                  | 2717、3258、3129                       | 3000、2649、3527                       |
| 音名(距離) | E7(40)<br>F7(41)<br>D#7/Eb7(39) | E7(40)<br>F7(41)<br>F6(29)      | F7(41)<br>G#7/Ab7(44)<br>G7(43)      | F#7/Gb7(42)<br>E7(40)<br>A7(45)      |

### 3. 絕對誤差與相對誤差

將 8 隻不同大小木蛙音頻轉換後的半音距離作為測量值，24 種台灣常見蛙類音頻轉換後的半音距離作為真值，進行絕對誤差與相對誤差的計算。

絕對誤差 = 測量值 - 真值

相對誤差 = (絕對誤差 ÷ 真值) × 100%

真值不能為零，否則無法使用相對誤差，另外測量值為正、真值為負，也不能使用。牛蛙真值的(-6)即不能與八隻木蛙的測量值(正值)進行相對誤差的計算。但由絕對誤差中，可得知與 8 隻木蛙的聲音，最小差 18 個半音距離，最大相差 43 個半音距離。

以主要音頻(基音)為基準，取相對誤差小於等於 10%的配對，進行主要音頻和次要音頻的絕對誤差分析比較。如圖 5-2。

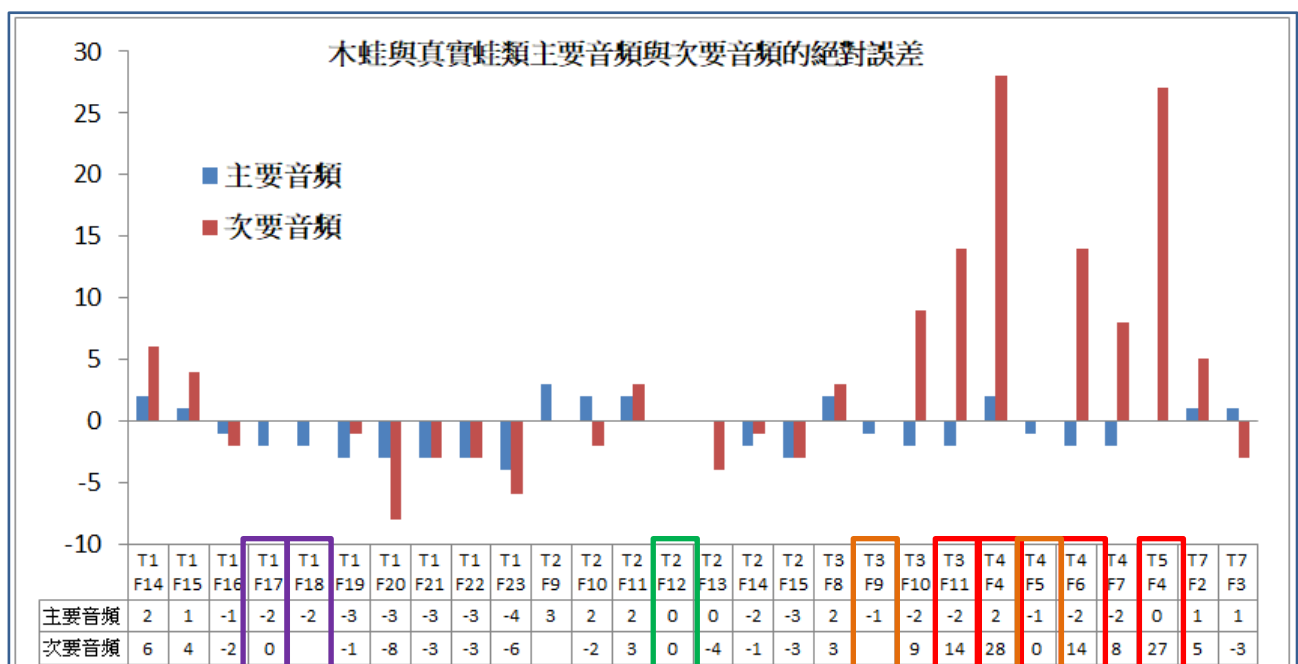


圖 5-2 木蛙與真實蛙類聲音主要音頻與次要音頻的絕對誤差

- 結果發現：**
- 1.T2F12 主要音頻與次要音頻的絕對誤差皆為 0。
  - 2.T3F9、T4F5 主要音頻與次要音頻的絕對誤差和為-1。
  - 3.T1F17、T1F18 主要音頻與次要音頻的絕對誤差和為-2。
  - 4.T3F11、T4F4、T4F6、T5F4 等四個配對，次要音頻的絕對誤差超過 10，誤差已偏大，故不在相對誤差中繼續分析。

從上述配對所得主要音頻與次要音頻的絕對誤差，刪去 T3F11、T4F4、T4F6、T5F4 等四個配對，進行相對誤差的計算，結果如圖 5-3 所示。

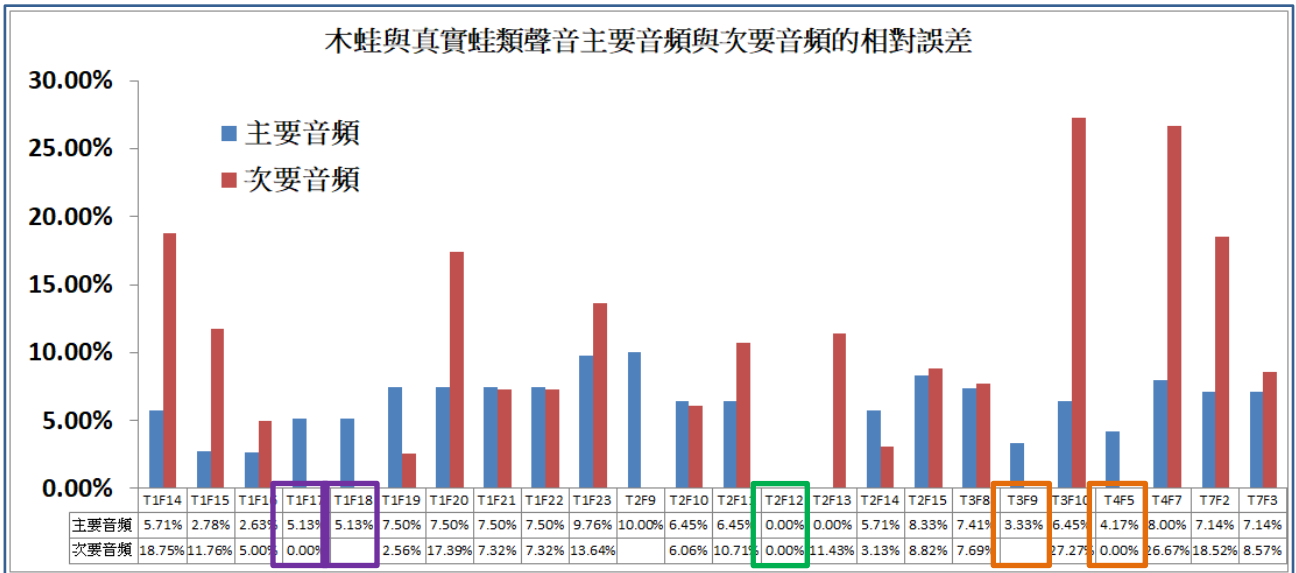


圖 5-3 木蛙與真實蛙類主要音頻與次要音頻的相對誤差

- 結果發現：**
- 1.T2F12 主要音頻與次要音頻的相對誤差皆為 0。
  - 2.T3F9、T4F5 主要音頻與次要音頻的相對誤差和分別 3.33%、4.17%。
  - 3.T1F17、T1F18 主要音頻與次要音頻的相對誤差和皆為 5.13%。

#### 4.加權相對誤差和與擬真度

利用上述所求得的最大主要頻率的相對誤差與次要頻率的相對誤差，計算出加權相對誤差和，接著再求出聲音的擬真度，如圖 5-4 所示。

$$\text{加權相對誤差和} = (((\text{最高主要頻率的相對誤差} \times 2) + \text{次高主要頻率的相對誤差}) \div 3) \times 2$$

其中最高主要頻率的相對誤差權重設定為 2，次高主要頻率的相對誤差權重設定為 1。

若無次高主要頻率的相對誤差，則直接以最高主要頻率的相對誤差作為擬真度的加權相對誤差和。

$$\text{擬真度} = 100\% - \text{加權相對誤差和}$$

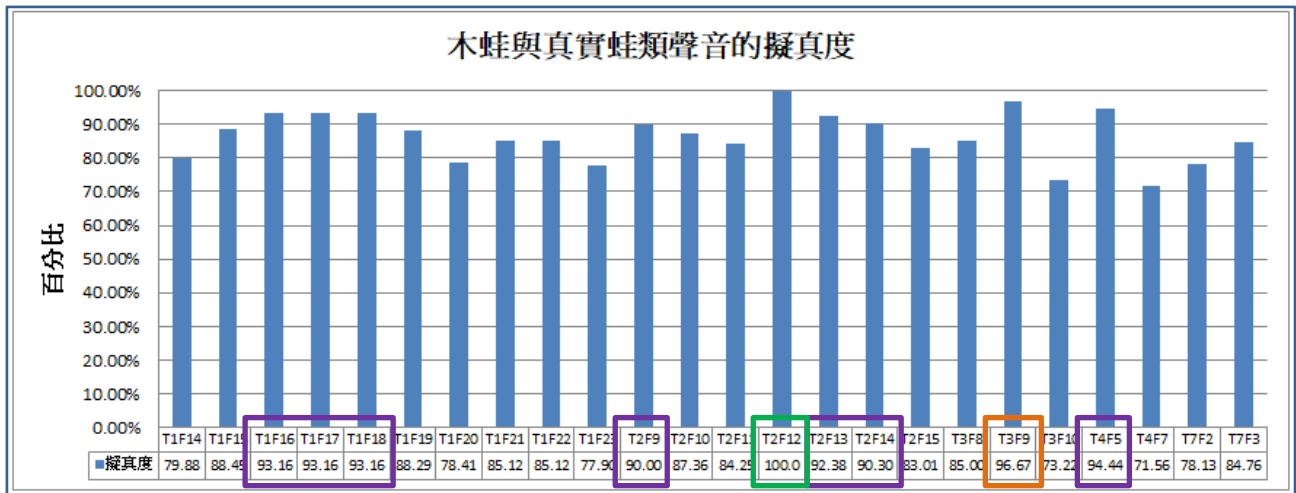


圖 5-4 木蛙與真實蛙類聲音的擬真度

- 結果發現：**
- 1.以主要頻率和次要主要頻率為基準，T2F12 有 100%的擬真度
  - 2.以主要頻率和次要主要頻率為基準，T3F9 有 96.67%的擬真度。
  - 3.以主要頻率和次要主要頻率為基準，T1F16、T1F17、T1F18、T2F9、T2F13、T2F14、T4F5 有 90%以上的擬真度。
  - 4.其中 T4F5 因主要頻率加權計算，從未加權的擬真度 95.83%，下降至 94.44%的擬真度。

### 三、影響木蛙聲音的變因探討

#### (一)木棒

##### 1.不同大小的木棒

使用同一隻木蛙 TB1，以不同大小的木棒進行刮刷錄音實驗，結果如表 5-5 所示。音頻平均數最大與最小的差異只有 15.5Hz，可見沒有顯著的差異。

表 5-5 不同大小木棒對木蛙 TB1 刮刷的頻率

|         | TS1   | TS2    | TS3    | TS4    | TS5    | TS6    | TS7    | TS8    |
|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 平均數(Hz) | 2201  | 2195.3 | 2185.5 | 2191.7 | 2196.3 | 2192.7 | 2193.6 | 2188.7 |
| 標準差     | 18.06 | 18.01  | 7.47   | 10.36  | 13.2   | 13.13  | 16.7   | 17.02  |

再使用同一隻木蛙 TB8，以不同大小的木棒進行刮刷錄音實驗，結果如表 5-6 所示。音頻平均數最大與最小的差異只有 3.8Hz，可見沒有顯著的差異。

表 5-6 不同大小木棒對木蛙 TB8 刮刷的頻率

|         | TS1   | TS2   | TS3   | TS4   | TS5   | TS6   | TS7   | TS8   |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 平均數(Hz) | 523.5 | 524.5 | 525.9 | 524.7 | 525.1 | 526.9 | 524.4 | 523.1 |
| 標準差     | 2.01  | 2.27  | 1.29  | 2.71  | 2.12  | 9.11  | 3.21  | 1.52  |

## 2.木棒不同刮刷速度

使用木蛙 TB2 與木棒 TS2，進行木棒不同刮刷速度的實驗，結果如表 5-7 所示。音頻平均數最大與最小的差異為 25.4Hz，同為音名 G#6/Ab6，可見沒有顯著的差異。

表 5-7 不同刮刷速度對木蛙主要頻率的變化

|         | SS1    | SS2    | SS3    | SS4    | SS5    | SS6    | SS7    | SS8    |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 平均數(Hz) | 1705.8 | 1699.1 | 1690.7 | 1697.4 | 1680.4 | 1697.8 | 1689.5 | 1681.4 |
| 標準差     | 5.07   | 11.21  | 11.20  | 5.82   | 14.32  | 6.86   | 10.89  | 20.60  |

## (二)不同木蛙身體變因對木蛙聲音的影響

### 1.不同方形木蛙蛙身大小

使用不同方形木蛙蛙身大小進行刮刷錄音實驗，所得聲音分析結果如圖 5-5 所示。

### 2.不同蛙身厚度-飛機木(巴爾沙木)

使用不厚度飛機木所製作的方形木蛙進行刮刷錄音實驗，所得聲音分析結果如圖 5-6。

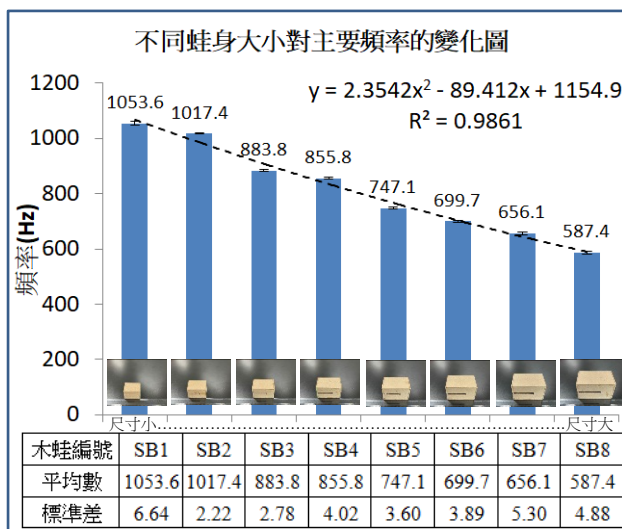


圖 5-5 不同蛙身大小對主要頻率的變化

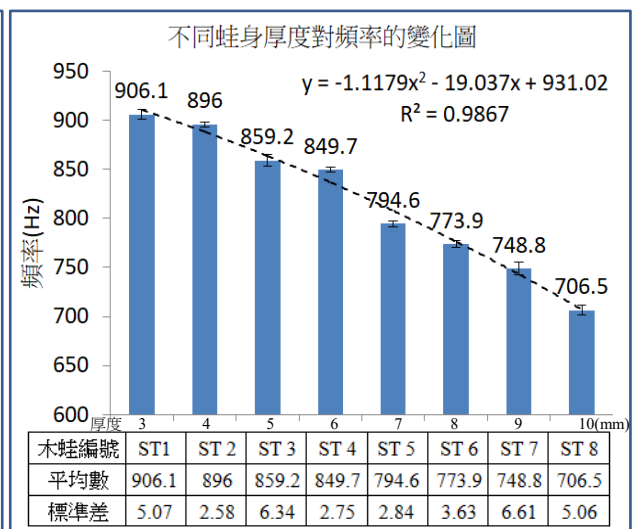


圖 5-6 不同蛙身厚度對主要頻率的變化

### 分析結果：

- (1)方形木蛙 SB1 的主要頻率最高，木蛙 SB8 的主要頻率最低。
- (2)隨著方形木蛙尺寸的增加，方形木蛙的重量增加，主要頻率有明顯下降的趨勢。
- (3)此結果與不同大小的雕刻木蛙實驗，結果一致。

### 分析結果：

- (1)方形木蛙蛙身厚度 ST1 的主要頻率最高，蛙身厚度 ST8 的主要頻率最低。
- (2)隨著方形木蛙蛙身厚度的增加，方形木蛙的重量增加，主要頻率有明顯下降的趨勢。

## 3.不同蛙身材質

使用不同蛙身材質所製作的方形木蛙進行刮刷錄音實驗，所得聲音分析結果如圖 5-7。

## 4.不同蛙口高度

使用不同蛙口高度製作的方形木蛙進行刮刷錄音實驗，所得聲音分析結果如圖 5-8 所示。

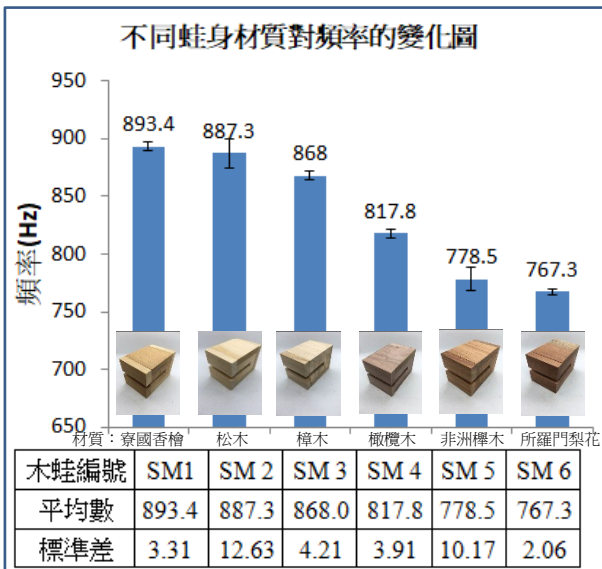


圖 5-7 不同蛙身材質對主要頻率的變化

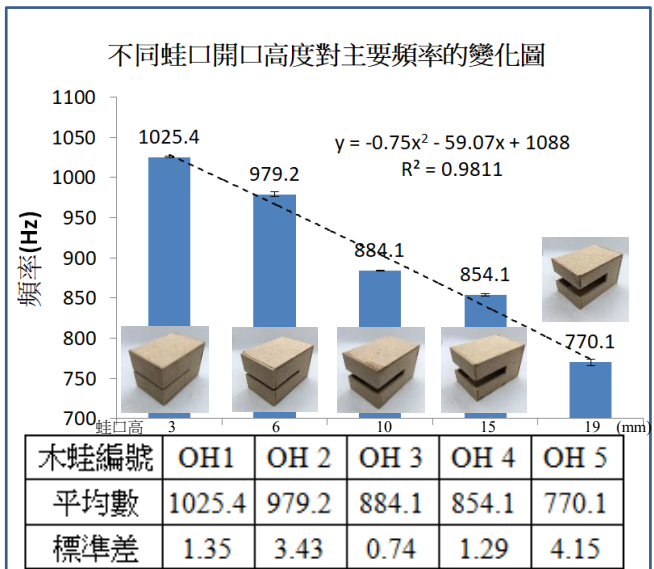


圖 5-8 不同蛙口開口高度對主要頻率的變化

分析結果：

- (1) 方形木蛙蛙身材質 SM1(寮國香檳)的主要頻率最高，蛙身材質 SM6(所羅門梨花)的主要頻率最低。
- (2) 相同大小與厚度，不同材質的方形木蛙，重量增加，主要頻率有明顯下降的趨勢。

分析結果：

- (1) 方形木蛙蛙口高度 OH1 的主要頻率最高，蛙口高度 OH5 的主要頻率最低。
- (2) 隨著方形木蛙蛙口高度的增加，方形木蛙的重量變輕，但主要頻率卻有明顯下降的趨勢。
- (3) 因此在重量變化不大的情況下，蛙口高度愈高，主要頻率會變低。

5. 不同蛙口深度

使用不同蛙口深度製作的方形木蛙進行刮刷錄音實驗，所得聲音分析結果如圖 5-9 所示。

6. 不同蛙口開口位置

使用不同蛙口開口位置製作的方形木蛙進行刮刷錄音實驗，聲音分析結果如圖 5-10。

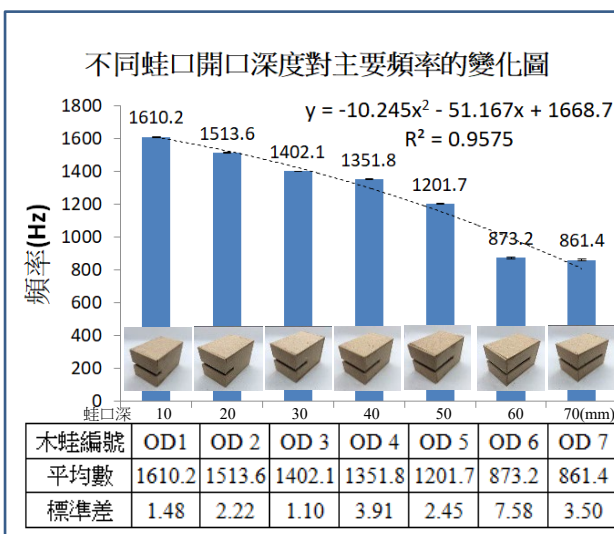


圖 5-9 不同蛙口深度對主要頻率的變化

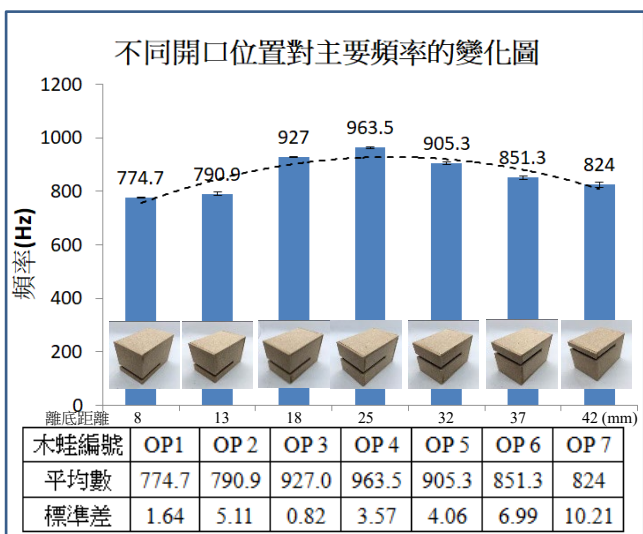


圖 5-10 不同蛙口開口位置對主要頻率的變化



### 分析結果：

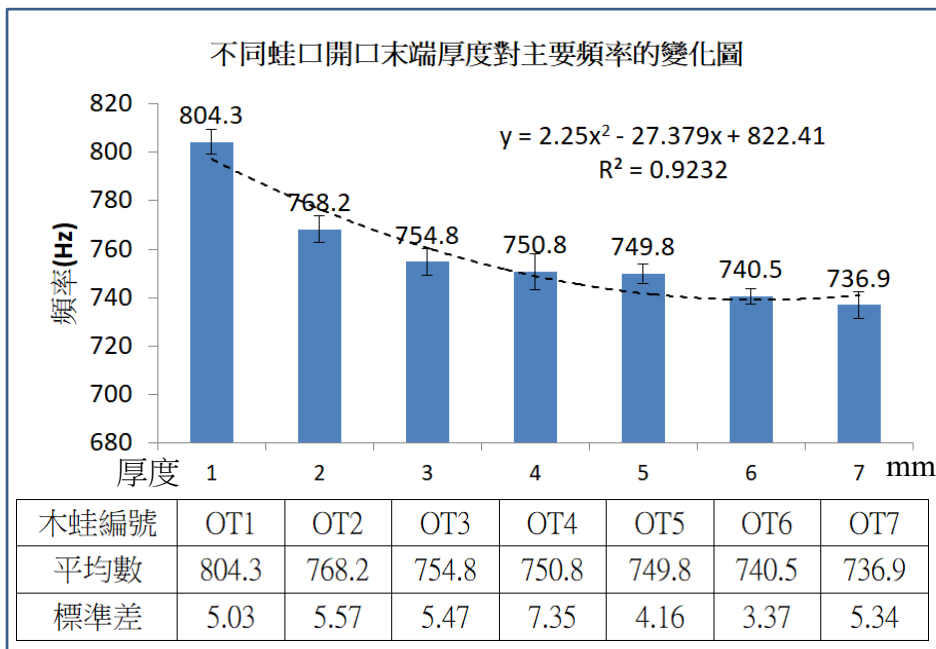
- (1) 方形木蛙蛙口深度 OD1 的主要頻率最高，蛙口深度 OD7 的主要頻率最低。
- (2) 隨著方形木蛙蛙口深度的增加，主要頻率有明顯下降的趨勢。
- (3) 因此在重量變化不大的情況下，蛙口深度愈深，主要頻率會變低。

### 分析結果：

- (1) 方形木蛙蛙口開口位置 OP4 的主要頻率最高，蛙口開口位置 OP1 的主要頻率最低。
- (2) 蛙口開口位置在木蛙高度的中央處，可得較高的主要頻率，而蛙口位置接近蛙身底部或蛙身上方，則主要頻率會變低。

### 7. 蛙口兩側末端不同厚度(板厚 7mm，區域 12mm×12mm)

使用蛙口兩側末端不同厚度製作的方形木蛙進行刮刷錄音實驗，聲音分析結果如圖 5-11。



此處經銑切後，  
厚度為 1mm

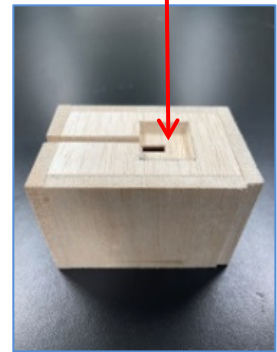


圖 5-12 OT1 木蛙  
開口厚度為 1mm

圖 5-11 木蛙口兩側末端不同厚度對主要頻率的變化

**分析結果：** (1) 方形木蛙蛙口兩側末端厚度為 OT1 時主要頻率最高，兩側末端厚度為 OT7 時主要頻率最低。

(2) 隨著方形木蛙蛙口兩側末端厚度變厚時，主要頻率有明顯下降的趨勢。

### (三) 背上的刮齒(7mm × 70mm)(齒底厚 2mm)

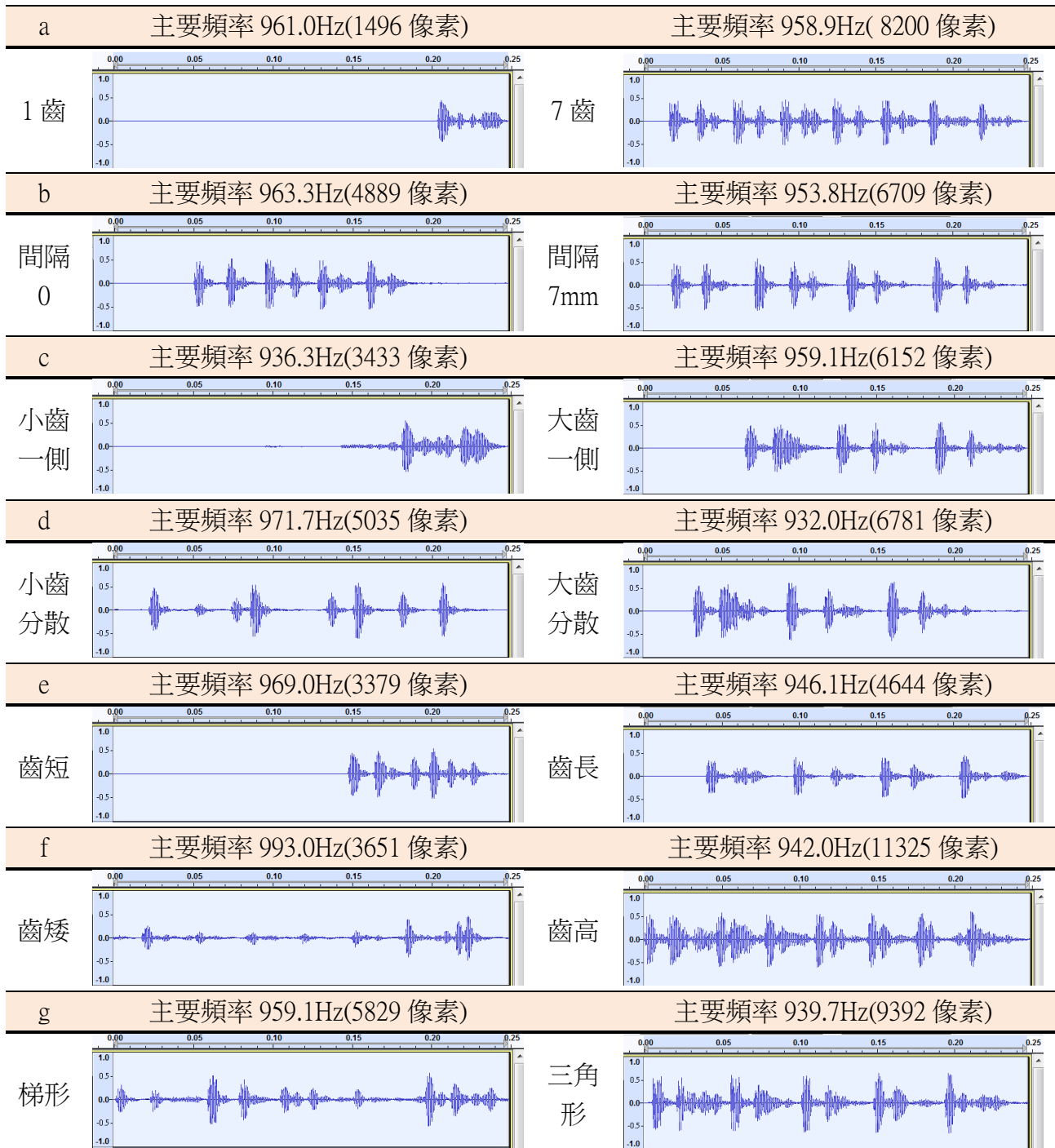
操縱變因為刮齒時，我們發現相同蛙身，改變木蛙背脊上的刮齒，不同實驗所產生的音高皆落在 A#/B b 5(+22)932.0Hz 與 B5(+23)974.1Hz 之間，表示音高只相差一個半音距離，因此在刮齒若無太大的重量變化，對音高較無顯著的影響，因此我們對時間與振幅進行分析，以利最後符合真實蛙類鳴叫的音長及振幅變化。

使用圖像處理軟體(ImageJ)計算出不同波形的像素數量，作為產生振幅總能量的參考。像素較多，表示振幅總能量較大。

### 1. 相同刮齒形狀與大小(單齒長 10mm、齒高 5mm)

- (1)不同數量，代號 a。(2)不同間隔大小(4 齒)，代號 b
- 2.相同刮齒形狀(3 齒)，不同大小
- (1)刮齒集中一側，代號 c。(2)刮齒平均分散，代號 d。
- 3.不同刮齒形狀
- (1)相同齒高(5mm、4 齒)，不同單齒長的刮齒，代號 e。(2)相同單齒長(10mm、7 齒)、不同齒高的刮齒，代號 f。(3)相同下底(14mm、5 齒)、不同梯形的刮齒，代號 g。

表 5-8 不同刮齒的變因所產生的振幅



**分析結果：**

(1)在不同數量的變因中，7 齒的像素量並不是 1 齒的 7 倍，可見在連續刮刷時，可能產生

木蛙振動的干擾，所以總能量變低。

(2)刮齒不連續，有間隔時，得到的振幅總能量大於刮齒連續，沒有間隔。

(3)不同刮齒大小，刮齒較大，可以得到較大的振幅總能量。

(4)同長不同齒高，齒較高者，可以得到較大的振幅總能量。

(5)不同形狀，三角形得到的振幅總能量會大於梯形刮齒，但梯形因可以減少木棒振動幅度，故刮刷時，木棒較無上下振動的感覺。

(6)同樣的木棒，刮齒數量多以及能使木棒上下振動幅度較大者刮齒，可以使刮刷時，得到較大的振幅總能量。

#### 四、以木蛙刮刷的聲音製作不同的音階

從研究過程中，找出可以配合八個音階的木蛙聲音，如表 5-9。經音訊編輯軟體編成一個八個音階的聲音檔，再以聲音量測系統(SM)，繪出時頻圖，如圖 5-13 所示。從時頻圖可以看出主要頻率逐漸升高，符合八個音階的變化，以此為基礎，就能透過木蛙的八個音階的蛙鳴聲，刮刷出自然的樂章。

表 5-9 配合八個音階的木蛙聲音

| 木蛙編號 | TB8   | SB8   | TB6   | SB6   | ST6   | ST2   | OH2   | SB1    |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 主要頻率 | 535.6 | 587.4 | 663.5 | 699.7 | 773.9 | 896.0 | 979.2 | 1053.6 |
| 音名   | C5    | D5    | E5    | F5    | G5    | A5    | B5    | C6     |

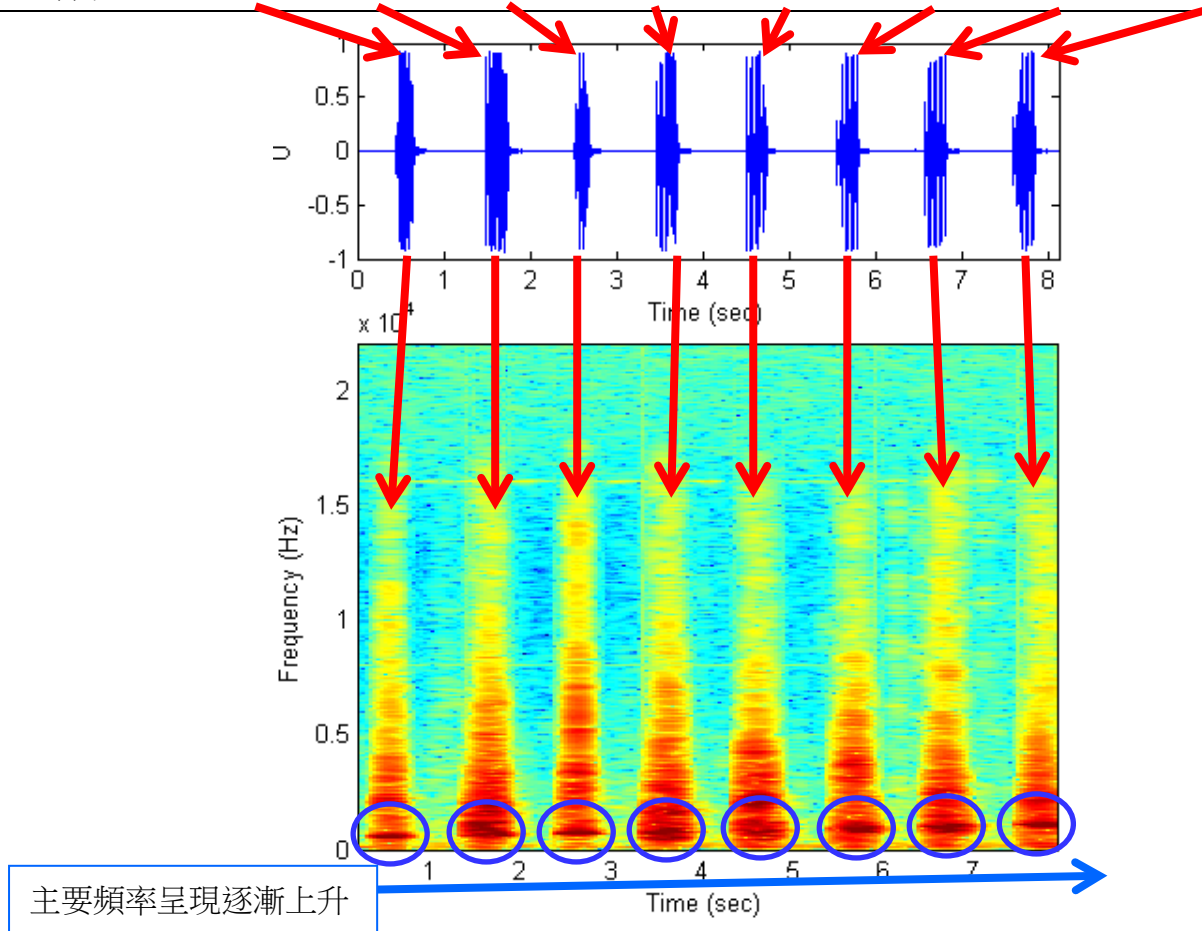


圖 5-13 八個音階波形圖與時頻圖

## 陸、討論

一、木製青蛙的木棒的大小，通常是配合蛙身大小與放置木棒的蛙口大小而決定，由研究四中探討不同大小的木棒以及不同的木棒刮刷速度，結果發現，對相同的蛙身所產生的主要頻率(基音)，並沒有顯著的不同，但音色卻有顯著的差異，如圖 6-1 至圖 6-4 所示，尤其在刮齒較大木棒較小時，最為明顯。

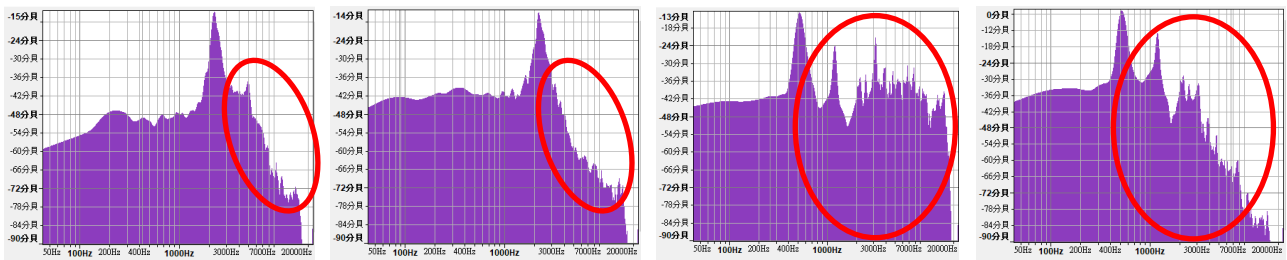


圖 6-1 小齒小棒

圖 6-2 小齒大棒

圖 6-3 大齒小棒

圖 6-4 大齒大棒

二、若是相同的刮齒大小，使用不同大小的木棒進行刮刷，實際用手刮刷木蛙時，會發現木棒較小時，會有較明顯的撞擊感覺，是因為木棒在向前刮刷時，上下振動的幅度較大(圖 6-5)，反之，使用較大的木棒時，會較缺少撞擊振動的感覺，是因為木棒在向前刮刷時，上下振動的幅度較小。如圖 6-7。

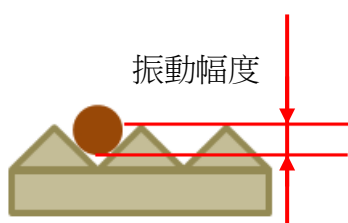


圖 6-5 撞擊振動幅度大

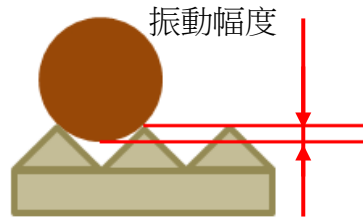


圖 6-6 撞擊振動幅度中

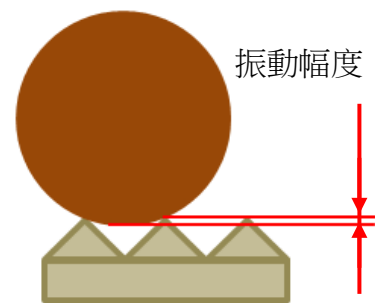


圖 6-7 撞擊振動幅度小

三、相同體積的情況下，不同材質，愈重的材質，刮刷聲音愈低，但直接敲擊蛙身，材質愈重的音頻愈高，(如圖 6-8 所示)，因為在蛙身不同材質刮刷實驗中，我們使用相同的刮齒(圖 4-3)，因此木棒撞擊固定的刮齒材質，而使用直接敲擊蛙身時，木棒是直接撞擊不同的材質，因此產生刮刷與敲擊的不同的結果，密度較高的材質，受撞擊時，振動產生的頻率也較高。

四、研究四的不同開口厚度(飛機木)，結果發現厚度變薄，音頻會變高，這與我們假設的結果不同，我們以不同材質，密集板原本厚度為 3mm，再進行一次實驗，結果發現厚度變薄，音頻會變低(如圖 6-9 所示)。我們發現同樣體積，飛機木(ST1)的重量只有 11.0 公克重，密集板(SB3)有 54.4 公克重，在材質密度上有顯著的差異，因此在設計兩側末端開口厚度對音頻的影響時，同時也要考慮材質的密度。

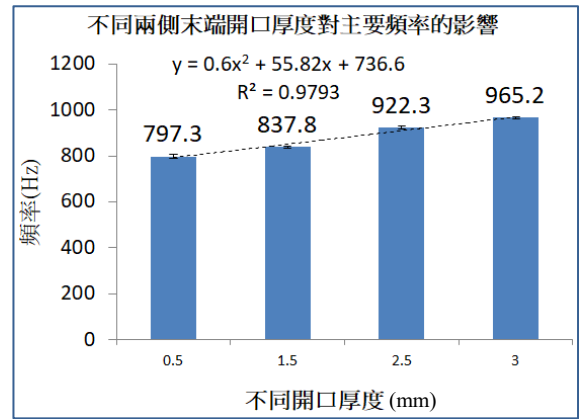
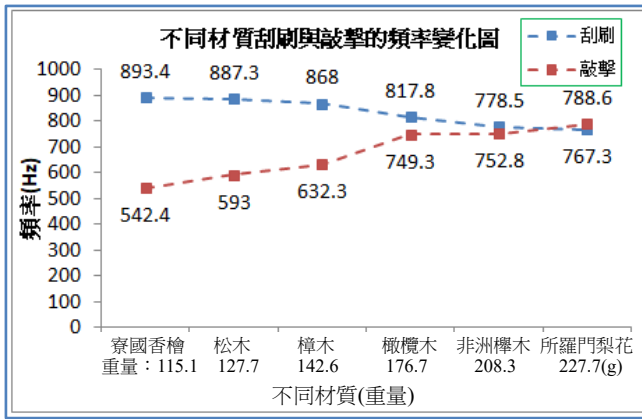






圖 6-8 不同材質刮刷與敲擊的主要頻率

圖 6-9 密集板不同兩側末端厚度的主要頻率

五、觀察木製青蛙，我們也發現配合青蛙的外貌，蛙口有傾斜的設計，這對木蛙的聲音會有什麼影響呢？由研究四蛙身開口位置的結果，發現蛙口開口在蛙身高度的中間的聲音頻率是最高(OP4)，我們嘗試設計製作不同的蛙口開口斜度，進行實驗，結果發現在 OP6 的開口位置側邊水平向下傾斜 15 度，得到的聲音頻率高於 OP6，但仍是小於 OP4。


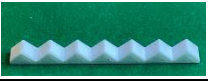
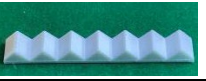
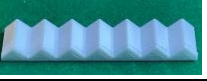
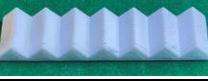
表 6-1 木製青蛙與方形木蛙的開口斜度與主要頻率(Hz)

|      | 木製青蛙  | 開口離底 25mm   | 開口離底 37mm  | 向下傾斜 15 度   |
|------|---|---|--|---|
| 照片   |  |  |  |  |
| 主要頻率 | TB4-972.6(4.20)   | OP4- 963.5(3.57)  | OP6-851.3(6.99)  | 901.8(2.97)   |

註：主要頻率儲存格內容為木蛙編號-主要頻率，括號內為標準差。

六、雖然在上述研究中的刮齒變因的不同，木蛙聲音頻率沒有顯著差異，原因可能是刮齒的重量相近，而隨著刮齒寬增加，重量增加，頻率有下降的趨勢，因此刮齒的重量仍是會影響木蛙的聲音頻率。

表 6-2 不同刮齒寬度的重量與主要頻率(Hz)

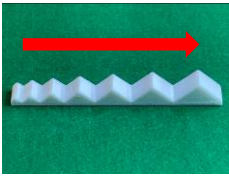
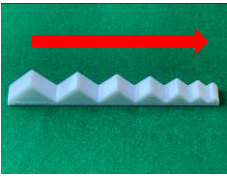
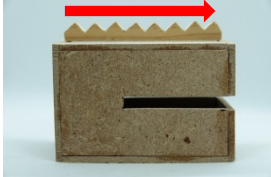
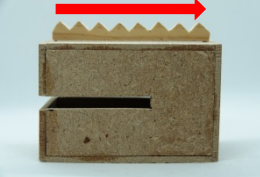
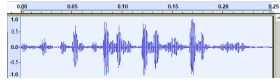
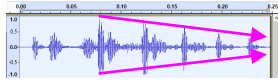
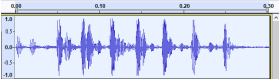

|       | GW1   | GW2   | GW3   | GW4  | GW5   |
|-------|---|---|---|--|---|
| 照片    |  |  |  |  |  |
| 齒寬 mm | 2   | 6   | 10  | 14   | 18  |
| 重量(g) | 0.7   | 1.7   | 2.7   | 3.8  | 4.7   |
| 主要頻率  | 976.1(0.88)   | 957.4(2.17)   | 943.4(0.97)   | 928.5(1.08)  | 926.0(1.33)   |

註：主要頻率後方括號內為標準差。

七、仔細觀察木製青蛙背脊上的刮齒，靠近尾部的刮齒較小、靠近頭部的刮齒較大，刮刷木蛙是從尾部的較小的刮齒向頭部較大的刮齒移動，(A+C)可以得到較大的振幅，聲音較為

響亮；若以相反方向，頭部向尾部刮刷，則為(B+D)振幅快速變小，聲音快速變小。

表 6-3 不同刮齒大小的排列與刮刷方向

| 編號 | A   | B   | C  | D   |
|----|---|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |  |
| 波形 |  |  |  |  |
| 頻率 | 951.0Hz(22)   | 940.8Hz(22)   | 940.5Hz(22)  | 974.5Hz(23)   |

註：頻率為主要頻率，括號內為距離中央 C(261.63 赫茲)的半音距離。

## 柒、結論

- 一、相同的材質(芒果木)，隨著木蛙尺寸的增加，木蛙的**重量變重**，**主要頻率(基音)變低**。
- 二、以主要頻率和次要主要頻率為基準，**T2F12 有 100%的擬真度**，T3F9 有 96.67%的擬真度，T1F16、T1F17、T1F18、T2F9、T2F13、T2F14、T4F5 有 90%以上的擬真度。

表 7-1 木蛙聲音與真實蛙類鳴叫聲的擬真度

| 木蛙編號 | 真實蛙類       | 擬真度(%) | 木蛙編號 | 真實蛙類     | 擬真度(%) |
|------|------------|--------|------|----------|--------|
| T2   | F12-翡翠樹蛙   | 100%   | T1   | F18-諸羅樹蛙 | 93.16% |
| T3   | F9-台北樹蛙    | 96.67% | T2   | F13-褐樹蛙  | 92.38% |
| T4   | F5-澤蛙      | 94.44% | T2   | F14-台北赤蛙 | 90.30% |
| T1   | F16-面天樹蛙   | 93.16% | T2   | F9-台北樹蛙  | 90.00% |
| T1   | F17-拉都希氏赤蛙 | 93.16% |      |          |        |

- 三、探討影響木蛙聲音的變因，找出影響木蛙聲音頻率的**因素**，理論上就可以以此為基礎，製作出想要主要音頻是多高或多低的木蛙。

(一)不同**木棒**大小與木棒的刮刷速度對木蛙的主要音頻(**基音**)**沒有顯著的影響**，但不同的木棒大小對音色會產生影響。

(二)木蛙身體變因對木蛙聲音的影響

- 1.相同材質情況下，**蛙身愈大**，重量愈重，木蛙聲音的**主要頻率會愈低**，反之愈高。
- 2.相同材質且共振腔相同大小的情況下，**蛙身厚度愈厚**，重量愈重，木蛙聲音的**主要頻率會愈低**，反之愈高。
- 3.木棒與刮齒材質固定的情況下，相同大小但不同蛙身材質時，材質重量愈重，木蛙聲音的**主要頻率會愈低**，反之愈高。
- 4.相同材質且蛙身大小相同的情況下，**蛙口高度愈大**，木蛙聲音的**主要頻率會愈低**，反之愈高。

- 5.相同材質且蛙身大小相同的情況下，**蛙口深度愈深**，木蛙聲音的**主要頻率會愈低**，反之愈高。
- 6.相同材質且蛙身大小相同的情況下，蛙口**開口位置愈接近底部或愈接近頂部**，木蛙聲音的**主要頻率會愈低**，蛙口開口位置在高度的中央時，主要頻率為最高。
- 7.材質為飛機木(軟木)的情況下，蛙口兩側末端厚度愈薄，主要頻率愈高，反之厚度愈厚，主要頻率愈低。而若材質為密集木的情況下，蛙口兩側末端厚度愈薄，主要頻率愈低，反之厚度愈厚，主要頻率愈高。

(三)不同蛙身背上刮齒變因對木蛙聲音的影響，在刮齒的重量沒有太大變化時，刮齒的數量、形狀與排列方式，會對振動的總能量與振幅的波形產生影響，不會對木蛙的主要頻率產生太大的影響。

四、從研究過程中，我們找出了符合**八個音階變化的木蛙聲音**，如表 7-2 所示，以此為基礎，就能透過木蛙八個音階的蛙鳴聲，演奏不同的曲目，刮刷出不同的自然的樂章。

表 7-2 符合八個音名的木蛙頻率

| 木蛙編號 | TB8   | SB8   | TB6   | SB6   | ST6   | ST2   | OH2   | SB1    |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 主要頻率 | 535.6 | 587.4 | 663.5 | 699.7 | 773.9 | 896.0 | 979.2 | 1053.6 |
| 音名   | C5    | D5    | E5    | F5    | G5    | A5    | B5    | C6     |

## 捌、參考文獻資料

- 國小自然與生活科技五下單元四聲音與樂器(2020)。台北市：康軒出版社。4 版。
- 張叡珊、尤寶淑、張庭鳳、游子慧(2009)·搗杵之音。中華民國第四十九屆中小學科學展覽會作品，國中組物理科。
- 蘇宥澄、傅予葳、傅沛容、李昕潔、魏雯娟(2020)·吹音裊裊～「膜」鳥笛。中華民國第六十屆中小學科學展覽會作品，國小組生活與應用科學科(二)。
- 風潮 muziU 音樂生活網-青蛙四季唱遊-台灣青蛙報報。取自：  
<http://www.muziu.com.tw/wind/ipad/album.jsp?id=3021>
- 科學玩具柑仔店(Darling の 優)。取自：[http://kingdarling.blogspot.com/2013/02/blog-poth\\_7408.html](http://kingdarling.blogspot.com/2013/02/blog-poth_7408.html)
- 台灣野生動物之聲資訊網。取自：[http://www.taisong.org/a\\_frog.php](http://www.taisong.org/a_frog.php)
- 楊懿如的青蛙學堂。取自：[http://www.froghome.idv.tw/html/class\\_1/life\\_03.html](http://www.froghome.idv.tw/html/class_1/life_03.html)
- 振動噪音產學技術聯盟。取自：<http://aitanhv.blogspot.com/>
- 國立屏東科技大學機械工程系-振動噪音實驗室。取自：<http://140.127.6.133/lab/>

## 【評語】 080111

本作品利用自行設計的「定速刮刷錄音裝置」來探討木蛙的發聲頻譜，並且探討影響木蛙聲音的各種變因。雖然相類似題目已多次在科展出現，但是本作品添加了許多的自創元素，例如木蛙相對於真實蛙類鳴叫聲音的擬真程度分析以及製作不同的音階。整體上本作品實驗控制變因做得很詳細，對於木蛙刮聲有著深入的探討，是一件完整的作品；唯研究成果與先前已知作品相類似，如果能夠有全新的研究成果則會更好。



## 作品簡報

# 「木」響「蛙」鳴－刮出自然樂章

---

組別：國小組

科別：物理科

研究問題

研究方法

市售木蛙  
真實蛙類

木棒變因  
刮齒變因

自製木蛙  
蛙身變因

結論  
應用

## 研究問題

- ◆ 市售木製青蛙的刮刷聲音分析？
- ◆ 刮刷市售木製青蛙和真實蛙類的鳴叫聲音一樣嗎？
- ◆ 探討**影響木蛙聲音的變因**有什麼？
- ◆ 如何用木蛙刮刷的聲音製作出不同的音階？



研究問題

研究方法

市售木蛙  
真實蛙類

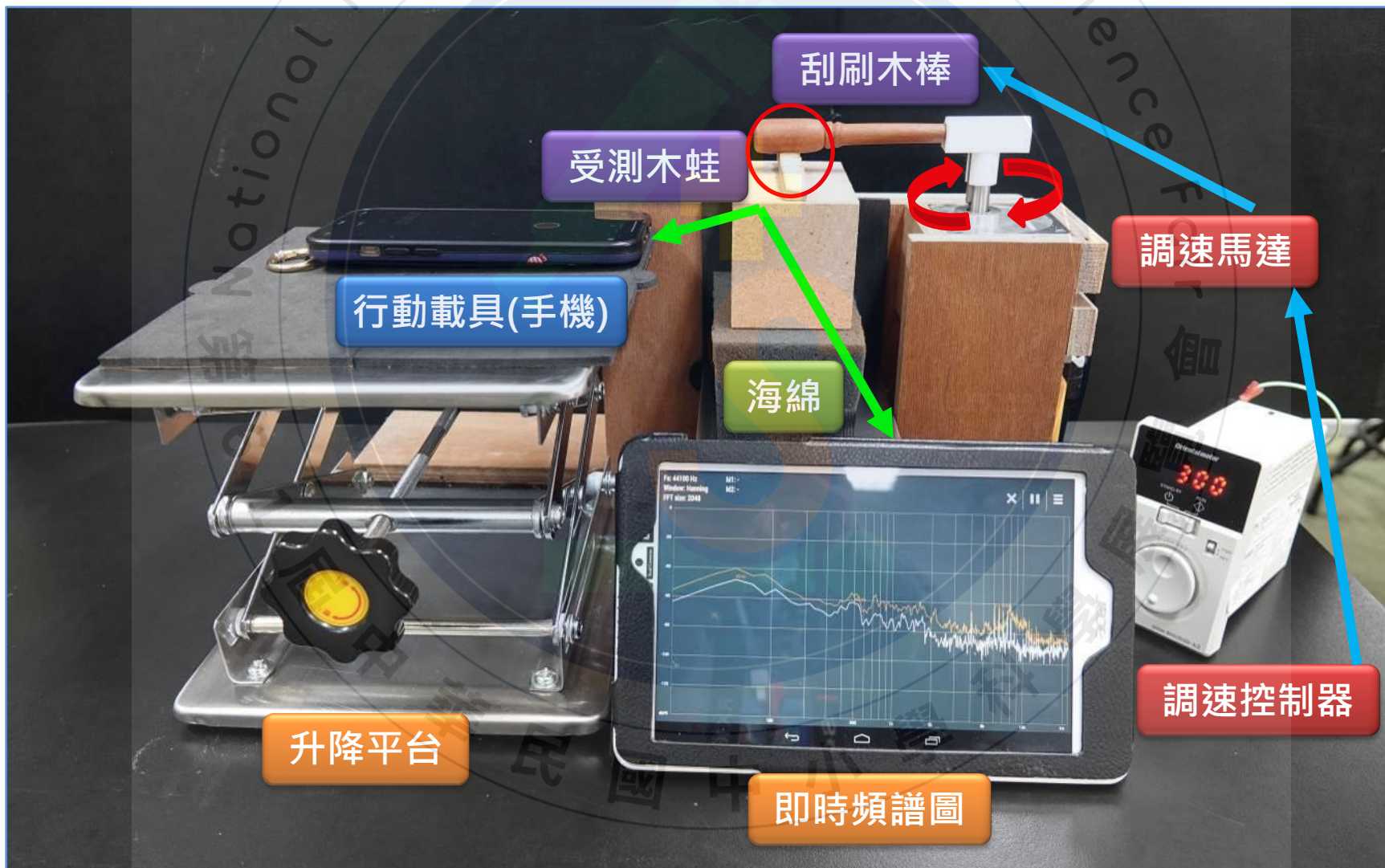
木棒變因  
刮齒變因

自製木蛙  
蛙身變因

結論  
應用

## 研究設備及器材

- ◆ 設計「定速刮刷錄音裝置」
- ◆ 避免人為刮刷力道與速度不同產生誤差



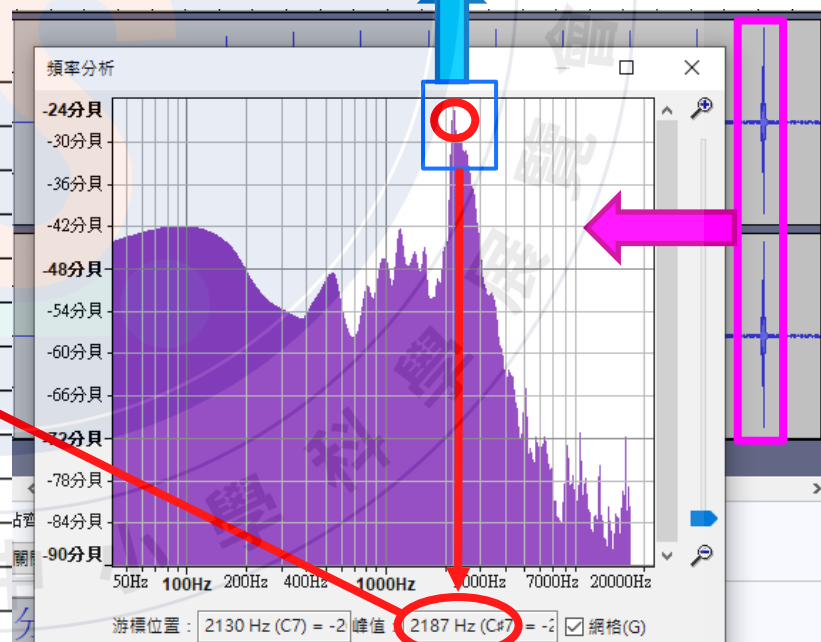
## 數據取得與研究方法

1. 選取波形。
2. 頻率分析。  

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

波長  $\lambda$   
 聲波速度：室溫約344 m/s  
 頻率：赫茲(Hz)
3. **基音**：游標移到**最高峰值**並取得數據。
4. **泛音**：游標移到**第二高峰值**並取得數據。

|     | TB1    | TB2    | TB3    | TB4   | TB5   |
|-----|--------|--------|--------|-------|-------|
| 1   | 2187   | 1730   | 1401   | 976   | 885   |
| 2   | 2184   | 1723   | 1399   | 979   | 885   |
| 3   | 2181   | 1727   | 1406   | 976   | 889   |
| 4   | 2185   | 1730   | 1405   | 974   | 889   |
| 5   | 2182   | 1734   | 1404   | 972   | 883   |
| 6   | 2186   | 1739   | 1402   | 972   | 885   |
| 7   | 2188   | 1744   | 1401   | 975   | 883   |
| 8   | 2180   | 1740   | 1404   | 968   | 887   |
| 9   | 2202   | 1744   | 1406   | 968   | 884   |
| 10  | 2201   | 1744   | 1404   | 966   | 887   |
| 平均數 | 2187.6 | 1735.5 | 1403.2 | 972.6 | 885.7 |
| 標準差 | 7.76   | 7.75   | 2.35   | 4.20  | 2.21  |





## 研究結果一

### 8種市售木製青蛙聲音分析

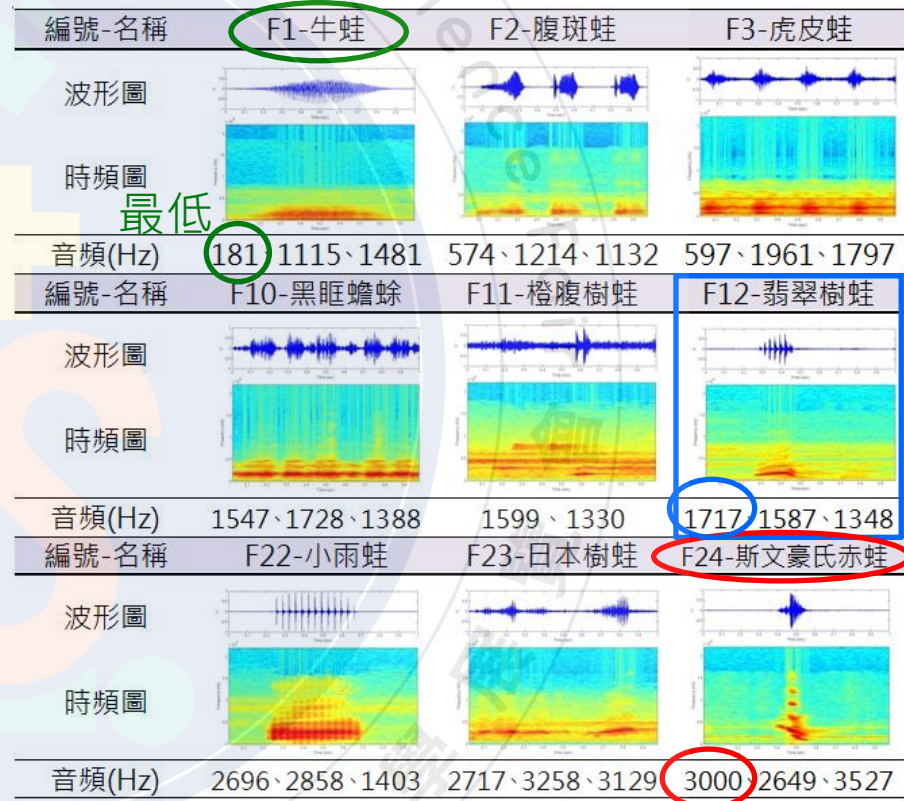


|                      |        |        |        |       |       |        |        |        |
|----------------------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 體積(cm <sup>3</sup> ) | 78.7   | 177.4  | 323.6  | 573.6 | 972.2 | 1492.4 | 2261.1 | 3165.8 |
| 重量(g)                | 20     | 40.9   | 43.2   | 112.6 | 214.7 | 303.8  | 536.2  | 722.7  |
| 平均數(Hz)              | 2187.6 | 1735.5 | 1403.2 | 972.6 | 885.7 | 663.5  | 615.6  | 535.6  |
| 標準差                  | 7.76   | 7.75   | 2.35   | 4.2   | 2.21  | 5.7    | 3.92   | 1.35   |
| 木蛙編號                 | TB1    | TB2    | TB3    | TB4   | TB5   | TB6    | TB7    | TB8    |

## 研究結果二

### 24種真實蛙類聲音分析

時間長度：1秒



### 市售木製青蛙與真實蛙類聲音擬真度

- 以主要頻率和次要主要頻率為基準，TB2-F12有100%的擬真度。
- 音色仍有明顯的差異。



翡翠樹蛙

研究問題

研究方法

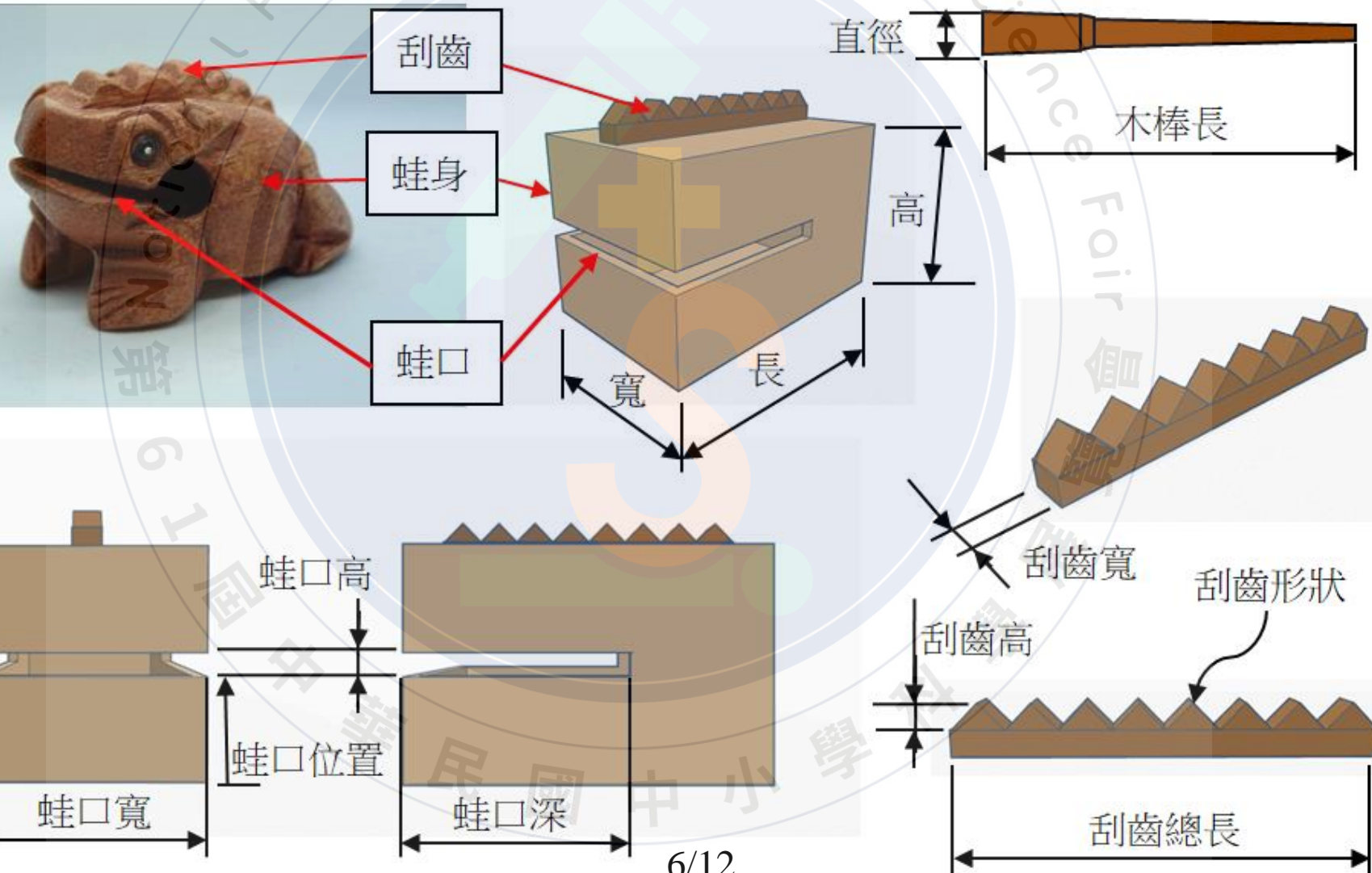
市售木蛙  
真實蛙類

木棒變因  
刮齒變因

自製木蛙  
蛙身變因

結論  
應用

## 自製方形木蛙的各部位名稱



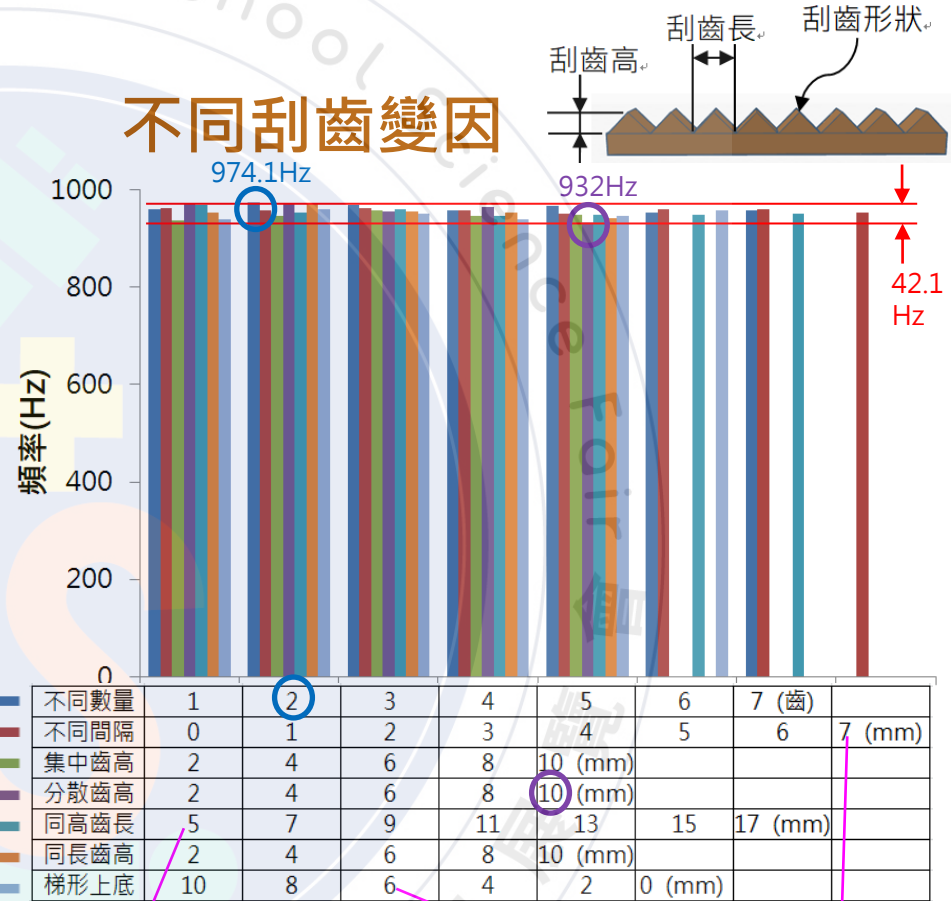


# 研究結果三

## 不同大小木棒



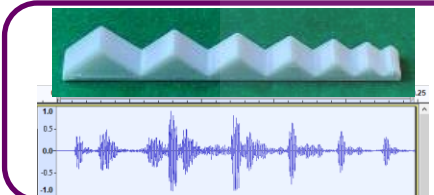
## 不同刮齒變因



- ◆ 個別差異皆在相同音名之內。
- ◆ 不同木棒大小、不同刮刷速度，對頻率沒有顯著的變化差異。

➢ 木棒大小速度與刮齒變因，對聲音振幅與聲音長度產生影響。

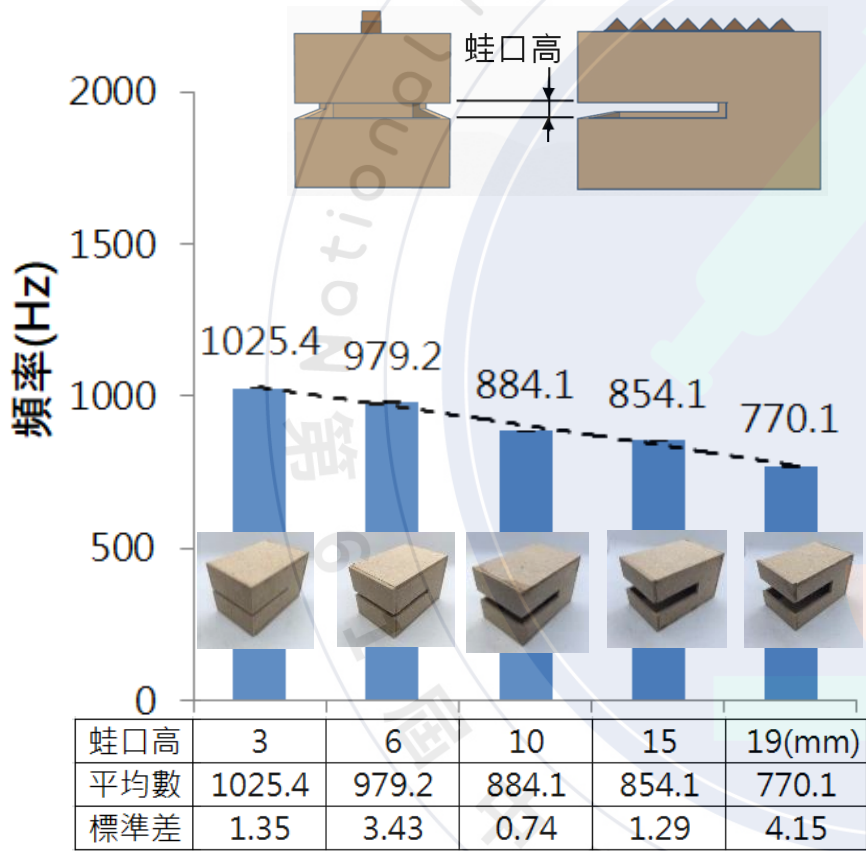
- ◆ 差異在半音(42.1Hz)之內。
- ◆ 不同刮齒的數量、大小、間隔、形狀，對頻率沒有顯著的變化差異。



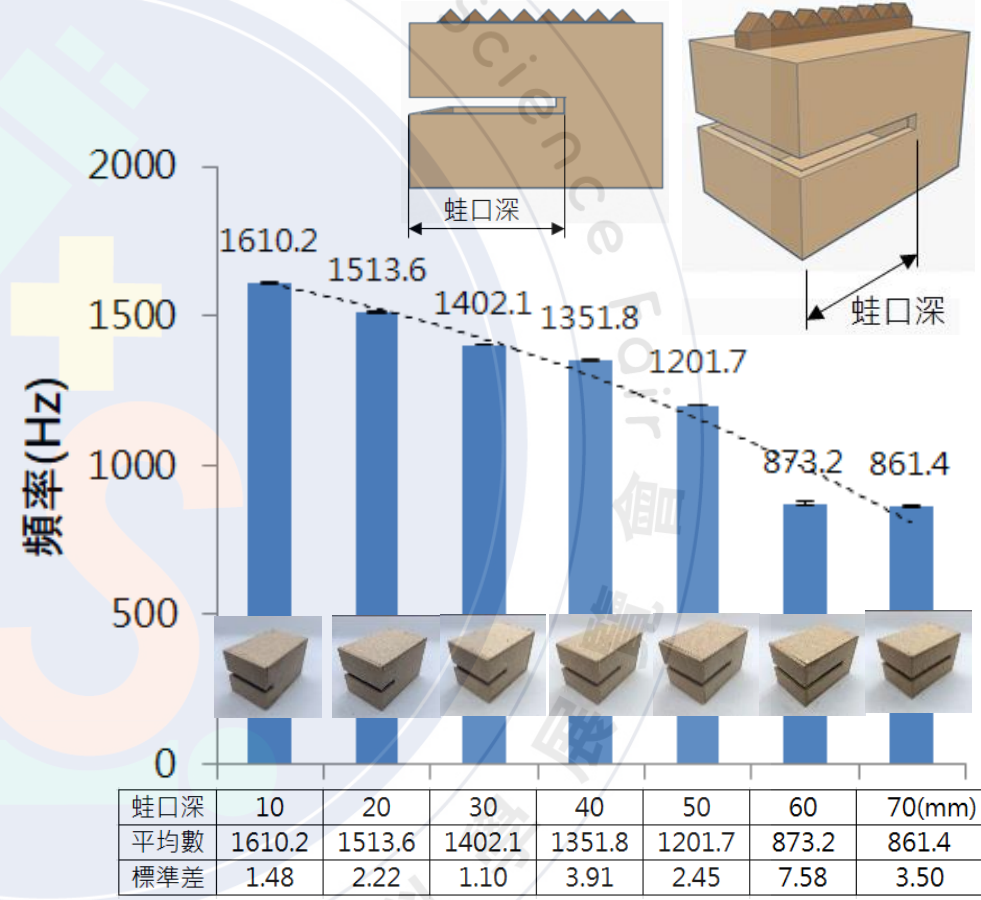




## 自製木蛙蛙口不同高度



## 自製木蛙蛙口不同深度

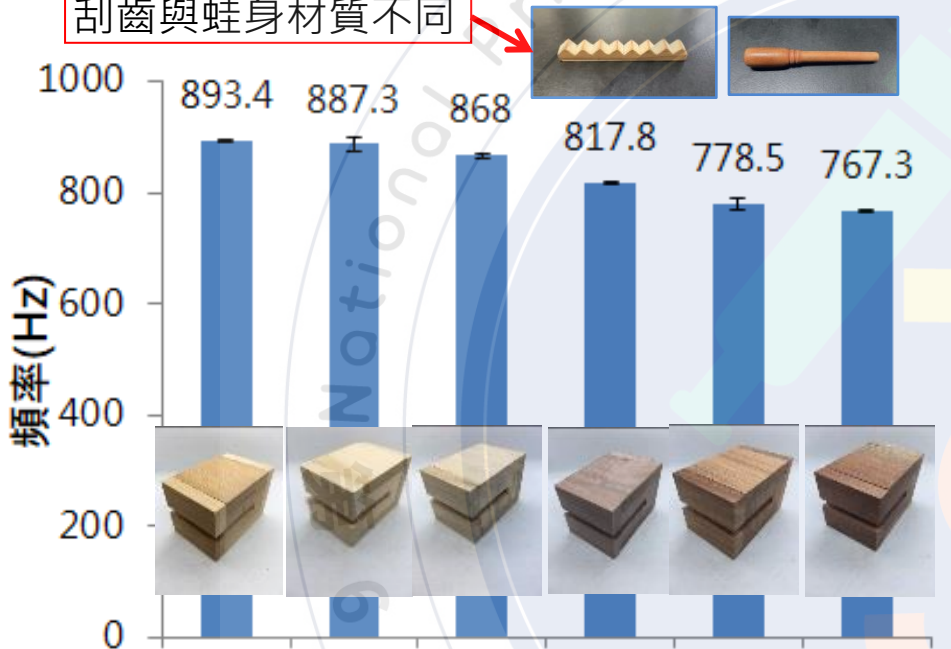


- ◆ 蛙口高度3mm，主要頻率為最高。
- ◆ 蛙口高度19mm，主要頻率為最低。
- ◆ 蛙口高度增加，主要頻率有下降趨勢。
- ◆ 蛙口深度10mm，主要頻率為最高。
- ◆ 蛙口深度70mm，主要頻率為最低。
- ◆ 蛙口深度增加，主要頻率有下降趨勢。



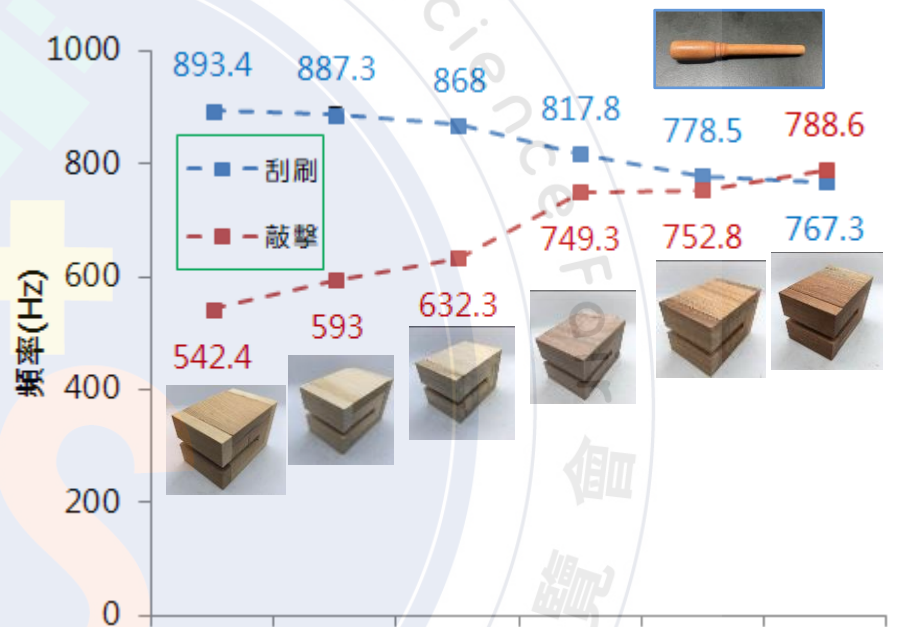
## 自製方形木蛙蛙身不同材質

刮齒與蛙身材質不同



|     |       |       |       |       |       |          |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 重量  | 115.1 | 127.7 | 142.6 | 176.7 | 208.3 | 227.7(g) |
| 材質  | 寮國香檳  | 松木    | 樟木    | 橄欖木   | 非洲樺木  | 所羅門梨花    |
| 平均數 | 893.4 | 887.3 | 868   | 817.8 | 778.5 | 767.3    |
| 標準差 | 3.31  | 12.63 | 4.21  | 3.91  | 10.17 | 2.06     |

## 刮刷自製木蛙與直接敲擊蛙身



|      |       |       |       |       |       |          |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 重量   | 115.1 | 127.7 | 142.6 | 176.7 | 208.3 | 227.7(g) |
| 材質   | 寮國香檳  | 松木    | 樟木    | 橄欖木   | 非洲樺木  | 所羅門梨花    |
| 刮刷平均 | 893.4 | 887.3 | 868   | 817.8 | 778.5 | 767.3    |
| 標準差  | 3.31  | 12.63 | 4.21  | 3.91  | 10.17 | 2.06     |
| 敲擊平均 | 542.4 | 593   | 632.3 | 749.3 | 752.8 | 788.6    |
| 標準差  | 0.84  | 0.94  | 2.63  | 1.49  | 0.79  | 1.58     |

- ◆ 刮刷木蛙：木棒刮刷相同材質刮齒，刮齒黏貼在不同蛙身材質。
- ◆ 相同蛙身尺寸，不同材質，重量愈大，振動體愈重，刮刷相同刮齒得到的頻率愈低。
- ◆ 直接敲擊：木棒直接敲擊不同蛙身材質。
- ◆ 木棒直接敲擊蛙身，蛙身愈重，密度愈高，敲擊得到的頻率變高。

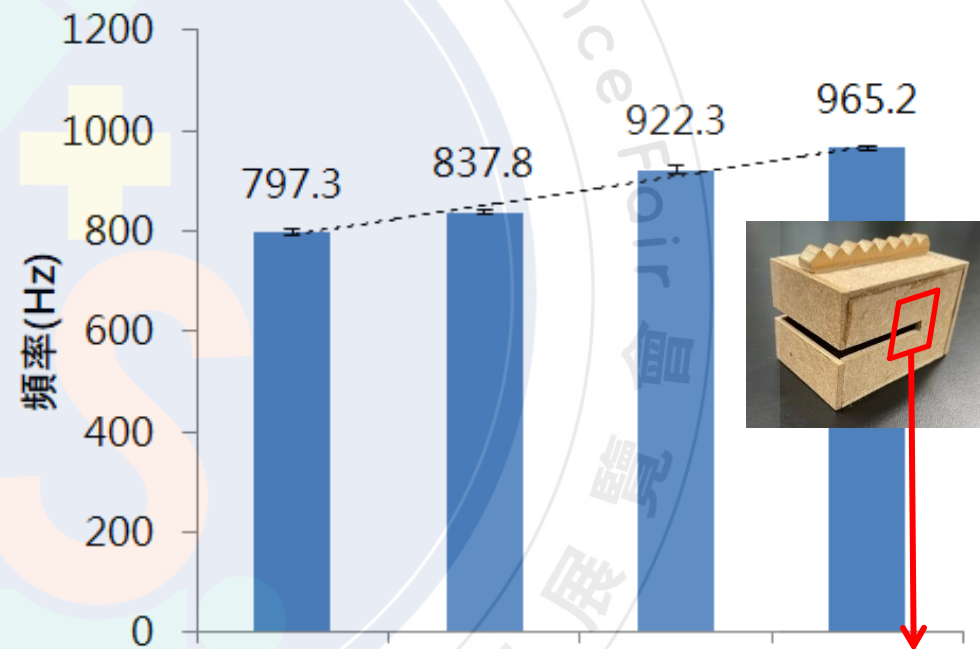
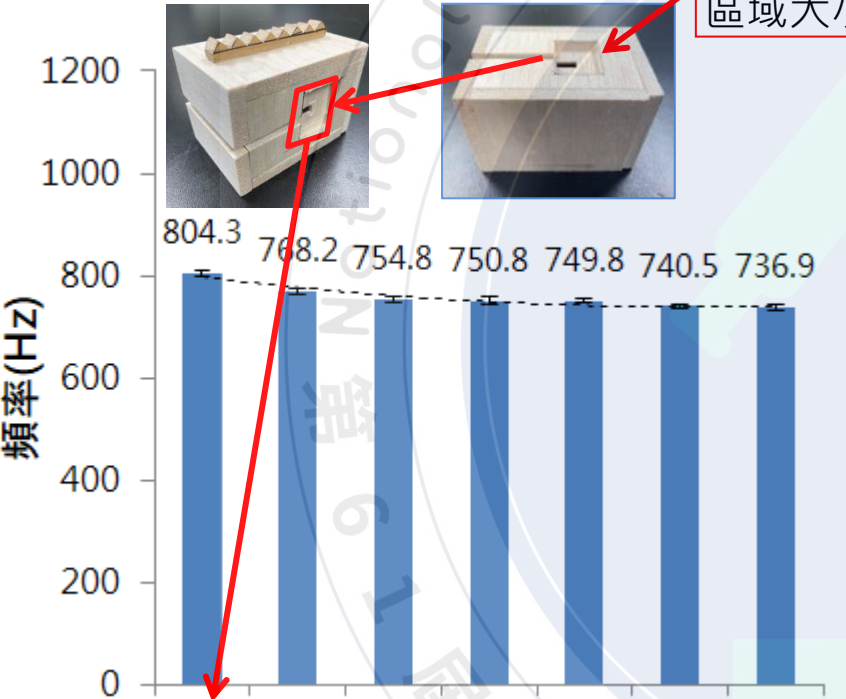


# 方型木蛙開口兩側末端厚薄度 - 飛機木(軟)與密集板(硬)的差異

## 飛機木(軟)

## 密集板(硬)

此處經銑切後，厚度為1mm，區域大小為，12mm×12mm。



| 厚度  | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7 (mm) |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 平均數 | 804.3 | 768.2 | 754.8 | 750.8 | 749.8 | 740.5 | 736.9  |
| 標準差 | 5.03  | 5.57  | 5.47  | 7.35  | 4.16  | 3.37  | 5.34   |

| 厚度  | 0.5   | 1.5   | 2.5   | 3 (mm) |
|-----|-------|-------|-------|--------|
| 平均數 | 797.3 | 837.8 | 922.3 | 965.2  |
| 標準差 | 7.85  | 5.98  | 6.83  | 4.98   |

- ◆ 軟的材質，兩側開口厚度增加，易吸收開口震動。
- ◆ 飛機木：開口厚度愈厚，音頻會愈低。
- ◆ 硬的材質，兩側開口厚度增加，開口震動幅度變小，頻率變高。
- ◆ 密集板：開口厚度愈厚，音頻會愈高。

研究問題

研究方法

市售木蛙  
真實蛙類

木棒變因  
刮齒變因

自製木蛙  
蛙身變因

結論  
應用

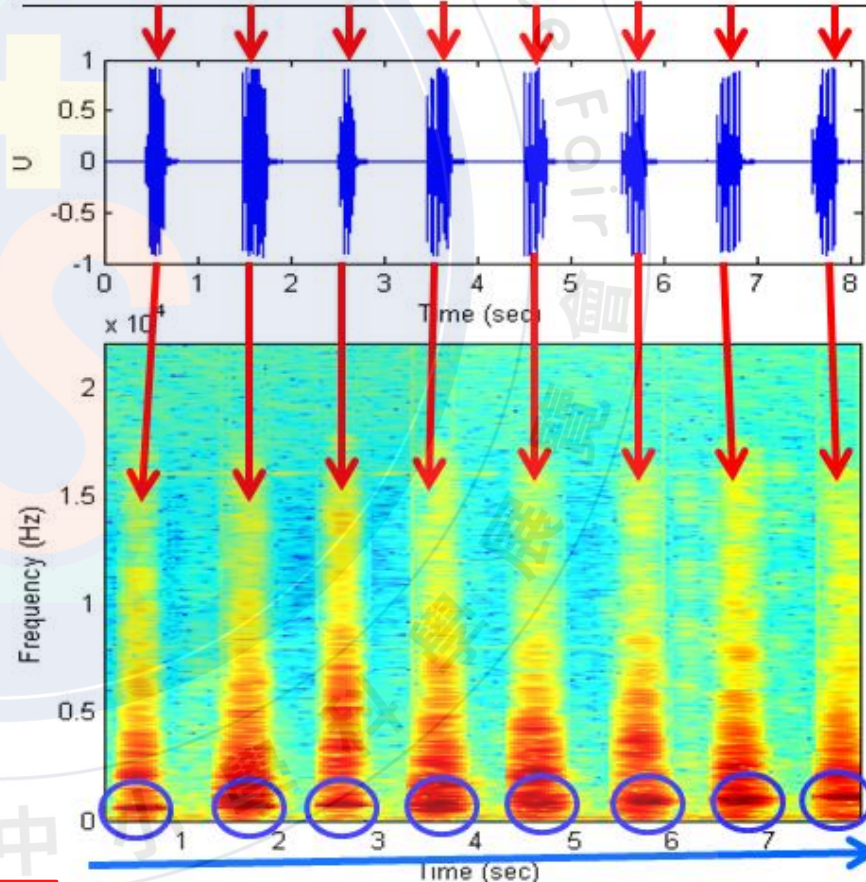
## 結論

- ◆ 市售木蛙與真實蛙類**主要與次要音頻**可相似，音色明顯有差異。
- ◆ 木棒大小、速度與不同刮齒的變因對音頻沒有顯著的影響。
- ◆ 蛙身材質：重量重、刮刷音頻變低；密度高、敲擊音頻變高。
- ◆ 蛙身可以使**音頻變高**的條件：尺寸小、厚度薄、蛙口高度小、蛙口深度淺、蛙口兩側末端較厚(硬材質)。

## 應用

八音階、演奏不同的樂曲

| 木蛙編號 | TB8   | SB8   | TB6   | SB6   | ST6   | ST2   | OH2   | SB1    |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 主要頻率 | 535.6 | 587.4 | 663.5 | 699.7 | 773.9 | 896.0 | 979.2 | 1053.6 |
| 音名   | C5    | D5    | E5    | F5    | G5    | A5    | B5    | C6     |



主要頻率呈現逐漸上升

木蛙編號 TB8 SB8 TB6 SB6 ST6 ST2 OH2 SB1



市售長20.1cm

自製長度13.6cm

市售長15.7cm

自製長度11.6cm

自製厚度8mm

自製厚度4mm

自製蛙口高6mm

自製長度6.6cm

研究問題

研究方法

市售木蛙  
真實蛙類

木棒變因  
刮齒變因

自製木蛙  
蛙身變因

結論  
應用

## 未來展望

- ◆ 以本研究結果所找出影響木蛙音頻的變因，進而操縱這些變因製作出**特定音頻的木蛙**。
- ◆ 製作多個連續不同音階的木蛙，形成可以演奏不同樂曲的**木蛙樂器**。

## 參考文獻資料

時頻圖的分析

- ◆ 振動噪音產學技術聯盟。取自：<http://aitanvh.blogspot.com/>
- ◆ 蘇宥澄、傅予葳、傅沛容、李昕潔、魏雯娟(2020)•吹音裊裊~「膜」鳥笛。中華民國第六十屆中小學科學展覽會作品，國小組生活與應用科學科(二)。

擬真度的分析

真實蛙鳴聲音

- ◆ 風潮muziU音樂生活網-青蛙四季唱遊-台灣青蛙報報。取自：  
<http://www.muziu.com.tw/wind/ipad/album.jsp?id=3021>