



嘉義縣國民中小學

科學展覽會作品說明書



屆 別：64

科 別：物理

組 別：國小組

作品名稱：水漲「傳」高

關 鍵 詞：音高 絕對音感 中央C

編 號：A124



水漲「傳」高

摘要

在山區能使用的樂器選擇較少，一方面資源不夠，另一方面師資及樂器保養也是一個問題。因為樂器需要定期保養，濕度與氣溫也會影響樂器的使用年限，因此學校老師為了找尋適合偏鄉小孩使用的樂器，上網搜尋一些資料，除了人聲是隨手可得的樂器之外，還能利用周遭任何可發出聲響的物品，因此找到了一種比較不受地理環境影響的樂器：玻璃杯。

本次的實作研究是透過控制水量的變化，讓學生觀察水在玻璃杯裡的音高變化。

本次科展主題發想，即結合科學實驗與科技人文課程，與生活經驗做連結，透過學生親手實作的過程，去觀察、記錄、探討、分析、體驗，藉由實驗過程和最後的結果來驗證水杯水量和音階高低的不同變化。

壹、研究動機

本校的課後社團開設科學實驗課程，老師積極想出能否將音樂及科學結合，變成能讓學生探討的「具有音樂性」的「科學實驗」，再者，結合校訂的科技人文課程，期能透過與資訊科技之結合，讓學生能藉由科技的使用，了解音樂樂理的知識，探討其中的科學變化，增加人文素養的提升。

因此透過播放網路上利用玻璃杯所創作的音樂，使學生產生興趣；科學實驗課時，有利用手沾水撫摸杯子杯緣，使玻璃杯發生共振產生音高，也有利用細長物品敲打玻璃杯直接製造音高；使用線上免費判斷音高的網站，驗證出自然科學的奧妙。這個實驗讓學生覺得既有趣又好奇，為什麼杯子能產生不同的音樂？不同的水量在容器中為何會有不同的音高？

學生對於樂理的認知不多，選擇這樣的主題做深入研究，也是現在資訊世代的人所需要培養的一種精神，一項行動能力。

貳、研究目的

這次的科學研究主題，即在教師和學生的討論裡萌芽，因此本研究使用鋼筷敲擊玻璃杯，透過網路資訊的線上程式為輔具，及請擁有絕對音感的老師協助，讓學生透過控制水量來發現水量對音高的變化。讓學生動手操作、記錄、分析和討論，最後做出研究結論。

因為以之前的實驗結果看來，手沾濕撫摸杯子杯緣的效果不佳，學生不容易控制力道，導致有時能發出聲音，有時則否；使用的器具若使用鋼筷，以物品敲打杯子為最直接的方

法，又鋼筷是生活中容易取得且相較於其他能敲擊的棒狀物中最能發出響亮聲響之物品。

本次研究的主要目的有以下三點:

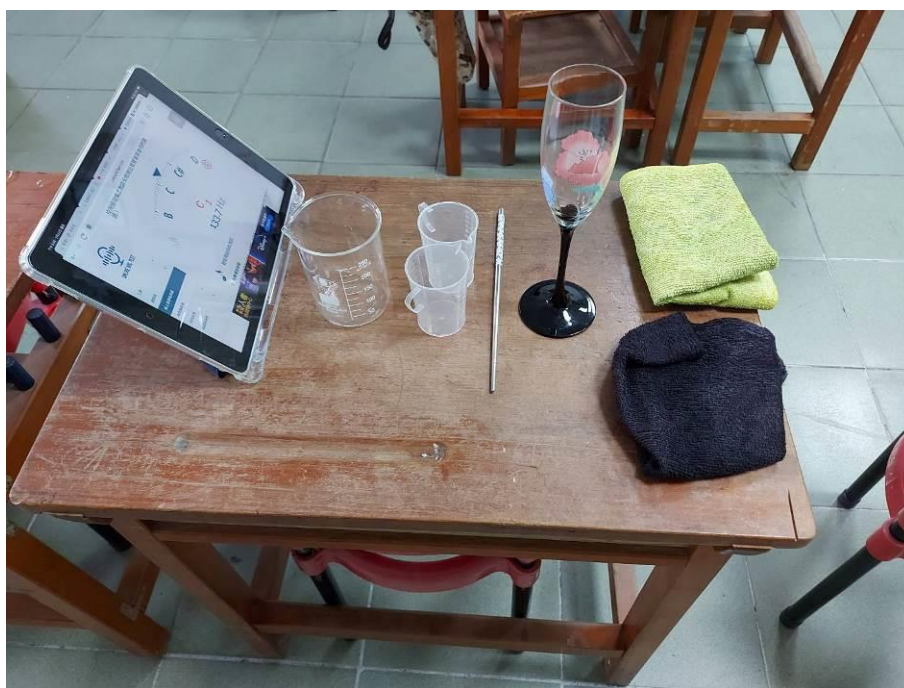
- 一、透過實驗驗證水量越多，音高越低。
- 二、透過控制水量的變化，讓學生觀察不同水量在玻璃杯裡的音高變化。
- 三、試著找出接近中央 C 的音高。

經由所經驗的過程，是一個真實生活裡所能觀察、研究、討論的知識，藉由對事物的好奇、實作跟探討，正是要給研究者培養的帶著走的能力。

叁、研究設備及器材

- 一、研究設備平板電腦(一部)。
- 二、實驗器材有燒杯(一個)、量杯(兩個)、鋼筷(一支)、高腳玻璃杯(一個)、抹布(兩條)。

高腳玻璃杯、燒杯、量杯、鋼筷、抹布、平板



肆、研究過程或方法

一、名詞定義

本研究所使用的名詞將在以下補充說明：

(一) 音高：

在音樂領域裡指的是人類心理對音符基頻之感受。

(二) 線上音高檢測數值

在科學音調記號法（Scientific pitch notation, SPN）中，中央 Do（Middle C）表示為「C4」。在鋼琴上，每一組的白鍵都按照 C、D、E、F、G、A、B 依次排列，因此每一組都有一個 C，五線譜上也有多個 C。

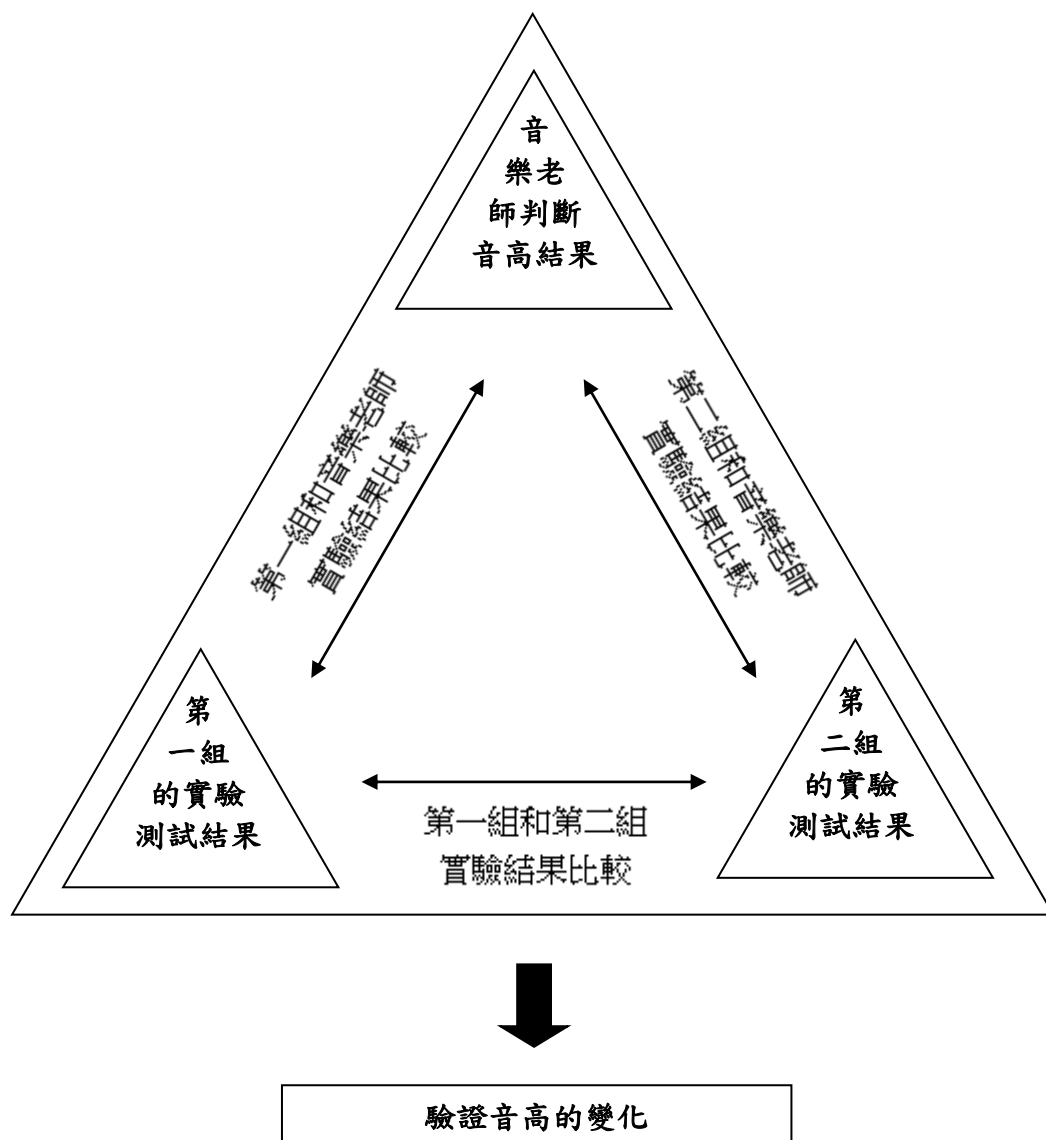
縱然中央 C 一般指的都是「C4」，但在不同樂器中，有可能出現不同的稱呼。例如在鍵盤樂器中，「C4」就是中央 C。但在西洋笛的演奏家中，中央 C 指的可能是「C5」。這些差異主要與樂器本身的音調高低有密切的關係。

在本研究中所使用的線上音高檢測網之中央 Do 就是以「C5」表示。

(三) 絕對音感

又稱為絕對音高、絕對音準，指的是一種在沒有接受任何正統的音樂教育之下，人類天生對音準的正確預判。

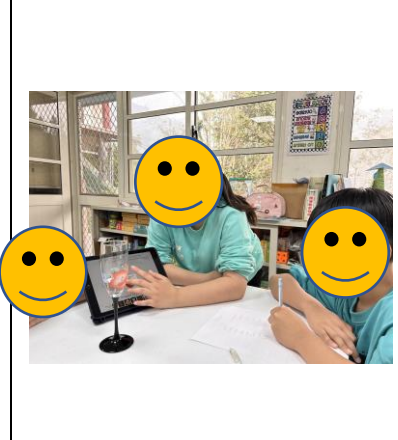
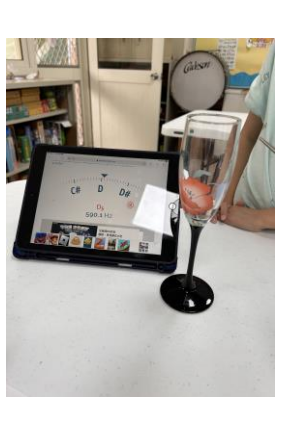


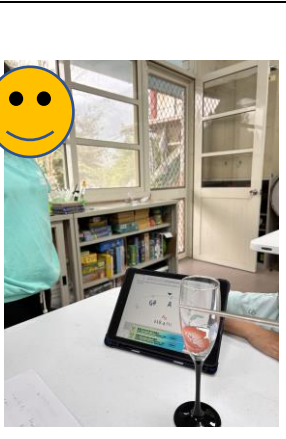
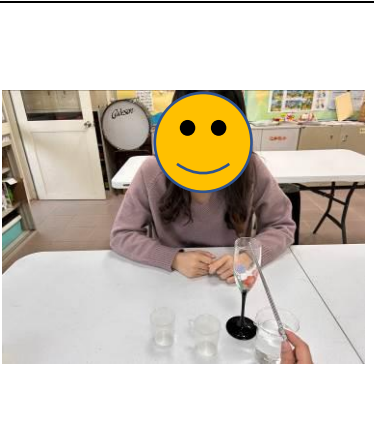
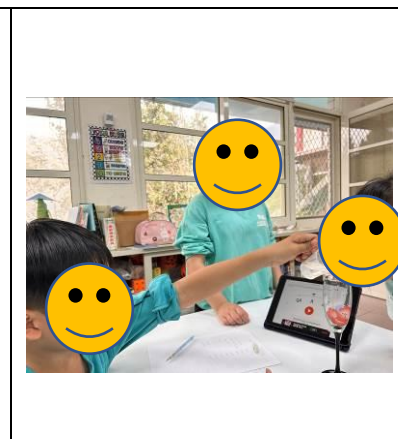
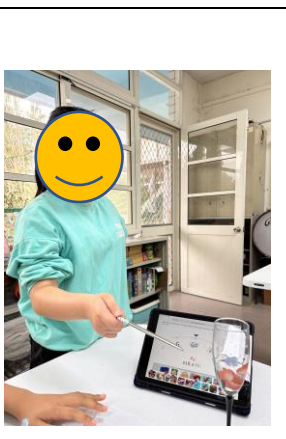

二、架構圖



三、研究過程

本此實驗設計是將學生分為兩組，每組先用燒杯預裝 250ml 的水作為實驗預備使用的溶液，每次用量杯裝 10ml 的水，倒進高腳玻璃杯後，由一人手持鋼筷輕敲高腳玻璃杯。從高腳杯裝入 10ml 的水開始實驗，實驗後高腳杯每次遞增 10ml 的水量，實驗至 170ml 的容量，藉由線上免費判斷音高的網站做判讀，並將判讀結果記錄於記錄本上。

(一)第一組

| | | | | | |
|------------------|---|------------------|---|------------------|---|
| 量杯裝 10ml 水量倒進高腳杯 |  | 線上測試敲擊 10ml 水量音高 |  | 音樂老師判斷 10ml 水量音高 |  |
| 量杯裝 20ml 水量倒進高腳杯 |  | 線上測試敲擊 20ml 水量音高 |  | 音樂老師判斷 20ml 水量音高 |  |
| 量杯裝 30ml 水量倒進高腳杯 |  | 線上測試敲擊 30ml 水量音高 |  | 音樂老師判斷 30ml 水量音高 |  |

| | | | |
|-------------------------|---|---|---|
| <p>量杯裝 40ml 水量倒進高腳杯</p> |  | <p>線上測試敲擊 40ml 水量音高</p>  | <p>音樂老師判斷 40ml 水量音高</p>  |
| <p>量杯裝 50ml 水量倒進高腳杯</p> |  | <p>線上測試敲擊 50ml 水量音高</p>  | <p>音樂老師判斷 50ml 水量音高</p>  |
| <p>量杯裝 60ml 水量倒進高腳杯</p> |  | <p>線上測試敲擊 60ml 水量音高</p>  | <p>音樂老師判斷 60ml 水量音高</p>  |
| <p>量杯裝 70ml 水量倒進高腳杯</p> |  | <p>線上測試敲擊 70ml 水量音高</p>  | <p>音樂老師判斷 70ml 水量音高</p>  |

量杯裝 80ml 水量倒進高腳杯



線上測試敲擊 80ml 水量的音高



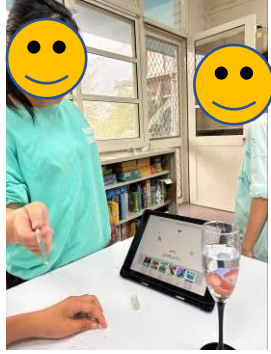
音樂老師判斷 80ml 水量的音高



量杯裝 90ml 水量倒進高腳杯



線上測試敲擊 90ml 水量的音高



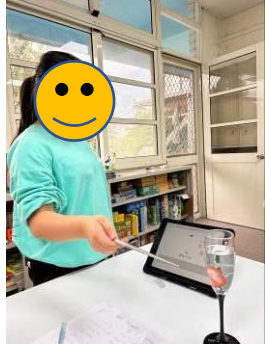
音樂老師判斷 90ml 水量的音高



量杯裝 100ml 水量倒進高腳杯



線上測試敲擊 100ml 水量音高



音樂老師判斷 100ml 水量音高



量杯裝 110ml 水量倒進高腳杯



線上測試敲擊 110ml 水量音高



音樂老師判斷 110ml 水量音高



量杯裝 120ml 水量倒進高腳杯



線上測試敲擊 120ml 水量音高



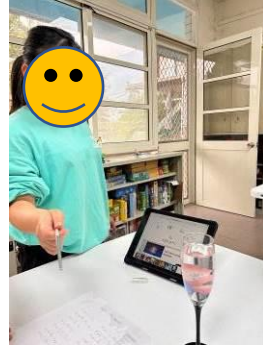
音樂老師判斷 120ml 水量音高



量杯裝 130ml 水量倒進高腳杯



線上測試敲擊 130ml 水量音高



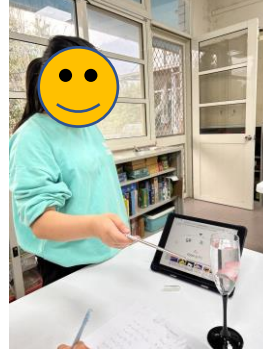
音樂老師判斷 130ml 水量音高



量杯裝 140ml 水量倒進高腳杯



線上測試敲擊 140ml 水量音高



音樂老師判斷 140ml 水量音高



量杯裝 150ml 水量倒進高腳杯






線上測試敲擊 150ml 水量音高



音樂老師判斷 150ml 水量音高



| | | | |
|--------------------------|---|--|--|
| <p>量杯裝 160ml 水量倒進高腳杯</p> |  | <p>線上測試敲擊 160ml 水量音高</p>  | <p>音樂老師判斷 160ml 水量音高</p>  |
|--------------------------|---|--|--|

| | | | |
|--------------------------|---|---|--|
| <p>量杯裝 170ml 水量倒進高腳杯</p> |  | <p>線上測試敲擊 170ml 水量音高</p>  | <p>音樂老師判斷 170ml 水量音高</p>  |
|--------------------------|---|---|--|

(二)第二組

| | | | |
|-------------------------|---|---|---|
| <p>量杯裝 10ml 水量倒進高腳杯</p> |  | <p>線上測試敲擊 10ml 水量音高</p>  | <p>音樂老師判斷 10ml 水量音高</p>  |
|-------------------------|---|---|---|

量杯裝 20ml 水量倒進高腳杯



線上測試敲擊 20ml 水量音高



音樂老師判斷 20ml 水量音高



量杯裝 30ml 水量倒進高腳杯



線上測試敲擊 30ml 水量音高



音樂老師判斷 30ml 水量音高



量杯裝 40ml 水量倒進高腳杯



線上測試敲擊 40ml 水量音高



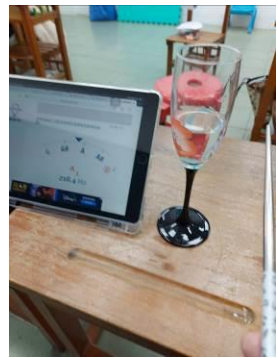
音樂老師判斷 40ml 水量音高



量杯裝 50ml 水量倒進高腳杯

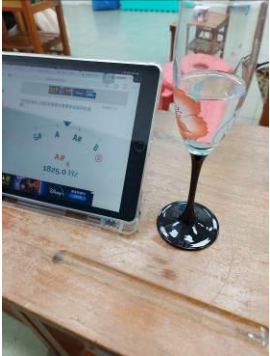






















線上測試敲擊 50ml 水量音高







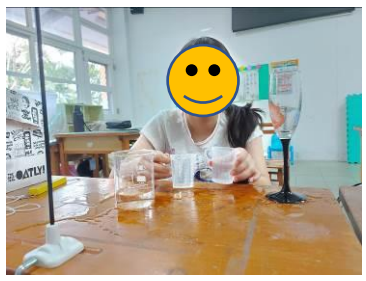


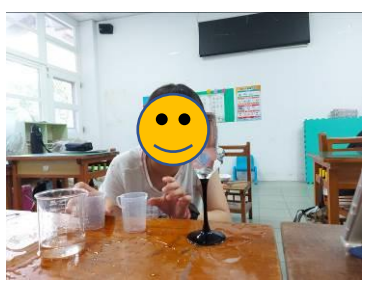




音樂老師判斷 50ml 水量音高



| | | | | | |
|-------------------------|---|-------------------------|---|-------------------------|---|
| <p>量杯裝 60ml 水量倒進高腳杯</p> |  | <p>線上測試敲擊 60ml 水量音高</p> |  | <p>音樂老師判斷 60ml 水量音高</p> |  |
| <p>量杯裝 70ml 水量倒進高腳杯</p> |  | <p>線上測試敲擊 70ml 水量音高</p> |  | <p>音樂老師判斷 70ml 水量音高</p> |  |
| <p>量杯裝 80ml 水量倒進高腳杯</p> |  | <p>線上測試敲擊 80ml 水量音高</p> |  | <p>音樂老師判斷 80ml 水量音高</p> |  |
| <p>量杯裝 90ml 水量倒進高腳杯</p> |  | <p>線上測試敲擊 90ml 水量音高</p> |  | <p>音樂老師判斷 90ml 水量音高</p> |  |

| | | | | | |
|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|
| <p>量杯裝 100ml 水量倒進高腳杯</p> |  | <p>線上測試敲擊 100ml 水量音高</p> |  | <p>音樂老師判斷 100ml 水量音高</p> |  |
| <p>量杯裝 110ml 水量倒進高腳杯</p> |  | <p>線上測試敲擊 110ml 水量音高</p> |  | <p>音樂老師判斷 110ml 水量音高</p> |  |
| <p>量杯裝 120ml 水量倒進高腳杯</p> |  | <p>線上測試敲擊 120ml 水量音高</p> |  | <p>音樂老師判斷 120ml 水量音高</p> |  |
| <p>量杯裝 130ml 水量倒進高腳杯</p> |  | <p>線上測試敲擊 130ml 水量音高</p> |  | <p>音樂老師判斷 130ml 水量音高</p> |  |

| | | | | | |
|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|
| <p>量杯裝 140ml 水量倒進高腳杯</p> |  | <p>線上測試敲擊 140ml 水量音高</p> |  | <p>音樂老師判斷 140ml 水量音高</p> |  |
| <p>量杯裝 150ml 水量倒進高腳杯</p> |  | <p>線上測試敲擊 150ml 水量音高</p> |  | <p>音樂老師判斷 150ml 水量音高</p> |  |
| <p>量杯裝 160ml 水量倒進高腳杯</p> |  | <p>線上測試敲擊 160ml 水量音高</p> |  | <p>音樂老師判斷 160ml 水量音高</p> |  |
| <p>量杯裝 170ml 水量倒進高腳杯</p> |  | <p>線上測試敲擊 170ml 水量音高</p> |  | <p>音樂老師判斷 170ml 水量音高</p> |  |

四、研究方法

將兩組的實驗結果和學校的音樂老師絕對音準的判斷，三方驗證水位多寡所呈現出的音高關係。

「三角驗證法」(triangulation)由學者 Norman Denzin 於 1978 年首次引用於社會科學的研究當中，期以一種以上的理論、方法、資料來源或分析者解釋同一現象，以確保研究發現的一致性(胡幼慧 1996)。係指研究過程中採用多種且不同形式的方法、資料、觀察者與理論，以查核與確定資料來源、資料蒐集策略、時間與理論架構等的效度。

研究者可將初步的分析結果或報告大綱拿來與其他研究者討論，以便獲得校正與啟發，亦可拿這些資料與被研究者做初步的溝通，以便校正研究者的分析與解釋。利用不同方式及不同方法(人、事、時、地、物)來提升研究的準確性並修正實驗設計架構，以獲得客觀性的數據及結果。

三角驗證的使用，在於利用各種不同的方法以蒐集不同來源和型態的資料，以減低研究者的偏見，有助於減少實驗過程的勘誤率。

三角驗證或稱三角交叉檢視法，其定義如下：

- (一) 胡幼慧(1996)指出，當一項研究中融進一種以上的方法時，三角驗證便是採多元方法(multimethod)來收集資料。它亦有一個特別的稱法－三角交叉檢視法(Triangulation)。
- (二) 三角校正主要有「人的校正」、「方法的校正」、「資料的校正」和「理論的校正」等幾個方向。(王文科，教育百科辭典)
- (三) 三角檢證法是指使用多種方法來研究同一現象，是質化研究中不可缺少的工具(Robson, 1993)，Denzine 將其分為資料三角檢證、研究者三角檢證、理論三角檢證、及方法論三角檢證等四種。

Patton 提出了三角驗證法的四種類型，其分別如下：

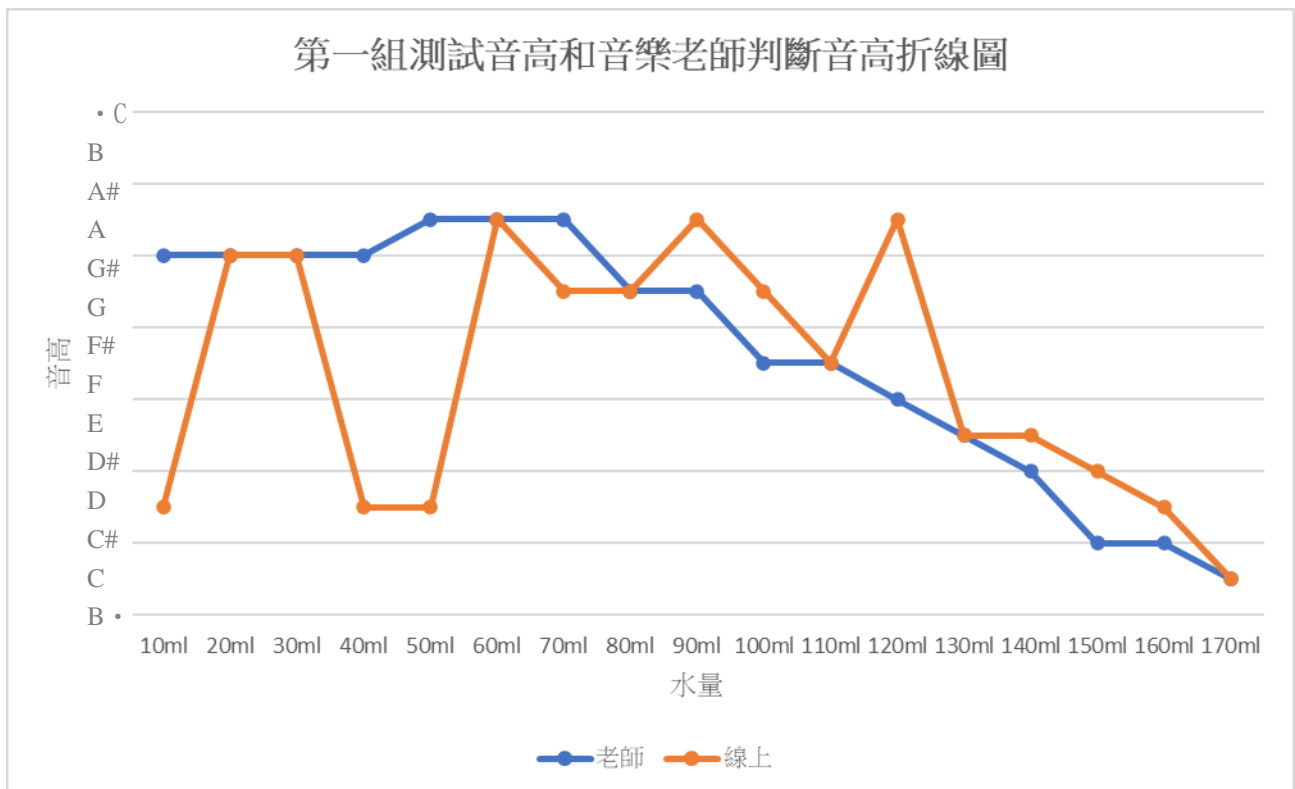
- (一) 資料三角驗證－由各種資料來源來蒐集證據。
- (二) 調查者三角驗證－研究過程由二位以上的調查者同時進行。
- (三) 理論三角驗證－對同一份資料進行不同觀點或理論的探討。
- (四) 方法論三角驗證－使用不同的研究方法來研究相同的現象。

伍、研究結果

一、第一組和音樂老師測試 10ml~170ml 高腳玻璃杯水量與線上音高檢測數值

| 高腳玻璃杯水量 | 線上音高檢測數值 | 音樂老師判斷音高 |
|---------|-----------------|----------|
| 10ml | D ₅ | A |
| 20ml | A ₃ | A |
| 30ml | A ₃ | A |
| 40ml | D ₅ | A |
| 50ml | D ₅ | A# |
| 60ml | A# ₈ | A# |
| 70ml | G# ₅ | A# |
| 80ml | G# ₅ | G# |
| 90ml | A# ₇ | G# |
| 100ml | G# ₅ | F# |
| 110ml | F# ₅ | F# |
| 120ml | A# ₄ | F |
| 130ml | E ₆ | E |
| 140ml | E ₇ | D# |
| 150ml | D# ₄ | C# |
| 160ml | D ₅ | C# |
| 170ml | C ₅ | C |

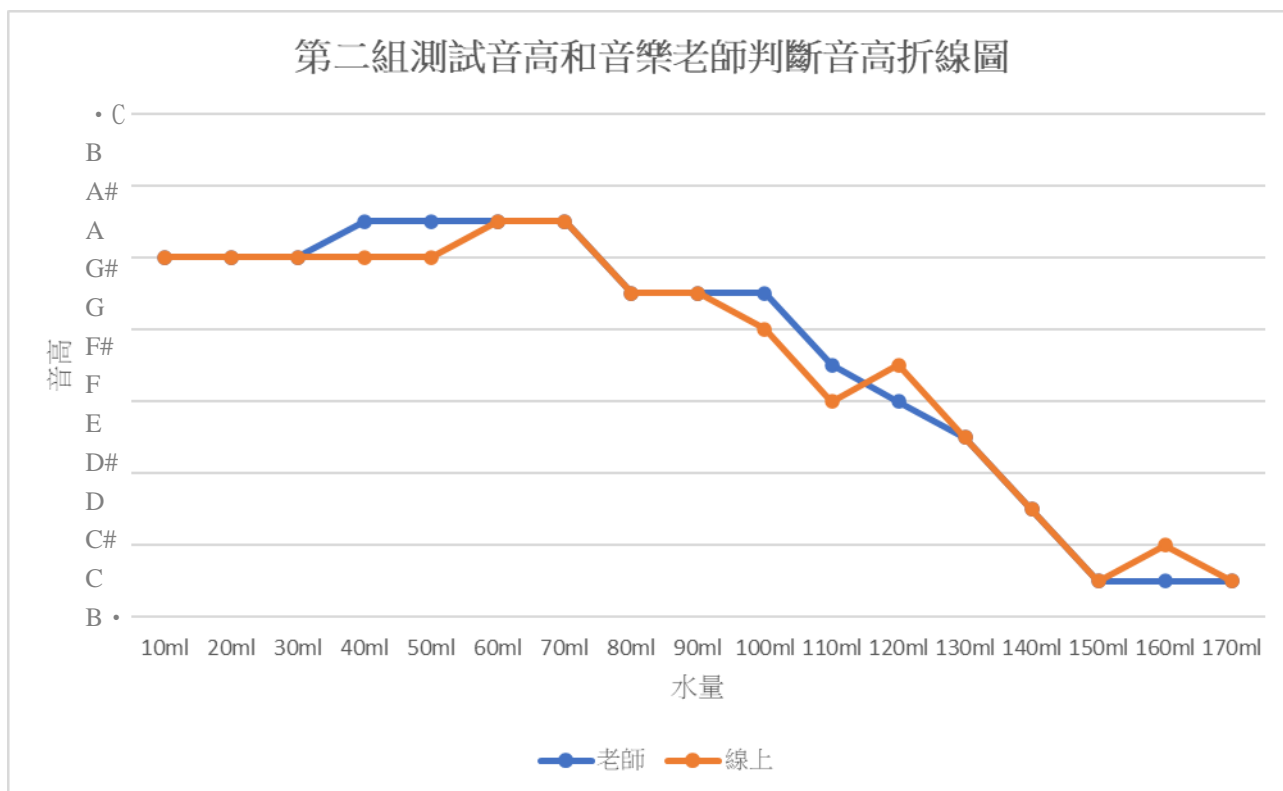
二、第一組和音樂老師測試 10ml~170ml 高腳玻璃杯水量與線上音高折線圖



三、第二組和音樂老師測試 10ml~170ml 高腳玻璃杯水量與線上音高檢測數值

| 高腳玻璃杯水量 | 線上音高檢測數值 | 音樂老師判斷音高 |
|---------|-----------------|----------|
| 10ml | A ₃ | A |
| 20ml | A ₆ | A |
| 30ml | A ₃ | A |
| 40ml | A ₃ | A# |
| 50ml | A ₃ | A# |
| 60ml | A# ₆ | A# |
| 70ml | A# ₆ | A# |
| 80ml | G# ₅ | G# |
| 90ml | G# ₄ | G# |
| 100ml | G ₄ | G# |
| 110ml | F ₄ | F# |
| 120ml | F# ₅ | F |
| 130ml | E ₆ | E |
| 140ml | D ₃ | D |
| 150ml | C ₆ | C |
| 160ml | C# ₅ | C |
| 170ml | C ₅ | C |

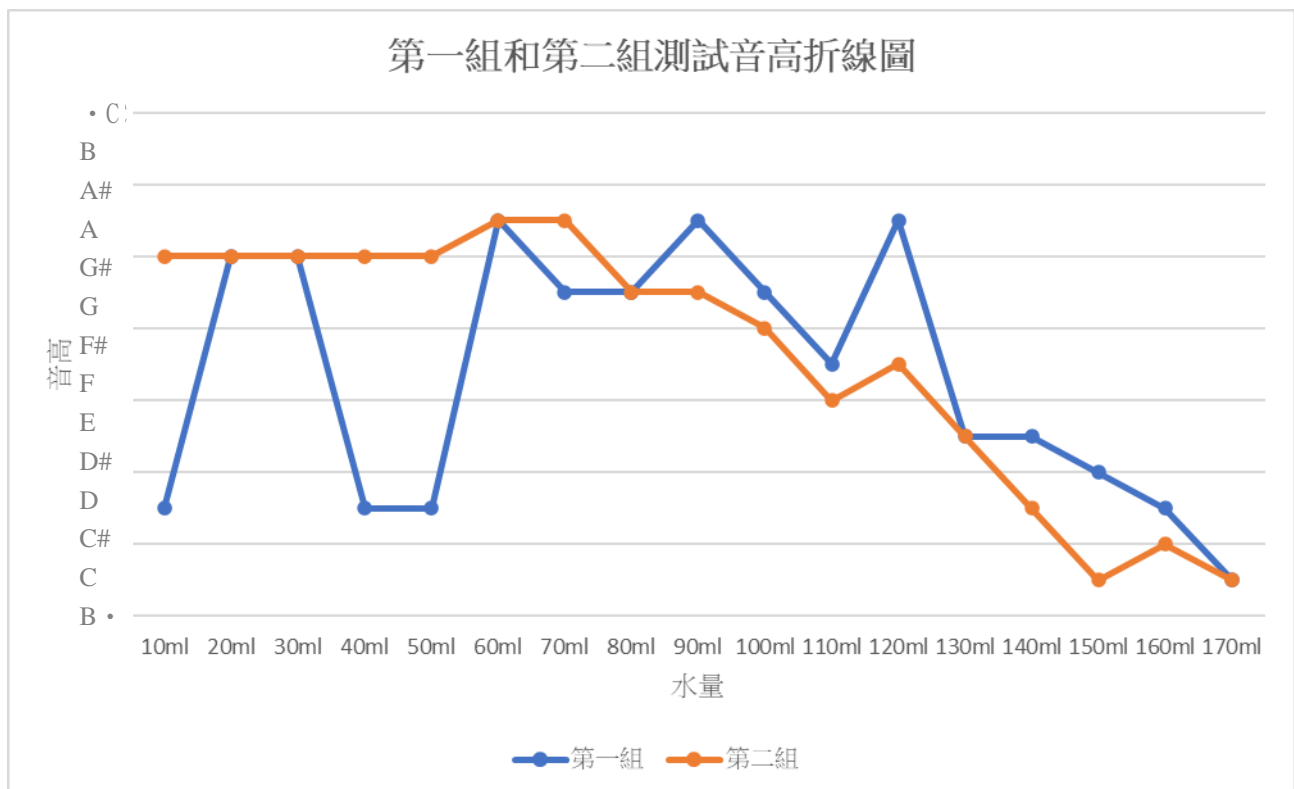
四、



五、第一組和第二組測試 10ml~170ml 高腳玻璃杯水量與線上音高檢測數值

| 高腳玻璃杯水量 | 第一組線上音高檢測數值 | 第二組線上音高檢測數值 |
|---------|-----------------|-----------------|
| 10ml | D ₅ | A ₃ |
| 20ml | A ₃ | A ₆ |
| 30ml | A ₃ | A ₃ |
| 40ml | D ₅ | A ₃ |
| 50ml | D ₅ | A ₃ |
| 60ml | A# ₈ | A# ₆ |
| 70ml | G# ₅ | A# ₆ |
| 80ml | G# ₅ | G# ₅ |
| 90ml | A# ₇ | G# ₄ |
| 100ml | G# ₅ | G ₄ |
| 110ml | F# ₅ | F ₄ |
| 120ml | A# ₄ | F# ₅ |
| 130ml | E ₆ | E ₆ |
| 140ml | E ₇ | D ₃ |
| 150ml | D# ₄ | C ₆ |
| 160ml | D ₅ | C# ₅ |
| 170ml | C ₅ | C ₅ |

六、第一組和第二組測試 10ml~170ml 高腳玻璃杯水量與線上音高折線圖



陸、討論

一、第一組實驗結果和音樂老師判斷結果比較

第一組依據實驗操作，先用量杯取 10ml 水量，再倒入高腳玻璃杯內，用鋼筷輕輕敲擊杯子，透過線上測試網站所測量出音高，記錄於筆記本上，再和由音樂老師聆聽後記錄音高於筆記本上的數據，透過 Excel 做出折線圖做比較，有以下幾點提出作討論：

- (一) 第一組實驗結果和音樂老師判讀音高結果有幾處不同，但整體趨勢也都呈現出水量越多，音高就越低。
- (二) 我們所認知的隨著水量增多，音高應該會規律性的變低，但在 10ml、40ml、50ml、90ml、120ml 這幾處，明顯與原本預測之音高下降呈現相反現象，不降反升。第一組在 10ml、40ml、50ml 之處，也與音樂老師判斷結果相差 4~5 個全音。
- (三) 第一組在 70ml 之處，與音樂老師判斷結果相差 1~2 個半音；在 90ml 之處，與音樂老師判斷結果相差 1~2 個半音；在 120ml 之處，與音樂老師判斷結果相差 2~3 個全音。
- (四) 在 140ml 至 160ml 的區間，與音樂老師判斷結果相差 1~2 個半音。
- (五) 在 170ml 處，第一組和音樂老師判斷的結果皆相同，達到中央 Do 的音高。

二、第二組實驗結果和音樂老師判斷結果比較

第二組依據實驗操作，先用量杯取 10ml 水量，再倒入高腳玻璃杯內，用鋼筷輕輕敲擊杯子，透過線上測試網站所測量出音高，記錄於筆記本上，再和由音樂老師聆聽後記錄音高於筆記本上的數據，透過 Excel 做出折線圖做比較，有以下幾點提出作討論：

- (一) 第二組實驗結果和音樂老師判讀音高結果大致相同，整體趨勢也都呈現出水量越多，音高就越低。
- (二) 我們所認知的隨著水量增多，音高應該會規律的變低，但在 40ml 到 70ml 這一段的音高，第二組實驗結果和音樂老師 60ml 和 70ml 判斷結果都呈現不降反升的現象。
- (三) 另外第二組實驗結果在 120ml 和 160ml 也同樣出現不降反升之結果。
- (四) 在 100ml 和 110ml 時第二組實驗結果都比音樂老師判斷結果還要再高半音。
- (五) 在 170ml 處，第二組和音樂老師判斷的結果皆相同，達到中央 Do 的音高。

三、第一組實驗結果和第二組實驗結果比較

第一組的實驗地點在食安教室，環境比較清幽，偶有蟲鳴鳥叫伴隨師生的上課聲；第二組原本選定電腦/自然綜合教室實驗，但是操作線上音樂檢測器網站檢測時的結果均為

G#₅之音高，後來發現是伺服器會持續發出低鳴聲而造成干擾，最後選擇到六年級教室，也能避開校門街道吵雜聲，再加上關閉門窗，大致阻絕了其他聲音的干擾。

第一組和第二組依據實驗操作，先用量杯取 10ml 水量，再倒入高腳玻璃杯內，用鋼筷輕輕敲擊杯子，透過線上測試網站所測量出音高，記錄於筆記本上，透過 Excel 做出折線圖做比較，有以下幾點提出作討論：

- (一) 第一組在 10ml 到 60ml 的音高都呈現大幅度的高低起伏，尤其是在 10ml、40ml 和 50ml 時都和第二組實驗結果偏離。
- (二) 在 60ml 之後，除 120ml 時也出現偏離，其餘的地方兩組的實驗結果雖沒有完全相同，但整個趨勢都是朝著隨水量增多，音高會逐漸變低的方向走。
- (三) 第一組在一開始的 10ml 和 40ml、50ml 三個地方都是測得 D 音高，和第二組測得 G# 的音高相差了 7 個半音的音高。
- (四) 在 120ml 處，兩組相差了 4 個半音；在 150ml 處，兩組相差了 3 個半音；在 70ml、90ml 和 140ml 處，兩組相差了 2 個半音；在 100ml、110ml 和 160ml 處，兩組都相差了 1 個半音。
- (五) 在 170ml 處，第一組和第二組實驗結果皆相同，達到中央 Do 的音高。

柒、結論

一、第一組實驗結果和音樂老師判斷結果比較

- (一) 第一組實驗結果和音樂老師判讀音高結果有大幅度不同，不過排除與音樂老師判斷結果有差異之處，整體趨勢也呈現出水量越多，音高就越低。這樣的結果，可以證明隨著水杯的水量逐漸增多時，音高也會逐漸的降低。
- (二) 我們所認知的隨者水量增多，音高應該會規律性的變低，但在 10ml、40ml、50ml、90 ml 和 120ml 這幾處，明顯與原本預測之音高下降呈現相反現象，不降反升這樣的結果我們認定是第一組實驗時產生誤差所造成的，因為音高急降又急升，比較不符合我們所認知的音階規律性。另外我們有發現高腳玻璃杯從杯底到 50ml 的位置時，杯身是呈狹縫 V 形，有可能是造成音高不降反升的原因。
- (三) 在 70ml、90ml、100ml 之處與音樂老師判斷之結果相差 1~2 個半音，這樣的情形有可能是第一組實驗結果有些許誤差，因為從音高趨勢判斷下來，70ml 比音樂老師判斷之結果低 2 個半音，90ml 比音樂老師判斷之結果高 2 個半音，100ml 比音樂老師判斷之結果高 2 個半音，從此現象看來並無規律性。
- (四) 第一組實驗結果在 120ml 也同樣出現不降反升之結果。這樣的情形有可能是第一組

實驗結果有誤差，因為按照音樂老師判斷結果是呈現較有規律音高逐漸變低的趨勢。另外我們有發現高腳玻璃杯杯身有不太明顯的從最寬處略往杯口處內凹，有可能是造成音高不降反升的原因。在 140ml 至 160ml 也同樣出現不降反升之結果，不過總體趨勢之音高是往下降，且相差 1~2 個半音，因此判斷為實驗結果之誤差，導致有些許的音高差異。

(五) 在 170ml 處，第一組和音樂老師判斷的結果皆相同，達到中央 Do 的音高。這樣的結果，我們發現隨著水量增多，第一組的誤差和音樂老師判斷音高的結果相比會比較少，偏差也比較小。雖然我們沒有老師那樣的絕對音感，但是藉由實驗和電腦的幫助，我們也能找出規律的音高。

二、第二組實驗結果和音樂老師判斷結果比較

(一) 第二組實驗結果和音樂老師判讀音高結果大致相同，整體趨勢也都呈現出水量越多，音高就越低。這樣的結果，可以證明隨著水杯的水量逐漸增多時，音高也會逐漸的降低。

(二) 我們所認知的隨著水量增多，音高應該會規律的變低，但在 40ml 到 70ml 這一段的音高，第二組實驗結果和音樂老師判斷結果都呈現不降反升的現象。這樣的結果是讓我們最感意外的部分，摒除操作時產生的誤差原因外，連續 40ml、50ml、60ml 和 70ml 四次的操作都是音高不降反升，應該是可推斷為真實的測試結果；另外我們有發現高腳玻璃杯從杯底到 50ml 的位置時，杯身是呈狹縫 V 形，有可能是造成音高不降反升的原因。

(三) 第二組實驗結果在 120ml 和 160ml 也同樣出現不降反升之結果。這樣的情形有可能是第二組實驗結果有誤差，因為按照音樂老師判斷結果是呈現較有規律音高逐漸變低的趨勢。另外我們有發現高腳玻璃杯杯身有不太明顯的從最寬處略往杯口處內凹，有可能是造成音高不降反升的原因。

(四) 在 100ml 和 110ml 時，第二組實驗結果都比音樂老師判斷結果還要再高半音。例如 100ml 第二組實驗結果音高是 G，音樂老師判斷結果是 G#，這樣的結果雖然僅差半個音高，但對於我們一般人的耳朵聽來可能是在誤差可容許的臨界點，但對於專業的音樂老師是差很多，所以還是以專業的音樂老師判斷為主。

(五) 在 170ml 處，第二組和音樂老師判斷的結果皆相同，達到中央 C 的音高。由此可以知道，透過儀器和精準的實驗，我們可以找到生活中裡的中央 C。

三、第一組實驗結果和第二組實驗結果比較

- (一) 第一組在 10ml 到 60ml 的音高都呈現大幅度的高低起伏，尤其是在 10ml、40ml 和 50ml 時都和第二組實驗結果偏離。這樣的結果我們認定是第一組實驗時產生誤差所造成的，因為音高急降又急升，比較不符合我們所認知的音階規律性。
- 音階規律性升高：C→C#→D→D#→E→F→F#→G→G#→A→A#→B→Ċ…
- 音階規律性降低：B→A#→A→G#→G→F#→F→E→D#→D→C#→C→B…
- (二) 在 60ml 之後，除 120ml 時也出現偏離，其餘的地方兩組的實驗結果雖沒有完全相同，但整個趨勢都是朝著隨水量增多，音高會逐漸變低的方向走。由此可以看出第一組和第二組在 60ml 之後大致的趨勢相同，隨著水量不斷增多，音高也不斷的降低。
- (三) 第一組在一開始的 10ml 和 40ml、50ml 三個地方都是測得 D 音高和第二組測得 G# 的音高相差了 7 個半音的音高。這樣的結果我們認為是第一組實驗造成的誤差，因為它背離了趨勢，而誤差的原因應該是外界的聲音干擾所造成，另外也可能是是實驗時未立即記錄判讀數據，線上測試網站又偵測到我們操作聲音所導致。
- (四) 在 120ml 處，兩組相差了 4 個半音；在 70ml、90ml、110ml、140ml 和 150ml 處，兩組相差了 2 個半音；在 100ml 和 160ml 處，兩組都相差了 1 個半音，很難判斷哪一組實驗比較準確，可能量杯水量的多倒或少倒個幾毫升，音高就已經發生改變了，但若依整體趨勢判斷，第二組的音高呈現似乎就略勝一籌了。
- (五) 在 170ml 處，第一組和第二組實驗結果皆相同，達到中央 Do 的音高。我們發現隨著水量增多，兩組的誤差會比較少，偏差也比較小。

捌、參考文獻資料及其他

- 一、線上音樂檢測器網站 <https://www.onlinemictest.com/zh/tuners/pitch-detector/>
- 二、三角驗證法網站 <https://qualpage.com/2018/01/18/triangulation-in-qualitative-research/>
- 三、Norman Denzin (1978) .The Research Act: A Theoretical Introduction to Sociological Methods
研究法：社會學方法的理論介紹。台北市:三民圖書股份有限公司。
- 四、胡幼慧 (1996) 。質性研究：理論、方法及本土女性主義研究實例。台北市:巨流出版社。
- 五、Robson, C. (2002) . Real world research. Blackwell.
- 六、Michael Quinn Patton (1980) . Qualitative Evaluation Methods. Includes index. Bibliography: 369-374.

- 七、王文科（1994）。教育百科辭典。台北市:五南圖書出版股份有限公司。
- 八、黃靜芳（2020）。臺灣教育評論月刊，2020，9（11），頁 45-54
- 九、蔡振家（2020）。音樂認知心理學。台北市:國立臺灣大學出版中心。
- 十、Om Books Books（20172017）。天天在家玩科學（蕭秀姍、黎敏中，譯）。台北市：商周出版。
- 十一、Powell, J.（2017）。好音樂的科學 II。台北市：大寫出版。