

# 菜園裡的樂團——胡蘿蔔笛的製作與音調探討

## 摘要

本研究旨在探討自製胡蘿蔔笛的製作方法與聲音高低，針對胡蘿蔔笛的窗口、笛孔、空氣柱、管徑與濕度的調整，自製出具有音調高低的胡蘿蔔笛。本研究採用數位錄音，以電腦測音軟體 Audacity 分析聲音的頻率，經實驗探究的結果，歸納本研究有以下五點結論：

- 一、空氣柱愈長，聲音音調愈低；空氣柱愈短，聲音音調愈高。
- 二、管徑愈大，聲音音調愈低；管徑愈小，聲音音調愈高。
- 三、不同的窗口形狀，會有不同的音調，窗口斜面愈小，聲音音調愈低；窗口斜面愈大，聲音音調愈高。
- 四、笛孔開孔面積愈大，聲音音調愈高，而且以垂直方式來開孔，有較大的音階差異。
- 五、胡蘿蔔愈濕，聲音音調愈低；胡蘿蔔愈乾，聲音音調愈高。

## 壹、研究動機

上學期自然課在「聲音的探討」這個單元，學習到聲音的三要素——音量、音調和音色，最後老師要我們自己動手製作樂器。即使，我們都是學校的絲竹樂團團員，但是，要製作出一個具有音調高低的簡易樂器，實在是不容易呢！我們在 Youtube 上看到奧地利蔬菜樂團以及日本的音樂家，他們利用各式各樣的蔬菜水果，製作出各種不同類型的樂器，而且不可思議的是，它還能演奏出優美的樂音呢！其中大家對胡蘿蔔做成的笛子特別感到興趣，雖然，上學期我們試著自己製作胡蘿蔔笛，卻接二連三的失敗，無法吹出聲音。所以，這次在老師的指導之下，我們希望能找出正確製作胡蘿蔔笛的方式，並了解如何讓胡蘿蔔笛發出高低不同的音階，來演奏曲子。

## 貳、研究目的

基於上述研究動機，本研究將以自製的胡蘿蔔笛，進行實驗設計與操作，從笛音的頻率與音調加以分析、闡述，本研究目的分述如下：

- 一、探討胡蘿蔔笛的「笛管」，對聲音高低（頻率）的影響。
- 二、探討胡蘿蔔笛的「窗口」，對聲音高低（頻率）的影響。
- 三、探討胡蘿蔔笛的「笛孔」，對聲音高低（頻率）的影響。
- 四、探討胡蘿蔔笛的「濕度」，對聲音高低（頻率）的影響。
- 五、瞭解製作胡蘿蔔笛的方式。

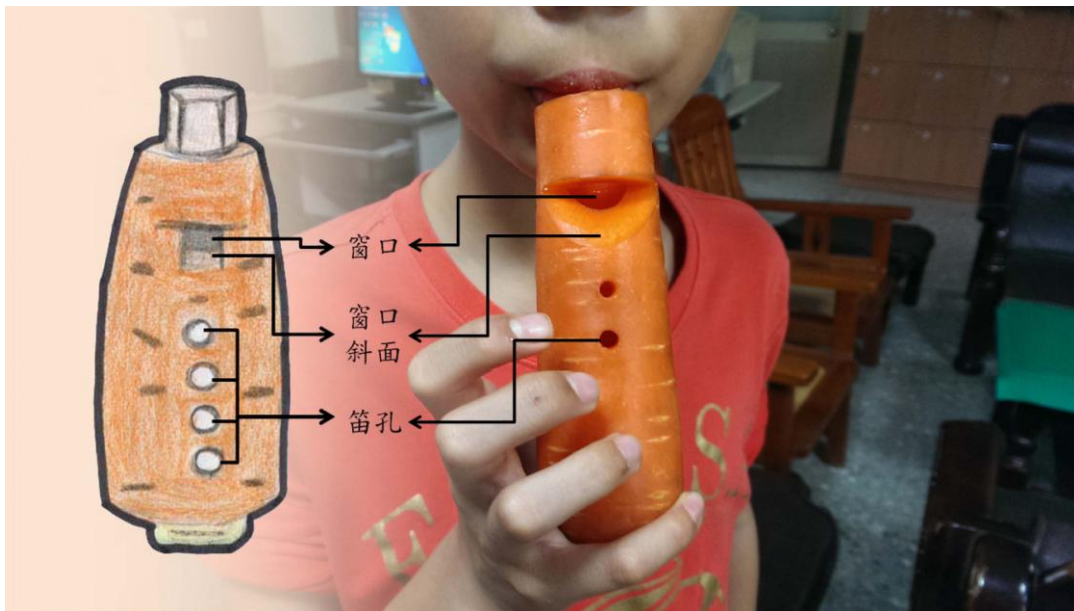


圖 1 胡蘿蔔笛結構及名稱

## 參、研究設備及器材

胡蘿蔔、各式鑽頭、電鑽、數位錄音筆、飛機木（ $\varnothing$  20mm、 $\varnothing$  18mm、 $\varnothing$  15mm）、美工刀、尺、量角器、雕刻刀、烤箱、分析軟體—Audacity 2.0.5。

## 肆、研究過程與方法

### 一、製作胡蘿蔔笛的步驟

本研究參考 Dave Hax (2014) 以及王建凱、陳映良、江彥辰、薛郁臻與詹禮嘉 (2009) 的製作方法，本研究製作胡蘿蔔笛的步驟如下：

- (一) 以美工刀去除胡蘿蔔尾端部分 (如圖 2)。
- (二) 利用木工扁平鑽頭手動 (或利用電鑽) 鑽出圓柱，形成胡蘿蔔笛的空氣柱 (如圖 3、圖 4)。
- (三) 在尾端 30.5 公分處，以美工刀和雕刻刀刻出窗口及斜面。
- (四) 取飛機木製作笛塞，塞入笛管。
- (五) 再利用鑽頭鑽出笛孔 (如圖 5)。



圖 2 將胡蘿蔔尾部切除



圖 3 以手動方式鑽孔

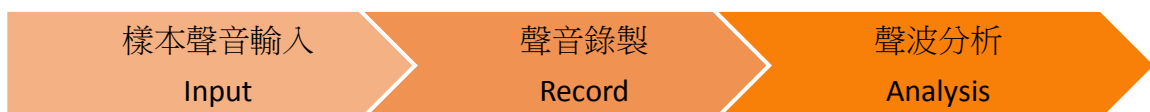


圖 4 以電鑽鑽孔



圖 5 鑽出笛孔

### 二、數據分析



- (一) 樣本聲音：本研究的樣本聲音，係由研究者吹奏產生 (如圖 6)。
- (二) 聲音錄製：聲音發出後，以數位錄音筆錄下 (如圖 7)。

(三) 聲波分析：將錄製完成的聲音，以 Audacity 2.0.5 分析聲波頻率與音調（如圖 7）。



圖 6 研究者吹奏胡蘿蔔笛

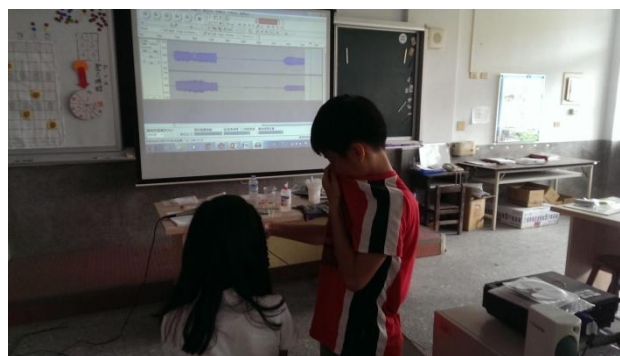


圖 7 收錄笛音與分析頻率

### 三、研究目的、研究問題與實驗設計

表 1 研究目的、研究問題與實驗設計對照表

研究目的	研究問題	實驗設計
1. 探討胡蘿蔔笛的「笛管」，對聲音高低（頻率）的影響。	1-1 不同空氣柱長度，對胡蘿蔔笛的音調影響為何？	實驗一：比較不同長度的空氣柱，在聲音高低的差異。
	1-2 不同笛管直徑，對胡蘿蔔笛的音調影響為何？	實驗二：比較不同管徑大小，在聲音高低的差異。
2. 探討胡蘿蔔笛的「窗口」，對聲音高低（頻率）的影響。	2-1 不同的窗口形狀，對胡蘿蔔笛的音調影響為何？	實驗三：比較不同形狀的窗口，在聲音高低的差異。
	2-2 不同的窗口斜度，對胡蘿蔔笛的音調影響為何？	實驗四：比較不同斜度的窗口，在聲音高低的差異。
3. 探討胡蘿蔔笛的「笛孔」，對聲音高低（頻率）的影響。	3-1 不同的笛孔大小，對胡蘿蔔笛的音調影響為何？	實驗五：比較不同大小的笛孔，在聲音高低的差異。
	3-2 不同的笛孔數量，對胡蘿蔔笛的音調影響為何？	實驗六：比較不同數量的笛孔，在聲音高低的差異。
	3-3 笛孔的水平與垂直位置，對胡蘿蔔笛的音調影響為何？	實驗七：比較不同位置的笛孔，在聲音高低的差異。
4. 探討胡蘿蔔笛的「濕度」，對聲音高低（頻率）的影響。	4-1 胡蘿蔔笛不同的濕度，對胡蘿蔔笛的音調影響為何？	實驗八：比較不同溼度的胡蘿蔔，在聲音高低的差異。

## 伍、研究結果

一、實驗一：比較不同長度的「空氣柱」，在聲音高低的差異。

(一) 操縱變因：空氣柱長度 (85mm、122mm)。

(二) 控制變因：管徑 ( $\varnothing$  20mm)。

(三) 實驗步驟：

1. 使用電鑽和直徑 20mm 的鑽頭，製作空氣柱長度為 85mm 的胡蘿蔔笛。
2. 吹奏、錄音、分析頻率。
3. 再以電鑽將胡蘿蔔笛空氣柱加深空氣柱長度到 122mm。
4. 吹奏、錄音、分析頻率。

(四) 實驗紀錄：

表 2 不同空氣柱長度的頻率與音調

空氣柱長度 (mm)	頻率 (Hz)				音調	唱名
	第一次	第二次	第三次	平均		
85	840	866	866	857.33	A <sub>5</sub>	La
122	557	560	562	559.67	C <sub>5</sub> <sup>#</sup>	升 Do

(五) 實驗結果：空氣柱長度 85 mm 的胡蘿蔔笛吹奏三次的平均頻率為 857.33 赫茲，音調為 A<sub>5</sub>。而將胡蘿蔔笛的空氣柱增加到 122 mm 時，吹奏的平均頻率為 559.67 赫茲，音調為 C<sub>5</sub><sup>#</sup>。由此可見，增加胡蘿蔔笛的空氣柱長度，聲音的頻率變低，音調也會降低。

二、實驗二：比較不同「管徑」大小，在聲音高低的差異。

(一) 操縱變因：胡蘿蔔管徑 (15mm、18mm、20mm)。

(二) 控制變因：空氣柱長度 (120mm)。

(三) 實驗步驟：

1. 取直徑 15mm 的鑽頭，以電鑽鑽出柱長 85mm 的胡蘿蔔。
2. 吹奏、錄音、分析聲音頻率與音調。
3. 取直徑 18mm 的鑽頭，以電鑽鑽出柱長 85mm 的胡蘿蔔。
4. 吹奏、錄音、分析聲音頻率與音調。
5. 取直徑 20mm 的鑽頭，以電鑽鑽出柱長 85mm 的胡蘿蔔。
6. 吹奏、錄音、分析聲音頻率與音調。

(四) 實驗紀錄：

表 3 不同胡蘿蔔管徑的頻率與音調

胡蘿蔔管徑 (mm)	頻率 (Hz)				音調	唱名
	第一次	第二次	第三次	平均		
Ø20	644	646	646	645.33	E <sub>5</sub>	Mi
Ø18	710	718	711	713.00	F <sub>5</sub>	Fa
Ø15	960	960	962	960.67	B <sub>5</sub>	Si

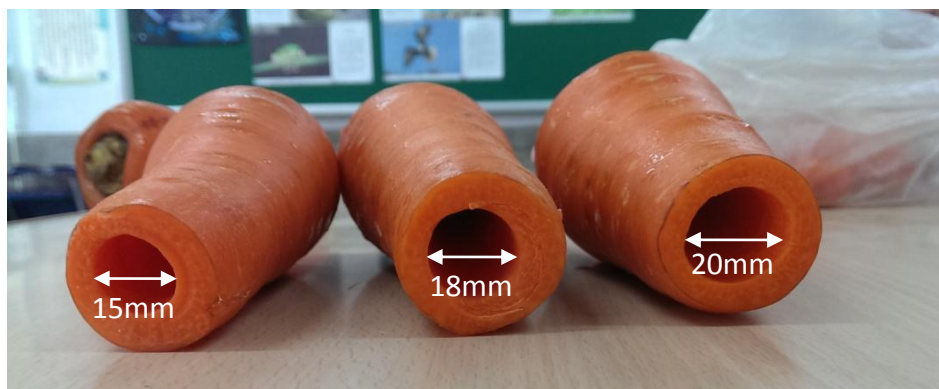


圖 8 直徑大小不同的胡蘿蔔管徑

(五) 實驗結果：分別製作不同管徑大小的胡蘿蔔，如圖 8 所示，由左至右直徑分別為 15mm、18mm 和 20mm，所測得的頻率平均分別為 645.33 赫茲、713.00 赫茲和 960.67 赫茲。

三、實驗三：比較不同形狀的「窗口」，在聲音高低的差異。

(一) 操縱變因：窗口形狀（長方形、三角形、半圓形）。

(二) 控制變因：管直徑（20mm）、空氣柱長度（120mm）。

(三) 實驗步驟：

1. 取直徑 20mm 的鑽頭，以電鑽製作出 3 隻空氣柱長 120mm 的胡蘿蔔笛。
2. 使用美工刀和雕刻刀，刻畫出長方形、三角形和半圓形的窗口形狀(如圖 9)。
3. 吹奏、錄音、分析聲音頻率與音調。



圖 9 不同窗口形狀的胡蘿蔔笛

(四) 實驗紀錄：

表 4 不同窗口形狀的頻率與音調

窗口形狀	頻率 (Hz)				音調	唱名
	第一次	第二次	第三次	平均		
長方形	598	600	607	601.67	D <sub>5</sub>	Re
三角形	557	559	557	557.67	C <sup>#</sup> <sub>5</sub>	升 Do
半圓形	504	497	494	498.33	B <sub>4</sub>	Si

(五) 實驗結果：窗口長方形的頻率最高、三角形次之、半圓形最低，其平均頻率分別為 601.67 赫茲、557.67 赫茲和 498.33 赫茲。

四、實驗四：比較不同斜度的「窗口」，在聲音高低的差異。

(一) 操縱變因：窗口斜度。

(二) 控制變因：空氣柱長度、管徑、窗口形狀。

(三) 實驗步驟：

1. 取直徑 20mm 的鑽頭，以電鑽製作空氣柱長 120mm 的胡蘿蔔笛。
2. 使用美工刀和雕刻刀，刻畫出長方形窗口。
3. 吹奏、錄音、分析聲音頻率與音調。
4. 使用雕刻刀切出 70° 的斜面。
5. 吹奏、錄音、分析聲音頻率與音調。

(四) 實驗紀錄：

表 5 不同窗口斜面的頻率與音調

窗口斜面 (度)	頻率 (Hz)				音調	唱名
	第一次	第二次	第三次	平均		
0	605	608	608	607.00	D <sub>5</sub> <sup>#</sup>	升 Re
70	646	644	650	646.67	E <sub>5</sub>	Mi

(五) 實驗結果：窗口無斜面的胡蘿蔔笛吹奏三次後，其平均頻率為 607.00 赫茲，音調為 D<sub>5</sub><sup>#</sup>。而將胡蘿蔔笛的窗口斜切 70° 時，吹奏的平均頻率為 646.67 赫茲，音調為 E<sub>5</sub>。

五、實驗五：比較不同大小的「笛孔」，在聲音高低的差異。

(一) 操縱變因：笛孔 (3mm、13mm)。

(二) 控制變因：空氣柱長度 (122mm)、胡蘿蔔管徑 (∅ 20mm)。

(三) 實驗步驟：

1. 使用電鑽和 ∅ 20mm 鑽頭，製作出 1 隻空氣柱長度 122mm 的胡蘿蔔笛。
2. 取 5mm 鑽頭，鑽出笛孔。
3. 吹奏、錄音、分析聲音頻率與音調。
4. 取 13mm 鑽頭，將笛孔加大。
5. 吹奏、錄音、分析聲音頻率與音調。

(四) 實驗紀錄：

表 6 不同笛孔大小的頻率與音調

笛孔 (mm)	頻率 (Hz)				音調	唱名
	第一次	第二次	第三次	平均		
5	974	987	975	978.67	B <sub>5</sub>	Si
13	1167	1171	1170	1169.33	D <sub>6</sub>	Re

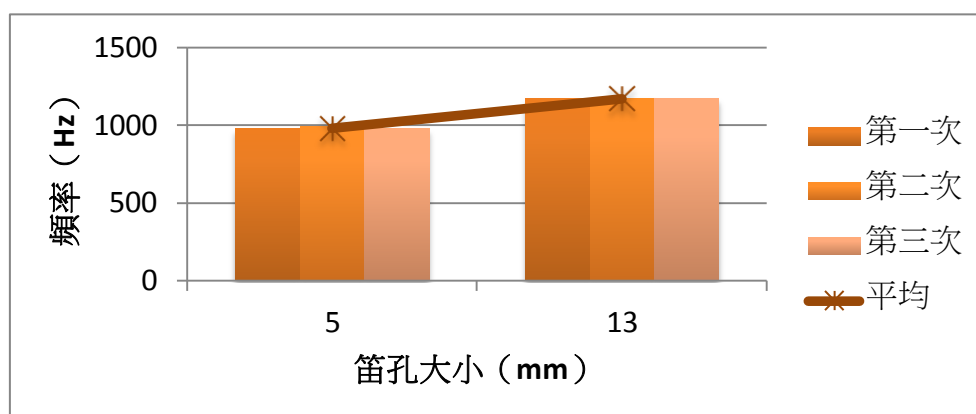


圖 10 笛孔大小與頻率

(五) 實驗結果：笛孔直徑 5mm 三次吹奏所測到得頻率為 974 赫茲、987 赫茲和 975 赫茲，平均 978.67 赫茲，音調為 B<sub>5</sub>；而笛孔直徑 13mm 三次吹奏所測到得頻率為



1167 赫茲、1171 赫茲和 1170 赫茲，平均 1169.33 赫茲，音調為 D<sub>6</sub>。

六、實驗六：比較不同數量的「笛孔」，在聲音高低的差異。

(一) 操縱變因：笛孔數量。

(二) 控制變因：笛孔大小 (13mm)、空氣柱長度 (122mm)、胡蘿蔔管徑 (Ø 20mm)。

(三) 實驗步驟：

1. 製作 2 隻管徑 20mm、空氣柱長度 120mm 的胡蘿蔔笛。

2. 取 13mm 的鑽頭，在其中一隻胡蘿蔔笛，依序鑽出垂直位置的笛孔，每鑽一孔便分析笛音的頻率。

1. 取 13mm 的鑽頭，在另一隻胡蘿蔔笛，依序鑽出水平位置的笛孔，每鑽一孔便分析笛音的頻率。

(四) 實驗紀錄：

表 7 不同垂直數量的笛孔之頻率與音調

垂直笛孔數 (個)	頻率 (Hz)				音調	唱名
	第一次	第二次	第三次	平均		
0	624	629	626	626.33	D <sub>5</sub> <sup>#</sup>	升 Re
1	829	827	825	827.00	G <sub>5</sub>	So
2	995	988	990	991.00	B <sub>5</sub>	Si
3	1075	1069	1077	1073.67	C <sub>6</sub>	Do
4	1135	1119	1114	1122.67	C <sub>6</sub> <sup>#</sup>	升 Do

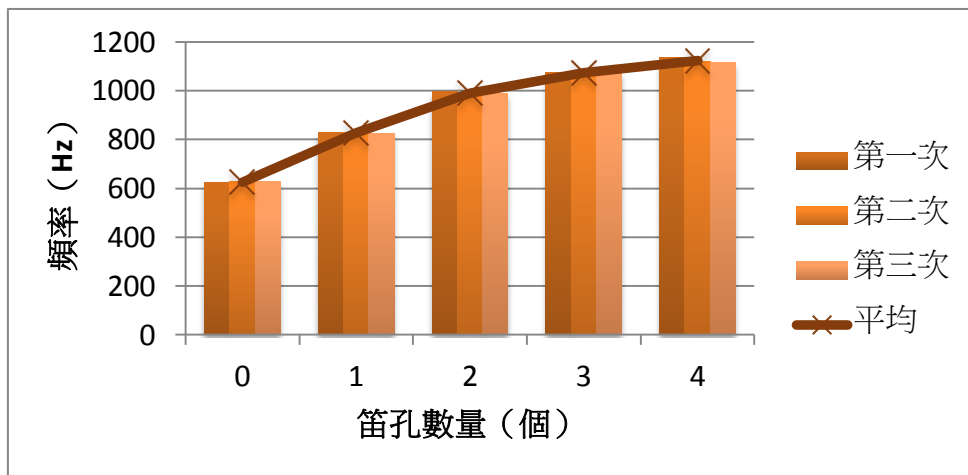


圖 11 垂直笛孔數量與頻率

表 8 不同水平數量的笛孔之頻率與音調

水平笛孔數 (個)	頻率 (Hz)				音調	唱名
	第一次	第二次	第三次	平均		
0	536	534	535	535.00	C <sub>5</sub>	Do
1	629	624	631	628.00	D <sub>5</sub> <sup>#</sup>	升 Re
2	707	711	718	712.00	F <sub>5</sub>	Fa
3	777	752	772	767.00	G <sub>5</sub>	So
4	947	967	967	960.33	B <sub>5</sub>	Si

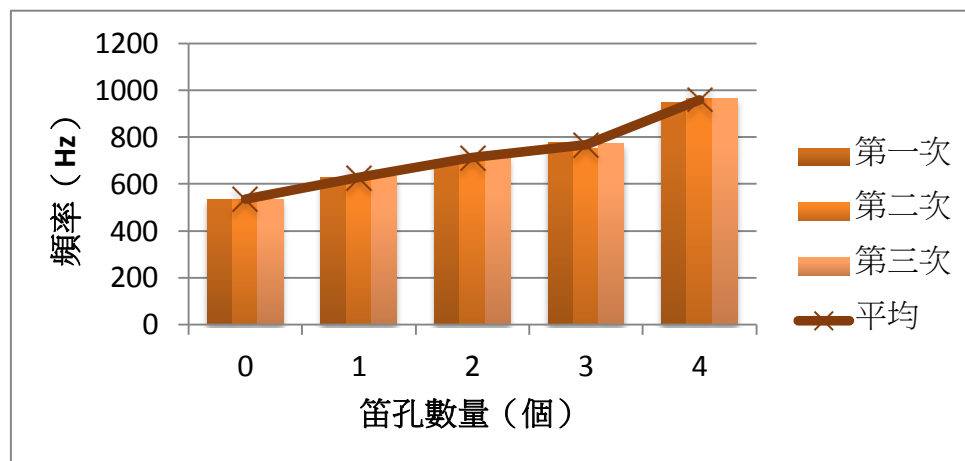


圖 12 水平笛孔數量與頻率

(五) 實驗結果：

1. 以「垂直」的方式鑽出笛孔，笛孔數量由 0 個增加至 4 個，其平均頻率分別為 626.33 赫茲、827.00 赫茲、991.00 赫茲、1073.67 赫茲和 1122.67 赫茲。
2. 以「水平」的方式鑽出笛孔，笛孔數量由 0 個增加至 4 個，其平均頻率分別為 535.00 赫茲、628.00 赫茲、712.00 赫茲、767.00 赫茲和 960.33 赫茲。

七、實驗七：比較不同位置的「笛孔」，在聲音高低的差異。

(一) 操縱變因：笛孔位置（垂直、水平）。

(二) 控制變因：管徑（20mm）、空氣柱長度（120mm）。

(三) 實驗步驟：

3. 製作 2 隻管徑 20mm、空氣柱長度 120mm 的胡蘿蔔笛。
4. 取 13mm 的鑽頭，在 1 隻胡蘿蔔笛鑽出垂直位置的笛孔 4 個（如圖 13）。
5. 取 13mm 的鑽頭，在另 1 隻胡蘿蔔笛鑽出水平位置的笛孔 4 個（如圖 14）。

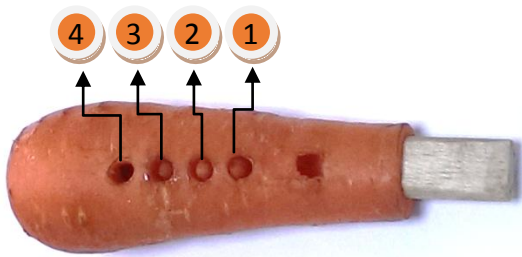


圖 13 垂直笛孔之編號

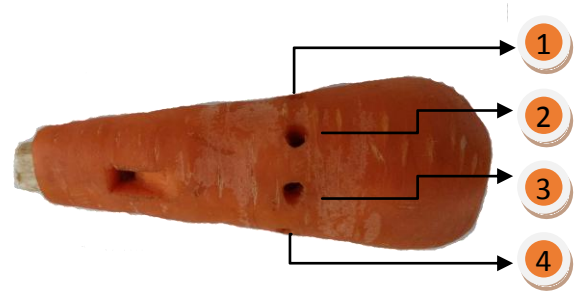


圖 14 水平笛孔之編號

(四) 實驗紀錄：

表 9 垂直笛孔之頻率與音調

笛孔位置 (垂直)	頻率 (Hz)				音調	唱名
	第一次	第二次	第三次	平均		
按 ① ② ③ ④	867	853	874	864.67	A <sub>5</sub>	La
按 ① ② ③ ④	842	836	848	842.00	G <sub>5</sub> <sup>#</sup>	升 So
按 ① ② ③ ④	803	807	810	806.67	G <sub>5</sub> <sup>#</sup>	升 So
按 ① ② ③ ④	780	780	781	780.33	G <sub>5</sub>	So

註：黑色表示按住的笛孔編號，白色表示放開的笛孔編號。

表 10 水平笛孔之頻率與音調

笛孔位置 (水平)	頻率 (Hz)				音調	唱名
	第一次	第二次	第三次	平均		
按 ① ② ③ ④	647	649	650	648.67	E <sub>5</sub>	Mi
按 ① ② ③ ④	696	690	686	690.67	F <sub>5</sub>	Fa
按 ① ② ③ ④	653	655	670	659.33	E <sub>5</sub>	Mi
按 ① ② ③ ④	709	709	708	708.67	F <sub>5</sub>	Fa

註：黑色表示按住的笛孔編號，白色表示放開的笛孔編號。

(五) 實驗結果：

1. 以垂直方式鑽出笛孔，位置由低至高，其平均頻率分別為 864.67 赫茲、842.00 赫茲、806.67 赫茲和 780.33 赫茲。
2. 以水平方式鑽出笛孔，位置由右至左，其平均頻率分別為 648.67 赫茲、690.67 赫茲、659.33 赫茲和 708.67 赫茲。

八、實驗八：比較不同「濕度」的胡蘿蔔笛，在聲音高低的差異。

- (一) 操縱變因：烘烤時間 (0 分鐘、10 分鐘、20 分鐘、30 分鐘)。
- (二) 控制變因：烤箱溫度 (160°C)、胡蘿蔔笛。
- (三) 實驗步驟：

1. 以直徑 20mm 的鑽頭，製作 1 隻胡蘿蔔笛（如圖 17）。
2. 吹奏、錄音、分析聲音頻率與音調。
3. 放入烤箱烘烤 10 分鐘，烘烤溫度為 160°C（如圖 15、圖 16）。
4. 吹奏、錄音、分析聲音頻率與音調。
5. 再放入烤箱烘烤 10 分鐘，烘烤溫度為 160°C。
6. 吹奏、錄音、分析聲音頻率與音調。
7. 再放入烤箱烘烤 10 分鐘，烘烤溫度為 160°C（如圖 18）。
8. 吹奏、錄音、分析聲音頻率與音調。



圖 15 將胡蘿蔔笛放入烤箱烘烤



圖 16 等待烤箱將胡蘿蔔笛水分烘乾



圖 17 還沒烘烤的胡蘿蔔笛



圖 18 烘烤 30 分後的胡蘿蔔笛

（四）實驗紀錄：

烘烤時間 (分)	頻率 (Hz)				音調	唱名
	第一次	第二次	第三次	平均		
0	933	934	934	933.67	A <sub>5</sub> <sup>#</sup>	升 La
10	934	934	933	933.67	A <sub>5</sub> <sup>#</sup>	升 La
20	978	975	971	974.67	B <sub>5</sub>	Si
30	1027	1036	1045	1036.00	C <sub>6</sub>	Do

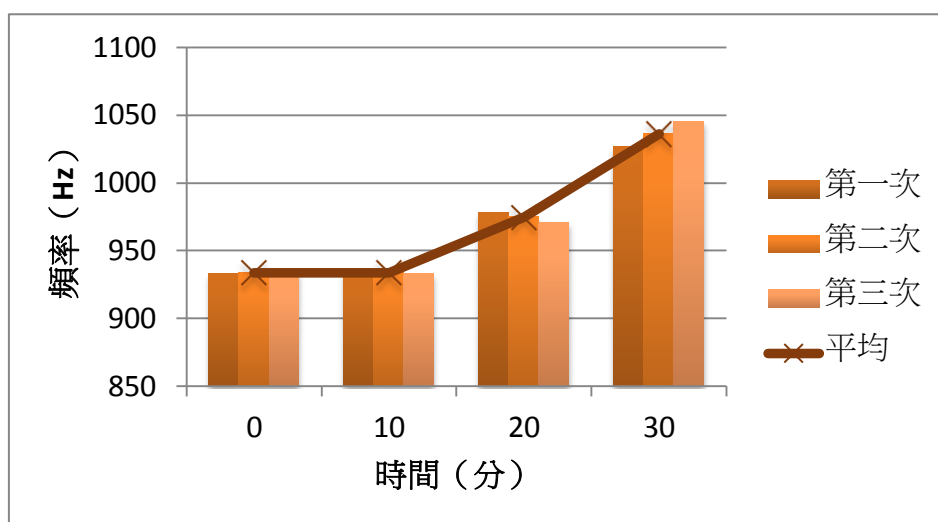


圖 19 烘烤時間與頻率

(五) 實驗結果：經過 10 分鐘的烘烤後，所測得的頻率並無改變，當胡蘿蔔笛經 20 分鐘的烘烤後，頻率平均為 974.67 赫茲，音調為  $B_5$ 。經過 30 分鐘烘烤的胡蘿蔔笛，其頻率平均為 1036.00 赫茲，音調為  $C_6$ 。

## 陸、討論

- 一、不同空氣柱長度會影響胡蘿蔔笛的音調，在不同的笛管長度，會發出高低不同的聲音，笛管愈長，聲音音調愈低。這和我們在上學期自然課中，利用吸管做成的溜溜笛原理相同，中空的吸管和沾水的棉花產生空氣柱，當吸管越長，音調就越低。
- 二、不同管徑大小的胡蘿蔔笛，也會有音調的高低，由實驗二的研究結果可知，胡蘿蔔管徑的直徑愈小，聲音音調會愈高。這與中國絲竹樂器的笛子家族一樣，梆笛的管徑小，音調高亢明亮，而曲笛的管徑較大，音調比較渾厚圓潤。
- 三、音樂課我們所使用的直笛，窗口的形狀為長方形，且具有斜面。因此，在實驗三我們製作了長方形、三角形和半圓形的窗口，研究結果顯示，三種形狀都可以發出聲音，且具有不同的音調。如果將窗口切出斜面，聲音的頻率提高許多，可見窗口也是影響製作胡蘿蔔笛的重要因素之一。
- 四、我們看到市售的陶笛，它的笛孔有大有小，而且位置都不一樣，不像我們在學校裡用的中國笛和直笛那們簡單。所以，在實驗五～七我們發現笛孔是影響胡蘿蔔笛，一個很重要的關鍵：
  - (一) 胡蘿蔔笛笛孔愈小，聲音愈低；笛孔愈大，聲音愈高。因此，我們可以利用不同的笛孔大小，來調整胡蘿蔔笛的音調。
  - (二) 胡蘿蔔笛笛孔數量愈多，聲音愈高。可透過這個方式，來製作出不同的音階。
  - (三) 胡蘿蔔笛笛孔的相對位置，以垂直方式鑽孔，會有音調的差異，而以水平的方式鑽孔，較無音調的差異。所以，要讓胡蘿蔔笛有明顯的音階，要採用垂直的相對位置來鑽笛孔。
- 五、我們把做好的胡蘿蔔笛放在室溫中太久，讓胡蘿蔔的水分流失，結果胡蘿蔔笛的音調也隨之改變，因此，在實驗八中，我們將胡蘿蔔笛放進烤箱烘烤，讓胡蘿蔔的水分蒸發，

所吹出的聲音也就愈高。

## 柒、結論

經過實驗與探究，我們發現「笛管、窗口、笛孔和濕度」都會影響胡蘿蔔笛的聲音高低，以下歸納本研究之結論：

- 一、空氣柱愈長，聲音音調愈低；空氣柱愈短，聲音音調愈高。
- 二、管徑愈大，聲音音調愈低；管徑愈小，聲音音調愈高。
- 三、不同的窗口形狀，會有不同的音調，窗口斜面愈小，聲音音調愈低；窗口斜面愈大，聲音音調愈高。
- 四、笛孔開孔面積愈大，聲音音調愈高，而且以垂直方式來開孔，有較大的音階差異。
- 五、胡蘿蔔愈濕，聲音音調愈低；胡蘿蔔愈乾，聲音音調愈高。

## 參考資料

侯志欽（2007）。聲學原理與多媒體音訊科技。臺北市：臺灣商務印書館。

張仁昌、李美英（1999）。聲波的波形與頻率的關係。2014年3月4日，取自：

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/html.php?html=teacher/sound/index>

陳映良、江彥辰、薛郁臻與詹禮嘉（2009）。「笛」確如此～笛子的製作與笛音的特性研究。

Dave Hax (2014). How to Make a Carrot Recorder Ocarina. Retrieved March 4, 2014, from

<http://www.instructables.com/id/How-to-Make-a-Carrot-Recorder-Ocarina/>