

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

080108

小提琴音色的奧妙

學校名稱：臺北市北投區石牌國民小學

| | |
|---------------|--------------|
| 作者： 小六 余仕文 | 指導老師： 林秋蓉 |
|---------------|--------------|

關鍵詞：小提琴、音色、頻譜圖

摘要

小提琴主要是由琴弓帶動琴弦使提琴透過音柱與音箱振動而發出聲音，而琴身、琴橋、琴弦、拉弦板、肩墊、松香……等，這些因素都可能影響提琴的「音色」，但是多數人，是很難用耳朵聽出「音色的差異」，因為聲音既看不到也摸不著，所以希望透過傅立葉電腦軟體 Audacity，來分析聲音的『**頻譜圖**』，用科學化的證據，讓非音樂專業人士，也能「看」到音色的差異，並利用頻譜圖與聲響學理論說明音色的奧妙，讓喜歡音樂的我們，找到適合的小提琴，也讓初學者或演奏者更容易找到合適的琴。

在關於小提琴音色的實驗裡，影響小提琴音色表現最主要的因素是松香和琴弦。我希望將松香與琴弦所產生的音色用科學方法分析，建立資料庫，讓演奏者很快找到適合的松香或琴弦。

壹. 研究動機

科學就是解決生活的不便，音樂的世界就是我的世界！提琴的音色好聽與否，就是我所追求的。當我看到第 579 期科學月刊「看見聲音的長相」；在六上，翰林自然第二單元，我們學到『聲音與樂器』，加上目前坊間沒有關於影響小提琴音色的科學研究，想研究小提琴「音色」的想法便從心裡萌芽了。在學琴的這幾年中，我從老師那兒學習了許多關於小提琴的常識。在比賽前幾週，樂團的指揮老師更是會請父母幫我們更換提琴與配備，如：等級較高的弦或是不同尺寸的琴身、琴弓……等，樂團老師說，能進到全國賽的隊伍，基本上，在演奏技術方面差異不大，但是，如果配備與別人稍有不同時，就會讓評審們「聽」出「音色」的差異。因此，我想藉由此研究更了解小提琴的奧祕，更了解小提琴構造與配備的不同是產生什麼樣的音色，讓我在小提琴的學習路上，能夠使用其特性，幫助我在曲子的呈現上，演繹的更好。

貳. 研究目的

- 一、**研究（一）之一：文獻探討與資料研究。**根據專家或相關文獻，了解影響小提琴音色的差異因素有：琴身的大小、琴身的年代、肩墊的材質、琴弓的材質、琴弓的重量、松香的材質、琴橋的位置、音柱的位置、F 孔的形狀、面板的塗裝（顏色與厚度）……等。
- 二、**研究（一）之二：實際動手製作提琴。**了解小提琴的發聲原理與構造分析，實作一把小提琴。
- 三、**研究（一）之三：討論及確認選定要研究的變因。**依據研究（一）之一和研究（一）之二發想影響小提琴音色的可能因素，從其中選出『較』影響小提琴音色的因素，從較影響的因素中，討論出『較容易』取得的研究材料，做為研究（一）的實驗變因。
- 四、**研究（一）之四：設計實驗組合內容。**依據研究（一）之三所挑出的實驗變因，作為此實驗的應變變因。
- 五、**研究（一）之五：分析『波形圖』與『頻譜圖』。**先確認『波形圖』是否不同，再確認『頻譜圖』是否不同，再依據『聲響學』理論分析頻譜圖。
- 六、**研究（一）之六：哪一些變因可以再深入探討與研究。**分析結果後，再依結果中找出『較』具影響小提琴音色的變因，再加以研究與探討。
- 七、**研究（二）之一：討論及確認選定要研究的變因，進而設定變因。**從**研究（一）**中，找出『較』具影響小提琴琴音的因素，做為再進一步研究的變因，並研究其資料。
- 八、**研究（二）之二：設計實驗組合內容及研究步驟。**根據**研究（二）之一**，探討影響小提琴聲音的變因，作為此實驗的應變變因，並擬定研究步驟。
- 九、**研究（二）之三：分析『頻譜圖』。**分析方法同**研究（一）之五**。

參. 研究設備與器材

一、 研究（一）的研究設備及器材

| | | | | |
|-------|---|---|---|--|
| 小提琴 | 不同價位等級的琴 | | 不同尺寸的琴 | |
| |  左 12 萬元、右 3 萬元 | |  左 3/4、右 1/2 | |
| 小提琴配件 | 不同材質的弦 | 不同等級的弓 | 不同材質的肩墊 | 不同材質的松香 |
| |  尼龍弦與鋼弦 |  左進階弓 右一般弓 |  木頭肩墊與 ABS 肩墊 |  380元 100元 100 元、380 元 |

二、 研究（二）的設備及器具

| 研究設備及器材 | | | | |
|--|---|-----|--|---|
| 小提琴 & 弓 |  | 松香 |  | 琴弦 |
| 酒精 & 棉花棒 & 布 |  | 調音器 |  | 資料來源：本研究拍攝整理  |
| 1. 調音器：是一種檢測和顯示樂器演奏時的音符音高的設備，用來調整音高。 2. 酒精、棉花棒和乾布：是用來清潔琴弓。棉花棒沾溼，擦拭弓毛，再用乾布擦乾，反覆數次，即可把弓毛上擦拭乾淨，去除松香。 | | | | |

肆. 研究過程或方法

一、 研究（一）之一：文獻探討與資料研究。 研讀相關資料及請教提琴專家，找出影響

小提琴音色不同的可能因素，先了解樂音的特徵與小提琴組成結構。

(一) 樂器的種類

資料來源：本研究整理

樂器分為四大類

樂器聲音音色的差異，與樂器本身的外形、材質與發聲方法等有關。演奏樂器時，是使發生體產生振動，產生駐波，而發出各式各樣的聲音與音調。依發音方式，可分為鍵盤樂器、打擊樂器、管樂器和弦樂器。本次實驗的樂器為『弦樂器』之小提琴。

| 樂器分類 | 鍵盤樂器 | 打擊樂器 | 管樂器 | 弦樂器 |
|-------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| 發音的方式 | 以按鍵敲擊琴弦或簧片產生聲音。 | 利用敲打樂器本身來產生聲音。 | 以吹動管中空氣柱來產生聲音。 | 經由拉動或撥動琴弦產生聲音。 |
| 舉例的樂器 | 鋼琴、手風琴 | 三角鐵、木魚、鑼 | 直笛、法國號、簫 | 小提琴、烏克蘭麗 |

(二) 構成聲音的要素

弦樂器的組成結構與發聲原理。本次研究不同因素對同一把小提琴發聲『音色』的影響，故主要會比較分析聲音『頻譜』的差異。(響度=聲音大小聲)

資料來源：本研究整理

樂音的三大要素

從聲學的分析角度來看，樂音有三個主要特徵，即響度、音調和音色，稱為樂音三要素。可藉著這某些儀器和程式幫忙，讓我們可以「看見」所聽到的聲音。

| 要素 | 定義 | 特性 |
|----|---|--|
| 響度 | 聲音的強弱稱為「響度」。聲波振幅愈大則響度愈大。通常以「分貝」(dB)來表示響度的大小。響度增加時，聲速不變，聲波傳播較遠。 | |
| 音調 | 聲音的高低稱為「音調」。聲音的音調由發音體的振動頻率決定，頻率愈高則音調愈高。通常以「赫茲」(Hz)來表示音調的高低。音調變高時，聲速不變，聲音容易被吸收，傳播較近。 | |
| 音色 | 聲音的獨特性稱為「音色」，又稱「音品」。 | 不同的發音體產生不同的波形，而形成不同的音色。大部分的樂器所發出的聲波，都不是單純的正弦波，而是由基音和多組不同頻率的泛音複合而成的複合波。(泛音的頻率必為基音頻率的整數倍)。 |

資料來源：本研究整理

小提琴的組成結構

(三) 發想影響提琴發聲的可能因素

從小提琴的主要組成結構出發，並參考相關文獻，請教弦樂器專家，歸納可能影響弦樂器聲音音色的主要影響因素有哪些。

二、研究(一)之二：實際動手製作提琴。實際參與小提琴的製作課程，實際組裝一把3/4小提琴，透過組裝及提琴師的教學，瞭解小提琴發聲的構造與原理，幫助構思與擬訂實驗內容。

(一) 在確認操作變因與進行相關實驗內容設計前，為了更瞭解小提琴的構造與發聲原理，特別參與小提琴手作課程，幫助構思與擬訂實驗內容。



(二) 從實際動手製作提琴的過程中，進而研究哪些因素可能是影響弦樂器「音色」的影響因素。根據「樂弦樂藝文空間手作提琴」與「提琴的秘密」和「手工製琴聖經」，了解提琴是利用音箱的共鳴與在不同弦上的不同拉奏方式，所產生不同效果的聲音，且需要松香的黏性加上弓的壓力，才能使弦從靜止位置移動，連續拉弓會使弦有規律的震動，而產生琴聲。弦的震動是透過琴橋和音柱被傳送至琴身，再將音波呈輻射狀擴散至空氣中，所以琴身的底板很重要，需要用質地較緊密、曬乾較久的木材來製作。在提琴的製作過程中，也了解琴的面料不同與薄厚，也關乎著琴音。弦的張力、弓的設計和琴身的建造也是對小提琴琴音的大小以及音色有影響。

三、研究（一）之三：討論及確認選定要研究的變因。依據步驟一、與二、找出影響小提琴音色的可能因素，從其中選出『較』影響小提琴音色的因素，從較影響的因素中，討論『較容易』取得的研究材料，做為研究（一）的實驗變因。

依據有限資源和所學習到的小提琴知識等，從資料研究後，發想的眾多可能影響小提琴音色的差異因素有，F 孔的形狀、面板的塗裝（顏色與厚度）、肩墊的材質、琴弓的新舊、琴身的淨度、松香的材質、琴弓的重量、琴身的年代……等，參考音樂領域的專家意見，篩選出一般認為較容易影響小提琴音色的因素，選出六項，進行實證研究，此六項即為本研究的操作變因。

| 小提琴發出的音色各有什麼不同？ | |
|--------------------------|------------------|
| (一) 不同材質的琴弦（尼龍弦、鋼弦） | (二) 相同尺寸但不同等級的琴身 |
| (三) 不同尺寸的琴身（至少2種尺寸） | (四) 相同尺寸但不同等級的琴弓 |
| (五) 不同材質的肩墊（ABS 材質與木頭材質） | (六) 不同材質的松香 |

四、研究（一）之四：設計實驗組合內容。依據步驟三、所選出的實驗變因，設定每一組的操作變因與固定變因。

為了避免聲音取樣可能產生的影響，所有實驗組合，會拉奏小提琴的 A 弦一個單音的方式進行實驗。

| | 控制變因 | 操作變因 |
|-----|--------------------------|---|
| 實驗一 | 3/4琴身(古琴) 3/4琴弓、ABS肩墊 | 不同材質的弦：尼龍琴弦 鋼弦 |
| 實驗二 | 3/4琴身 3/4琴弓、ABS肩墊 | 不同等級的琴：3/4古琴一把(價格約12萬元) 3/4現代琴一把(價格約3萬元) |
| 實驗三 | 同一把琴弓 ABS肩墊 | 不同尺寸的琴：尺寸1/2的琴 尺寸3/4的琴 |
| 實驗四 | 同一把1/2琴身 ABS肩墊 | 不同等級的弓：一般1/2尺寸的弓(950元) 進階1/2尺寸的弓(4000元) |
| 實驗五 | 3/4琴身(古琴) 3/4琴弓 | 不同材質的肩墊：ABS材質的肩墊(250元) 木頭材質的肩墊(850元) |
| 實驗六 | 3/4琴身(古琴) 3/4琴弓、ABS肩墊 | 不同材質的松香：便宜的香香(100元) 進階的松香(380元) |

五、 研究（一）之五：如何分析『波形圖』與『頻譜圖』。先判斷『波形圖』與『頻譜圖』，再依據聲響學理論文獻分析『頻譜圖』。依研究結果探討『最』具影響琴音的因素。

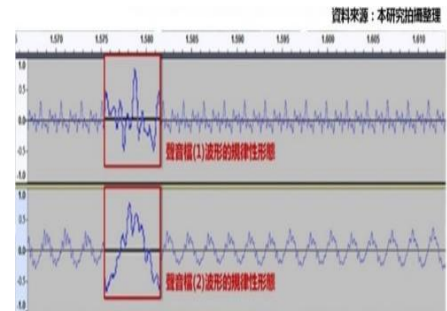
(一) 分析比較聲音的差異：透過電腦軟體 Audacity 進行視覺化分析，將聲音轉換成『頻譜圖』，並分析各項因素對小提琴音色所造成的音色差異。

本研究運用網路免費的傅立葉 Audacity 聲音分析電腦軟體，透過軟體進行視覺化分析，產生『波形圖』與『頻譜圖』。

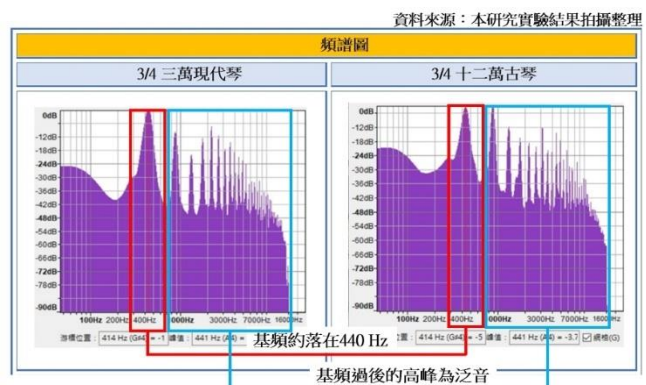
(二) 「波形」圖，用來觀察波形是否規律，來證實聲音是有差異的。

「頻譜」圖，透過圖型，運用聲響學理論，來分析小提琴的音色。

(1) 逐一比較每一組實驗組合之聲音的「波形」。首先我們觀察「聲音波形」的形狀，由於我們都是透過拉奏 A 弦單音進行實驗，我們觀察實驗結果，發現小提琴的「聲音波形」都會形成一個規律性，透過比較兩個聲音波形的規律性是否相同（如右圖所示），來判斷聲音是否有差異，若不同的話，則表示兩個聲音的音色是有差異的。



(2) 逐一比較每一組實驗組合之聲音的「頻譜」是否不同並透過聲響學理論來分析音色。Audacity 將音檔轉換成波形圖，將 sin / cos 波分量，再利用內建的傅立葉程式，轉換成頻譜圖。頻譜是二維的資訊，橫軸是頻率，縱軸是強度，這個實驗都是用拉小提琴 A 弦一個單音呈現，頻譜圖上的第一個高峰是小提琴的「基頻」，「基頻」過後是「泛音」，改變不同的操作變因後，會讓頻譜上的其他泛音頻率也不同。

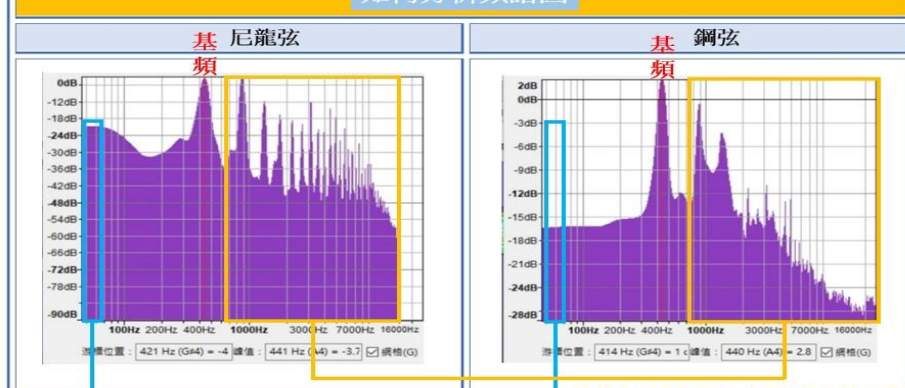


(三) 聲響學理論：基音和不同泛音的能量比例關係是決定一個音的音色核心因素。

資料來源：聲響學文獻整理

| | | |
|----------|---|---|
| 40-60 HZ | 這段頻率稱為重低音及低音 這個頻段構成渾厚低頻的主力 | 從聲響學的角度來說，如果這個頻段所呈現的量太少，一定沒有琴聲豐潤澎湃的感覺，而且會導致中高频、高频的突出，使聲音的鋼絲味顯得明顯、聲音緊細焦乾，聲音失去平衡感，不耐久聽。 |
| 小提琴的基頻 | 440 HZ 上下 | 所有的不同泛音都比基音的頻率高，但強度都應當相當渾厚的特質，而趨向於明亮單薄。基音決定音高。 |
| 小提琴的泛音 | 第一泛音880 HZ，第二泛音1320 HZ，第三泛音1760 HZ 泛音的種類多少決定了音色，為什麼有的人聲音聽起來暗，有的人聽起來亮？事實上即使是唱同一個音高，大家的音色也天差地別，差別就在泛音上了。 | 泛音決定音色 A泛音越充分的聲音越飽滿。 B低頻泛音越充分的聲音聽起來越“厚實”，越“有力”。 C高频泛音越充分的聲音穿透力越強，聲音聽起來越“亮”，越“尖”。 D高低頻都有並且合理分佈的聲音，就是比較完美的聲音。 而頻譜圖和聲譜圖是觀察泛音的最好辦法。 |
| 樂音=基音+泛音 | 判斷一個樂音品質的好壞，首先需要明白它的構成，基音+泛音就是一個音的全部 | 一個音的產生一定需要有振動，發聲物體在振動時會有各種聲波，不同聲波的振動頻率各有不同，振動越長的頻率越低，其中頻率最低的那個音就是基音，而其它較高頻率的聲波組成的是泛音。泛音=多個整數倍基音的疊加。 (例如：陳奕迅唱的一個音基音頻率是220 Hz，那麼他的泛音列理論上就有440 Hz、660 Hz、880 Hz.....這些泛音列被聽眾感知到多少，決定了歌曲的動聽程度，唱功優秀的歌手到第5、第6泛音列依然能有足夠的響應，所以聽起來洪亮無比、穿透力強，差一些的歌手只能到第3、第4泛音列，聲音發虛、發顫、不夠飽滿。提琴亦是如此。) |

如何分析頻譜圖



40-60 HZ 左圖：峰像山坡一樣，又高又圓，且量多。右圖：峰平平的，且量少。故左圖音色較豐潤澎湃，右圖則鋼絲味明顯。

基頻之後是泛音。泛音愈充份，聲音愈飽滿。左圖：泛音多且密，峰的高度也較高。右圖：峰少且稀。故左圖較右圖，厚實有力，穿透力強。

六、 研究（一）之六： 哪一些變因可以再深入探討與研究。分析結果後，在依結果中找出『較』具影響小提琴音色的變因，再加以研究與探討。

七、 研究（二）之一：討論及確認選定要研究的變因，進而設定變因。從研究（一）中，找出『較』具影響小提琴琴音的因素，做為再進一步研究的變因，並研究其資料。

此表來源：研究（一）結果分析之整理

| | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|------------|---------|
| 不同材質的琴弦 | 不同等級的琴身 | 不同尺寸的琴身 | 不同等級的琴弓 | 不同材質肩墊、止滑墊 | 不同材質的松香 |
| 組合1 | 組合2 | 組合3 | 組合4 | 組合5 | 組合6 |
| 極有差異 | 略有差異 | 極有差異 | 略有差異 | 略有差異 | 明顯有差異 |

由研究（一）之六發現『較』影響小提琴琴音，有『不同材質的琴弦』、『不同尺寸的琴身』和『不同材質的松香』，其中『不同尺寸的琴身』，對小提琴的音色，極有差異，但資源有限，故捨棄對不同尺寸的琴身進一步研究。

（一） 收集松香與琴弦資料

1. 松香的比較

松香對一位演奏者來說，是相當重要的，合適的琴弦配上合適的松香，會讓演奏者在表演時，更加得心應手。

松香顏色之深淺取決於該松香松脂採集的季節，晚冬、初春採集的松脂，在提煉硬化後成『金黃或琥珀色』，而夏季、秋季採集的松脂在做成松香後則呈『深色』，淺色的松香一般比深色的堅硬些，淺色的松香一般呈現黃橙色、琥珀色，質地較堅硬、乾爽，能使琴弓較為滑順，在演奏中不易卡住。多用於小提琴及中提琴，或是濕氣較重的國家、季節。深色的松香一般呈現酒紅色、深棕色，質地較軟、黏稠，能使弓更具摩擦力，演奏快速強節拍的曲子時相對較輕鬆。多用於大提琴及低音大提琴。另外，有些生產商還在松香上添加一些金屬成分如金、銀、鉛、銅……細粉末，這些物質會改變松香的性能，使琴弦的音色有所改變。松香的配方，是各家的祕密，因此，松香這項實驗，選擇同一品牌，德國松香 pirastro，價格相當，不同型號的松香做基本研究，再選擇一款一樣是金粉的松香，加金粉的松香，能輕而易舉地使琴弦在共鳴時達到最佳音調。

此次實驗所選的 pirastro 松香，由硬到軟的包裝顏色分別為：黑松香—橘松香—紅松香—綠松香—特殊松香，再加上和橘松香同為金色混合金粉松香的 Mabsa Andrea Original 金松香，做為本次實驗的松香。

| 松香 | | |
|--------------------------------|--|---|
| Schwarz (黑松香) | 黑色松香。深色、硬度最硬的松香，黏性偏黏，專為鋼弦設計。天氣熱時使用可以有較佳音色。 |  |
| Oliv / Evah Pirazzi (綠松香) | 深橄欖色松香。相對較柔軟，粉塵少，容易發聲，黏性佳（附著力好），音量大，雜音少。非常適合尼龍弦。 |  |
| Tonica (紅松香) | 金屬橙色松香。中等硬度，黏性適中（附著力適中），音色明亮。專為尼龍弦計設的松香。 |  |
| Goldflex (橘松香) | 琥珀色，金色混合金粉松香。硬度稍硬，黏性偏黏（附著力強），音色明亮甜美飽滿，亮麗有質。適合各種弦。 |  |
| Evah Pirazzi Gold (棕松香) | 紅棕色松香。相對較軟，粉塵少，聲音大，黏性好（附著力強），噪音低。尼龍弦，鋼弦均可使用。是 Pirastro 最頂級松香 |  |
| Mabsa Andrea Original (金松香) | 獨家採用漸層堆疊技術，特殊混合松香和金粉，使金粉能非常均勻擴散松香的每個角落，讓使用者更輕易塗抹，讓音色上更出色。 |  |

2. 琴弦的比較





小提琴弦廠牌眾多，可以根據曲目的不同，選擇合適的琴弦以達到更好的效果。琴弦，所用材料不盡相同，每一種琴弦都有它自己的調性，反應靈敏度。而最細的E弦大多為鋼弦材質，再用一些金屬包覆，如：鋁，銀，鎢，銅，金，鈦，或白金。同樣長度的弦，弦的粗細會影響諧振頻率，所以高音弦比較細，愈趨向低音弦就愈粗，而A弦與E弦最大的差別，在於音高。由於E弦可選擇的材質較多，所以此次實驗，選擇同一廠商、價格相當、包覆不同材質的OPTIMA琴弦為主，OPTIMA琴弦有：鋼弦、特殊鋼弦、銅鋼弦、金鋼弦，再加上弦樂團老師們的愛用弦OPTIM鎢鋼弦，做為研究。E弦的音頻大約為：659HZ上下。

八、 研究（二）之二：設計實驗組合內容及研究步驟。根據研究（二）之一，探討影響小提琴聲音的變因，作為此實驗的應變變因，並擬定研究步驟。

（一） 設計實驗組合

1. 實驗組合一：同材質的弦（1.鋼弦、2.特殊鋼弦、3.銅鋼弦、4.金鋼弦、5.鎢鋼弦）與不同材質松香（黑松香、綠松香、紅松香、橘松香、棕松香、金松香）組合成五種組合。
2. 實驗組合二：同材質的松香（1.黑松香、2.綠松香、3.紅松香、4.橘松香、5.棕松香、6.金松香）與不同材質的弦（鋼弦、特殊鋼弦、銅鋼弦、金鋼弦、鎢鋼弦）組合成六種組合。

（二） 研究步驟

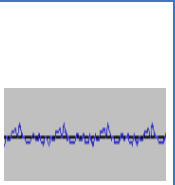
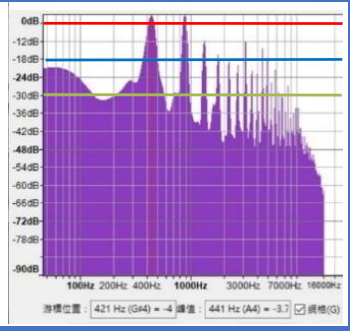
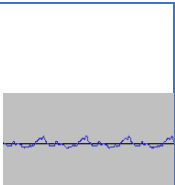
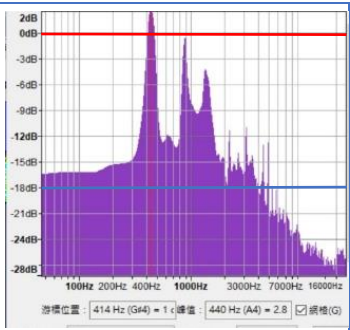
| 研究（二）實驗步驟 | | 錄製E弦空弦音檔前的步驟 | |
|--|----------|---|--|
| 1.錄製空弦E音檔前的準備 (松香在琴弓上塗抹5次，來回共10次；在同一地點與空間、同一位置錄製音檔。) 2.拉E弦並錄製音檔 3.清潔弓毛 4.重覆前面三個步驟，直到每個實驗組合完成 5.將音檔透過Audacity軟體轉換成頻譜圖 6.分析頻譜圖 | 1. 換弦 |  | |
| | 3. 琴弓擦松香 |  | |
| | 2. 調音 |  | |
| | 4. 準備拉E弦 |  | |

九、 研究（二）之三：分析『頻譜圖』。將錄製的音檔輸入 Audacity 軟體中，轉換成『頻譜圖』，再加以分析及研究，頻譜圖分析方式同研究（一）。

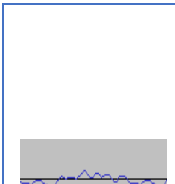
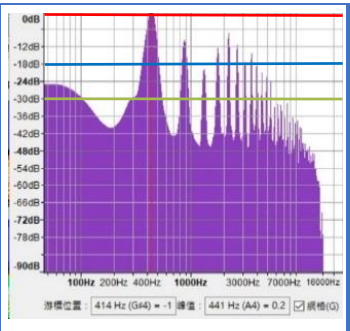
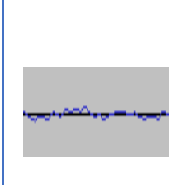
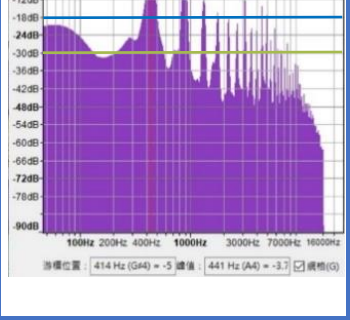
伍. 研究結果

一、 研究（一）琴弦、琴身、琴弓、肩墊、松香

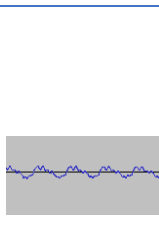


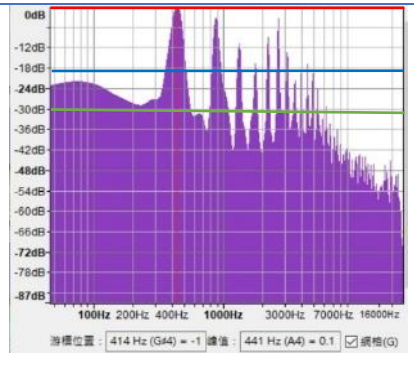
（一） 變因（一）不同材質的弦：

| | 波形圖 | 頻譜圖 | 分析結果 |
|-----|--|--|---|
| 尼龍弦 |  |  | 二個實驗組合的波形與頻譜皆有差異。尼龍弦在 40-60 HZ 時，像山丘一樣，故琴聲豐潤澎湃，在基頻過後，泛音較多且長，顯示出聲音是較為飽滿柔和，在低頻泛音時，與基頻旗鼓相當，故聲音厚實有力，在高頻泛音時，泛音長度長且長度相差不大，故聲音穿透力強。反之，鋼弦在 40-60 HZ 時，如平地般，聲音的鋼絲味明顯、聲音緊細焦乾，不耐久聽，在基頻過後，泛音較短，則聲音顯示為較粗而有力。弦的材質不同，音色也差異大，難怪老師們要大家選擇「尼龍弦」。 |
| 鋼弦 |  |  | |

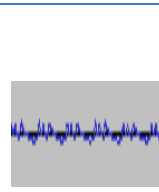
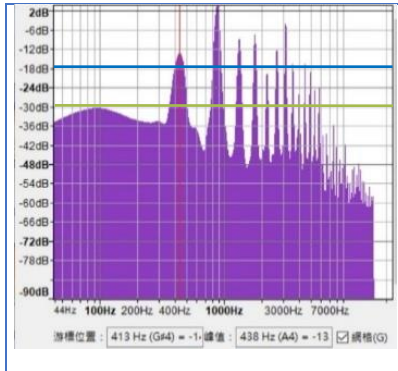
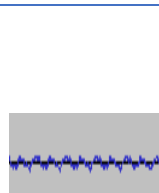
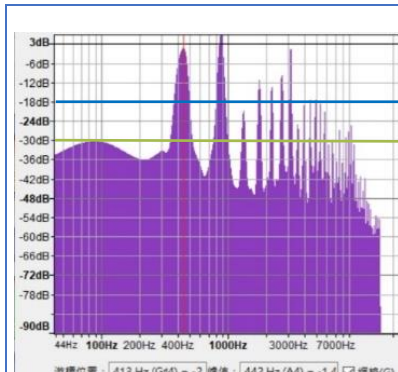
（二） 變因（二）不同價位等級的琴身：

| | 波形圖 | 頻譜圖 | 分析結果 |
|-----------|---|---|--|
| 3/4 三萬現代琴 |  |  | 二個實驗組合的波形與頻譜皆有差異。古琴在 40-60 HZ 時，波度較現代琴圓滑，故琴聲也較現代琴豐潤澎湃。在基頻過後，古琴的泛音高度和現代琴相較下，與基頻高度較相近，顯示出古琴的聲音會比現代琴的聲音較為飽滿柔和。在低頻泛音時，古琴的泛音高度與基頻幾乎一樣長，故古琴的聲音也會較現代琴厚實有力。在高頻泛音時，古琴泛音長度變短速度較緩慢，故古琴聲音的穿透力較現代琴強。總結：現代琴顯示出聲音是較明亮清脆，古琴聲音則較渾厚有共鳴，從圖上看起來，二把琴的差異不大，對初學者而言，現代琴就足夠學習了。 |
| 3/4 十二萬古琴 |  |  | |

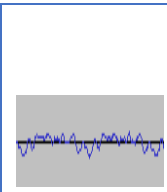
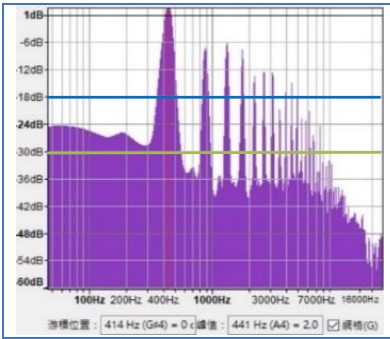
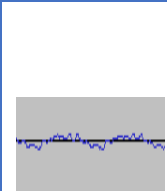
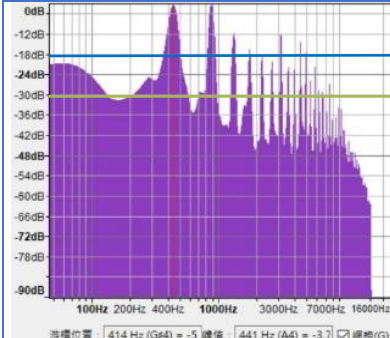
(三) 變因 (三) 不同尺寸的琴身：

| | 波形圖 | 頻譜圖 | 分析結果 |
|----------|---|--|--|
| 1/2 的小提琴 |  |  | 二個實驗組合的波形與頻譜皆有差異。提琴老師說，琴愈大，音色會愈穩定。從這二張圖，就可以明顯看出，3/4 琴在基頻過後，依然有許多的泛音，豐富的泛音，聲音聽起來就洪亮無比、穿透力強，反之，1/2 琴在基頻過後，沒什麼泛音且極速下降變短，甚至沒有什麼泛音，故聲音發虛、發顫、不夠飽滿。難怪比賽前，指揮老師會希望大家能換大一點的琴就換大一點的琴。 |
| 3/4 小提琴 |  |  | |

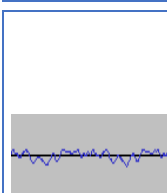
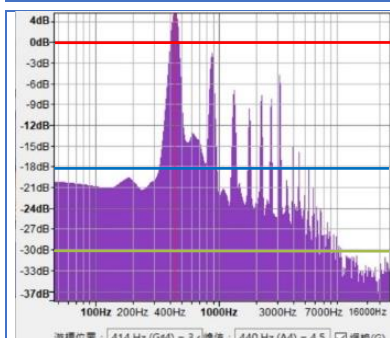

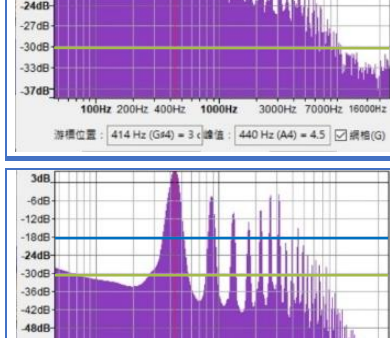
(四) 變因 (四) 不同等級的琴弓：

| | 波形圖 | 頻譜圖 | 分析結果 |
|------------------------|---|---|---|
| 一般 1/2 尺寸弓 (950 元) |  |  | 二個實驗組合的波形與頻譜皆有差異。兩把弓在 40-60HZ 時，幾乎長的一模一樣，但在基頻過後，進階弓的泛音較一致，故聲音穿透力強。比賽時，弓講求就是要讓音色穩定且大聲，進階弓的頻譜圖，在高頻泛音，比一般弓，明顯高度較一致，故進階弓音色較為穩定豐富，另外，從分貝來看，進階弓的基頻分貝較一般弓大，符合比賽時，要大聲的要求。泛音 = 多個整數倍基音的疊加，進階弓，高低頻泛音分佈相當，所呈現出就是較完美的聲音。故一般弓的聲音是較凝重且悶，反之，進階的聲音則是較有層次且較豐富。 |
| 進階 1/2 尺寸弓 (4000 元) |  |  | |

(五) 變因(五) 不同材質的肩墊：

| | 波形圖 | 頻譜圖 | 分析結果 |
|-----------|---|---|---|
| ABS 肩墊 |  |  | <p>二個實驗組合的波形與頻譜皆有差異。肩墊的作用就是穩定提琴，穩定琴音。木頭肩墊，在 40-60HZ 時，比 ABS 肩墊更像山丘，故木頭肩墊的琴聲較 ABS 肩墊豐潤澎湃，在基頻過後，木頭肩墊泛音較穩定，長度較一致，顯示出聲音是較為飽滿柔和，木頭肩墊在低頻泛音時，與基頻一致，故聲音厚實有力，木頭肩墊在高頻泛音時，泛音長度長且長度相差不大，故聲音穿透力強。雖然二者差距不大，但木頭肩墊顯示聲音還是較為穩定豐富。</p> |
| 木頭 肩墊 |  |  | |

(六) 變因(六) 不同材質的松香：

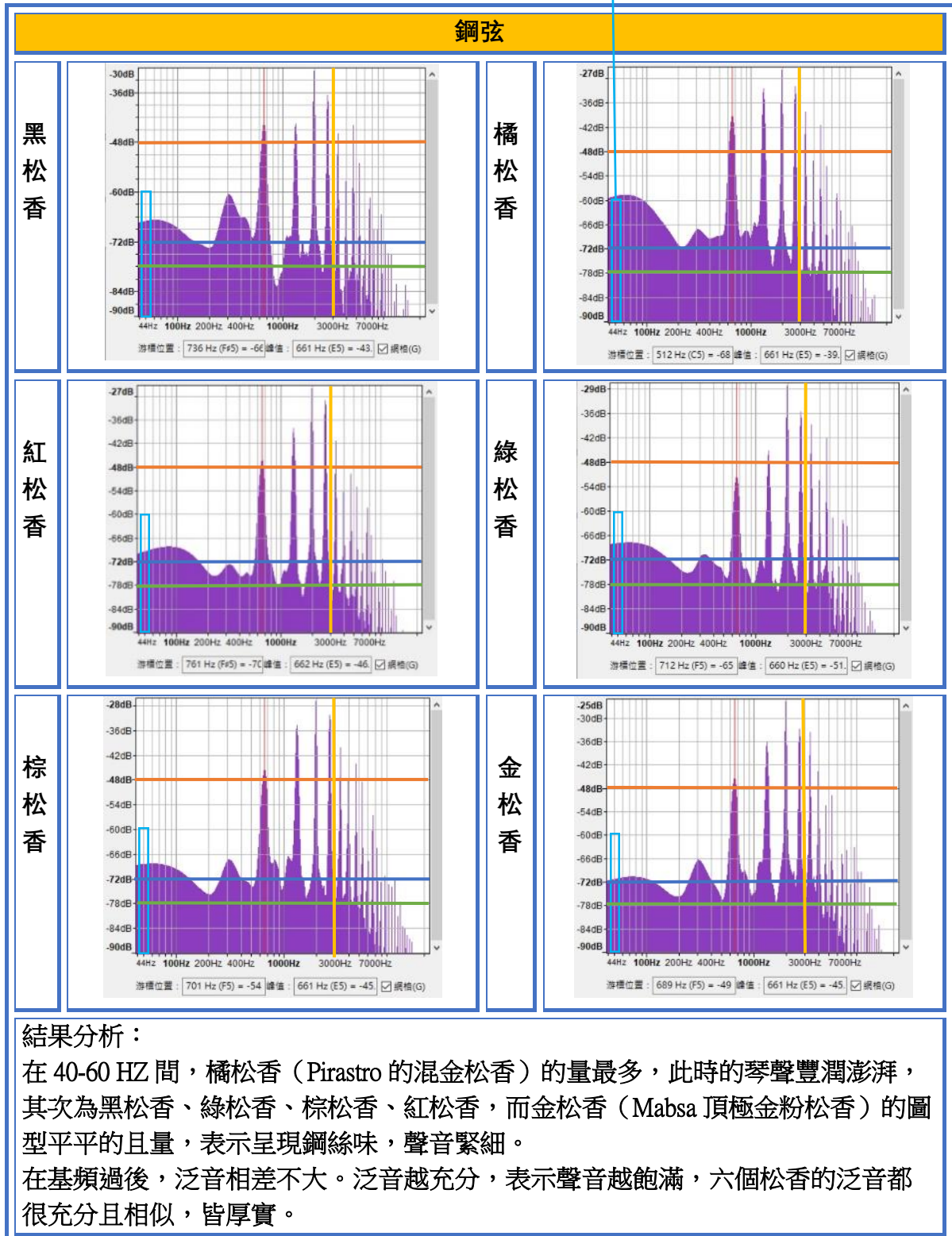
| | 波形圖 | 頻譜圖 | 分析結果 |
|--------------------|---|---|---|
| 100 元 松 香 |  |  | <p>二個實驗組合的波形與頻譜皆有差異。松香是擦在弓毛上，讓弓毛能在琴弦上運行，讓琴弦上的著力點被破壞，讓琴弦因此受到摩擦而產生震動就會發聲了，所以，松香在這個過程中起著至關重要的作用，其好壞及種類對提琴發音是有相當程度的影響。二個圖相較之下，貴的松香，基頻過後的泛音相差較小且較一致，在高頻泛音也沒有極速下降，相較之下，貴的松香音色較穩定且聲音較飽滿柔和。</p> |
| 380 元 松 香 |  |  | |

二、 研究(二) 松香與琴弦

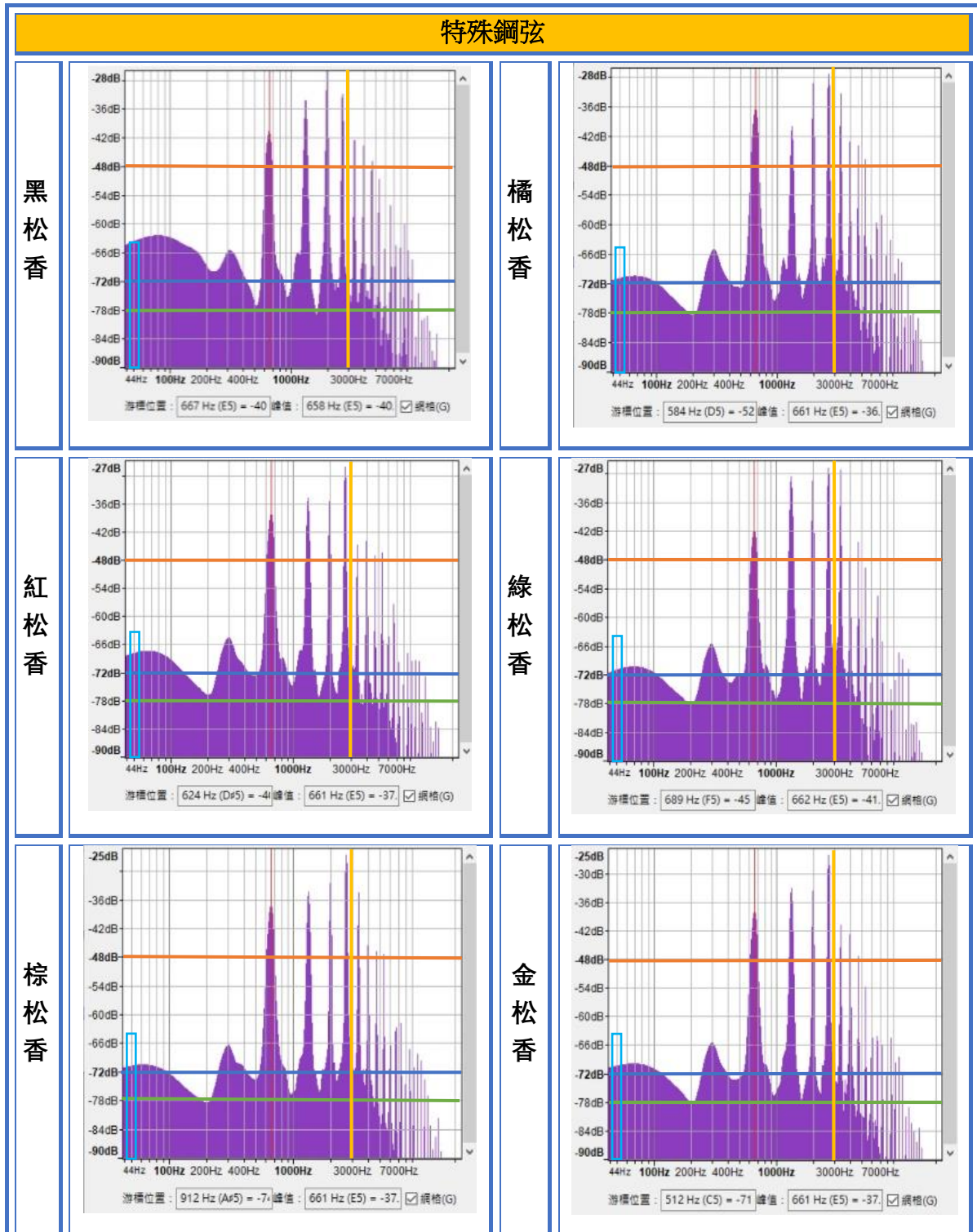
(一) 變因(一) 不同材質的松香實驗組合一

1. 鋼弦與不同材質的松香

40-60 Hz 間的最高量，做為基準，讓其他松香較易做比較。



2. 特殊鋼弦與不同材質的松香

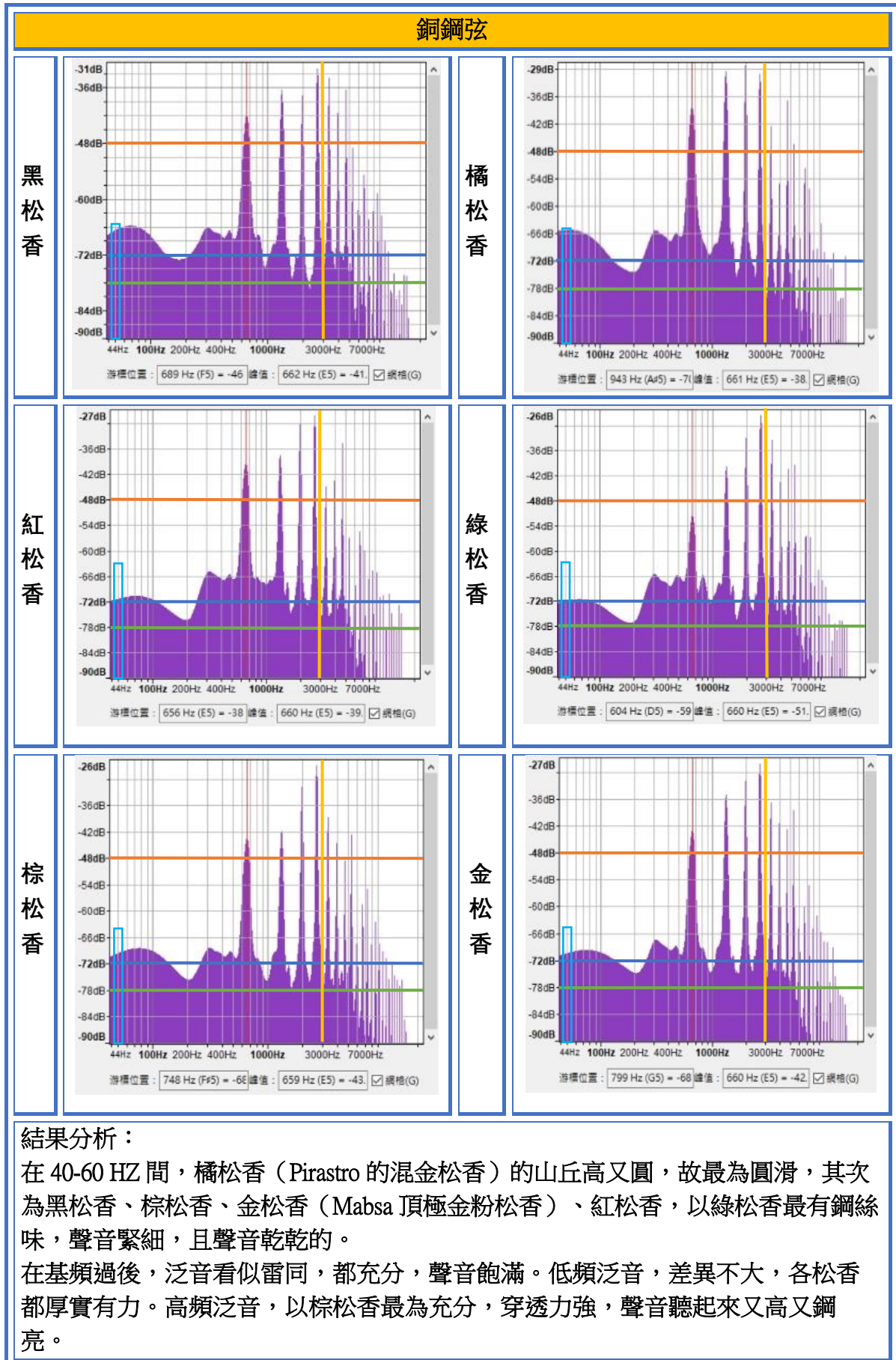


結果分析：

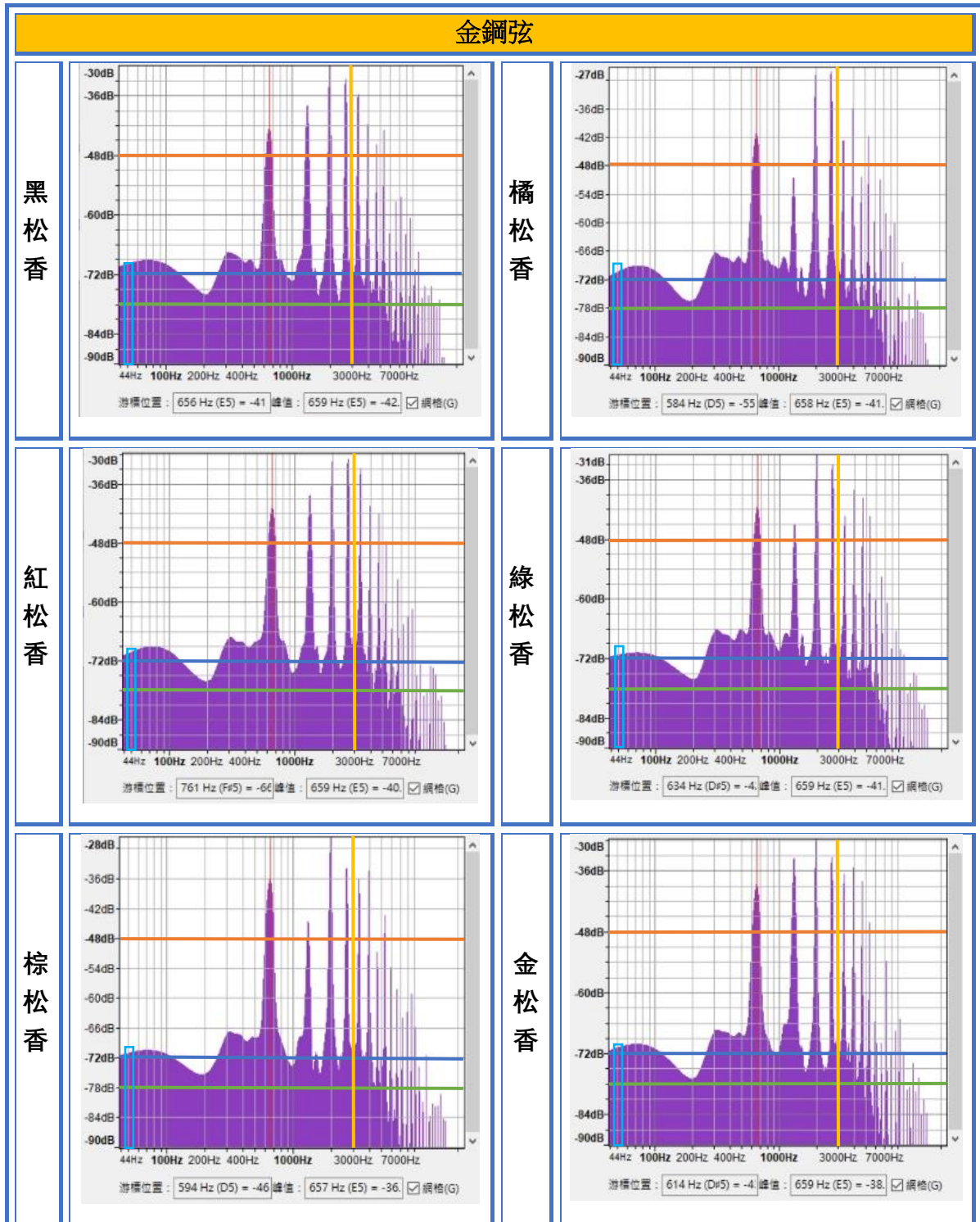
在 40-60 HZ 間，以黑松香的山丘最為高而圓滑，此時的琴聲豐潤澎湃，其次為紅松香、棕松香、金松香、綠松香、橘松香，橘松香最不耐久聽。

在基頻過後，各松香泛音皆充分，都飽滿柔和。在高頻泛音，表現幾乎不相上下，聲音皆為明亮且高的。在特殊鋼弦的實驗中，在基頻前，圖型比較不同，基頻後，圖型相似度高。

3. 銅鋼弦與不同材質的松香



4. 金鋼弦與不同材質的松香

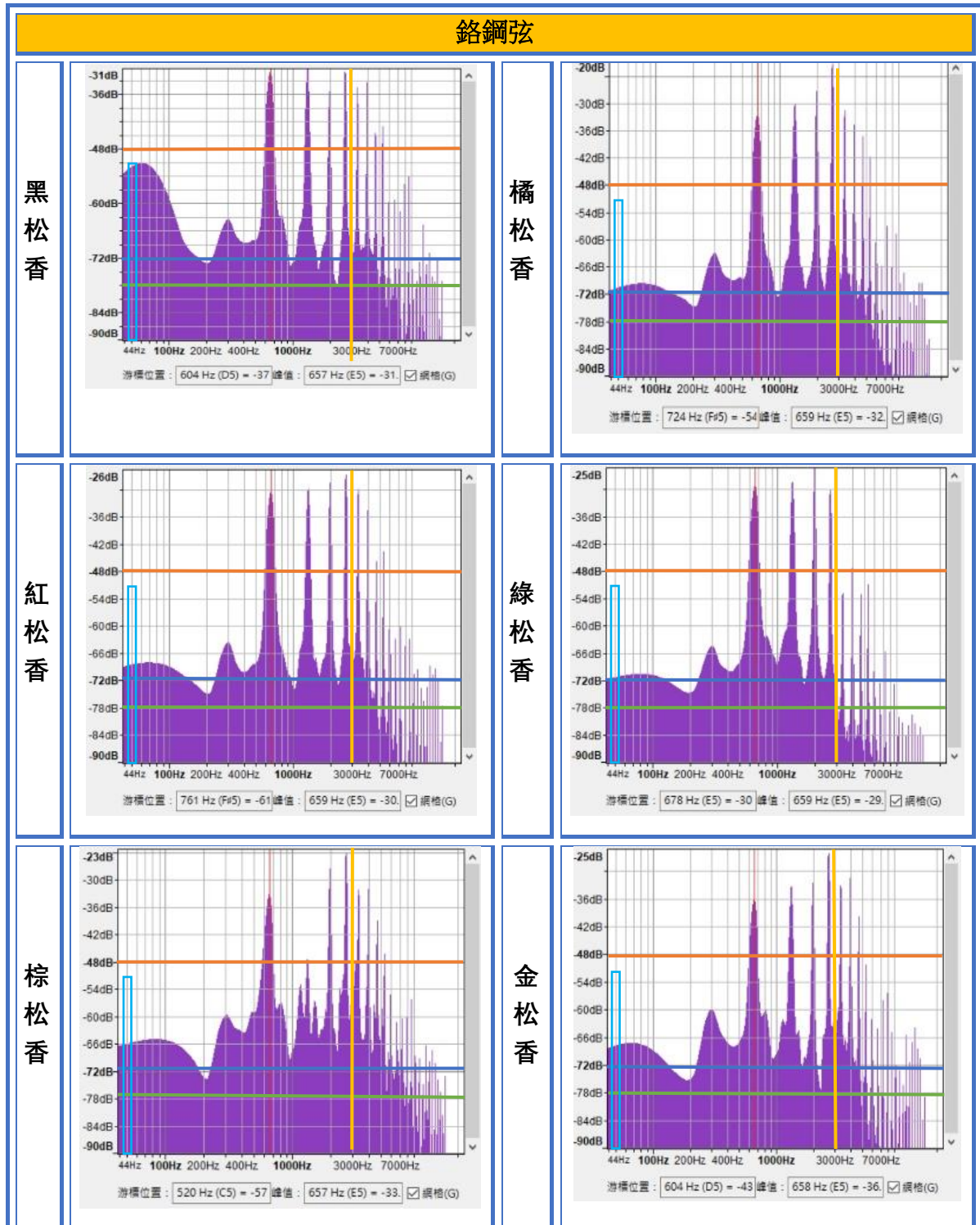


結果分析：

在 40-60 Hz 間，以黑松香最圓滑，琴聲豐潤澎湃，其次為金松香（Mabsa 頂極金粉松香）、紅松香、橘松香（Pirastro 的混金松香）、棕松香、綠松香，綠松香，表現最有鋼絲味，聲音緊細。

在基頻過後，泛音都多，聲音飽滿柔和，但第二泛音，各個松香表現皆不太一樣。在低頻泛音時，金松香的泛音與基頻長度較相似，聲音聽起來，厚實有力。在高頻泛音，則表現幾乎不相上下，聲音較為明亮且穿透力強。

5. 銘鋼弦與不同材質的松香



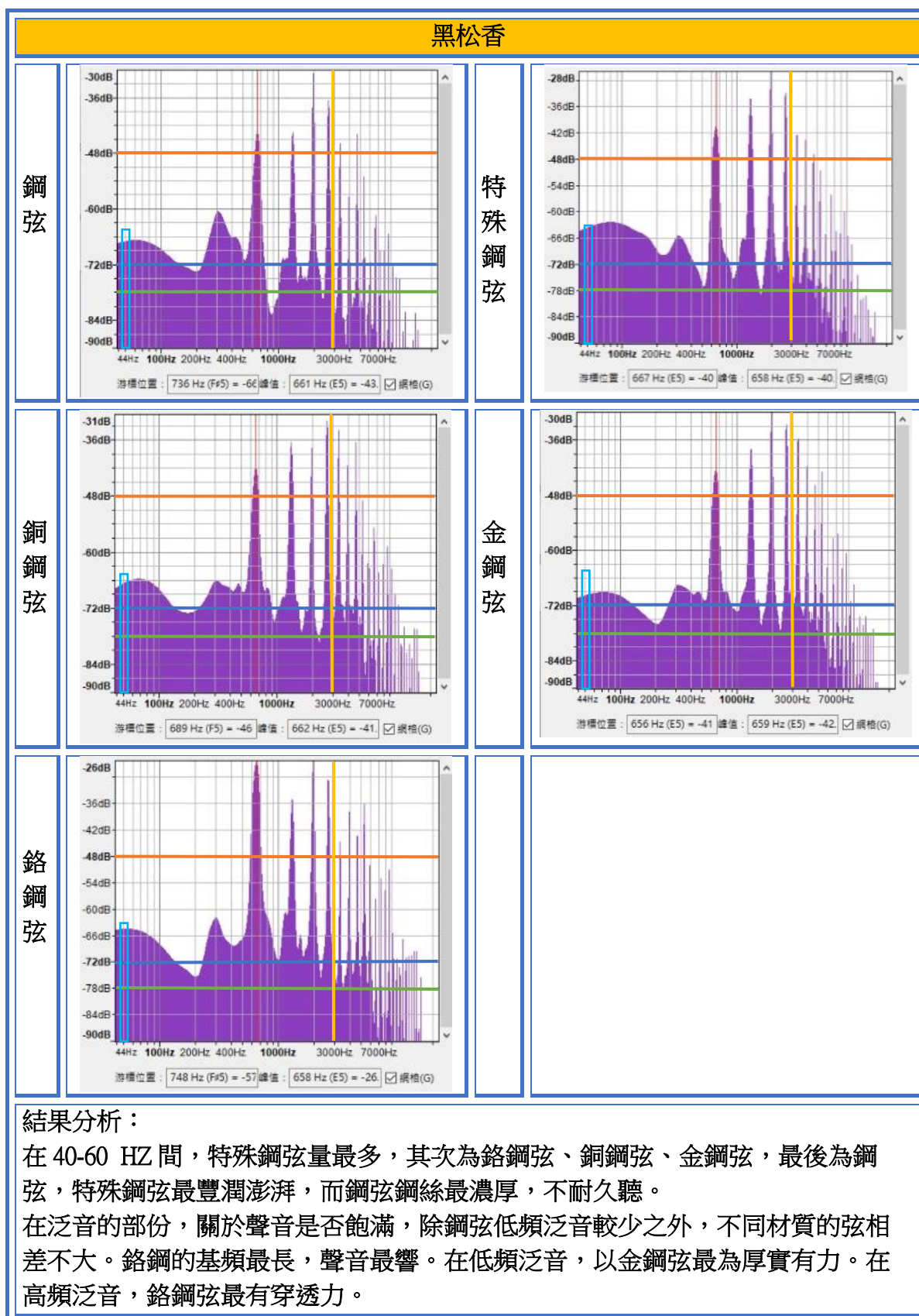
結果分析：

在 40-60 HZ 間，以黑松香呈現量最多，其次為棕松香、金松香（Mabsa 頂極金粉松香）、紅松香、橘松香（Pirastro 的混金松香），最後為綠松香，黑松香的琴聲最為豐潤澎湃。

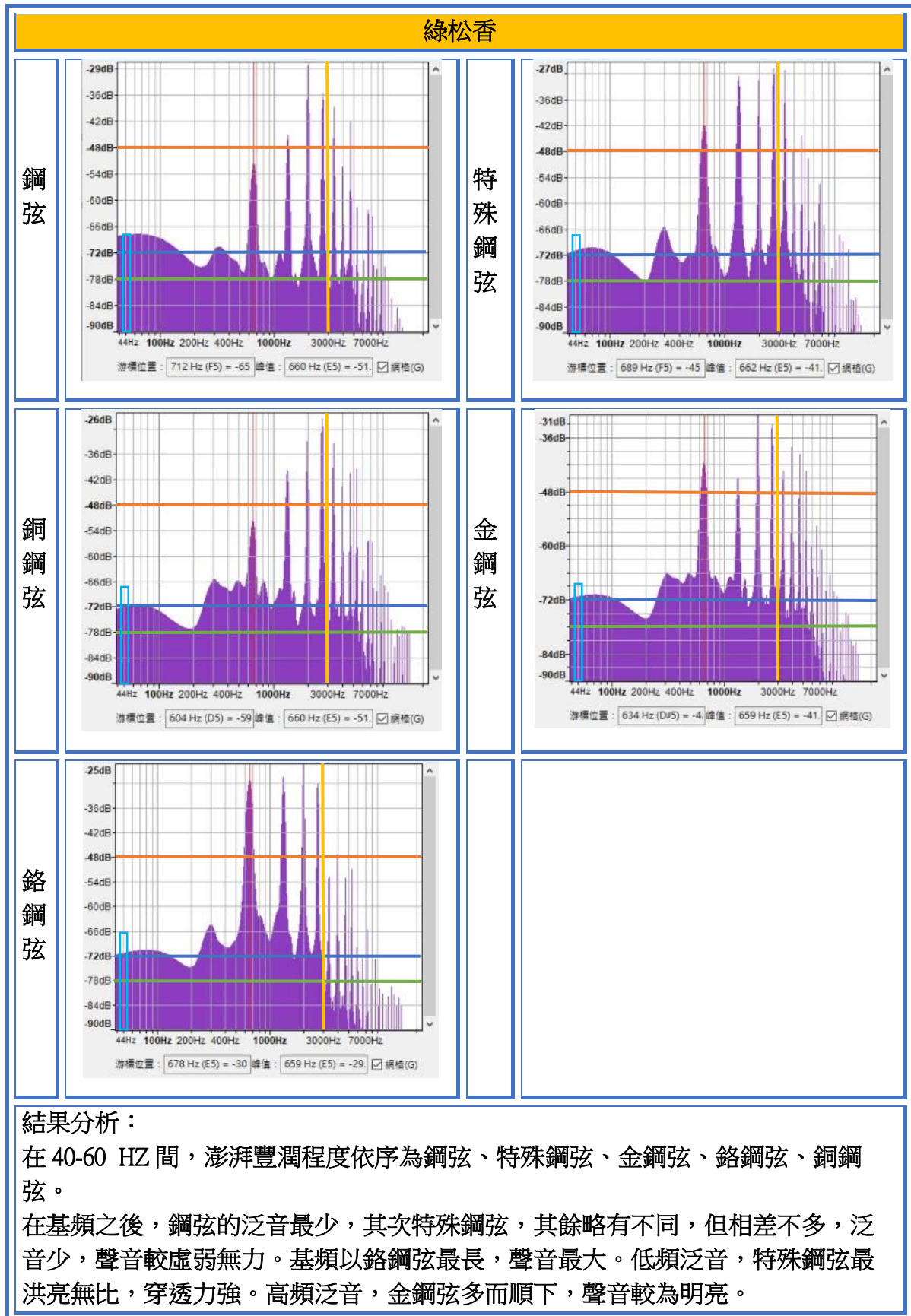
在基頻過後，泛音的部份，較多的為金松香，綠松香略少。在低頻泛音時，紅松香、橘松香和金松香略相似，厚實有力，棕松香較單薄。在高頻泛音，紅松香、橘松香和金松香差異不大，聲音較為洪量。

(二) 變因 (二) 不同材質的鋼弦實驗組合二

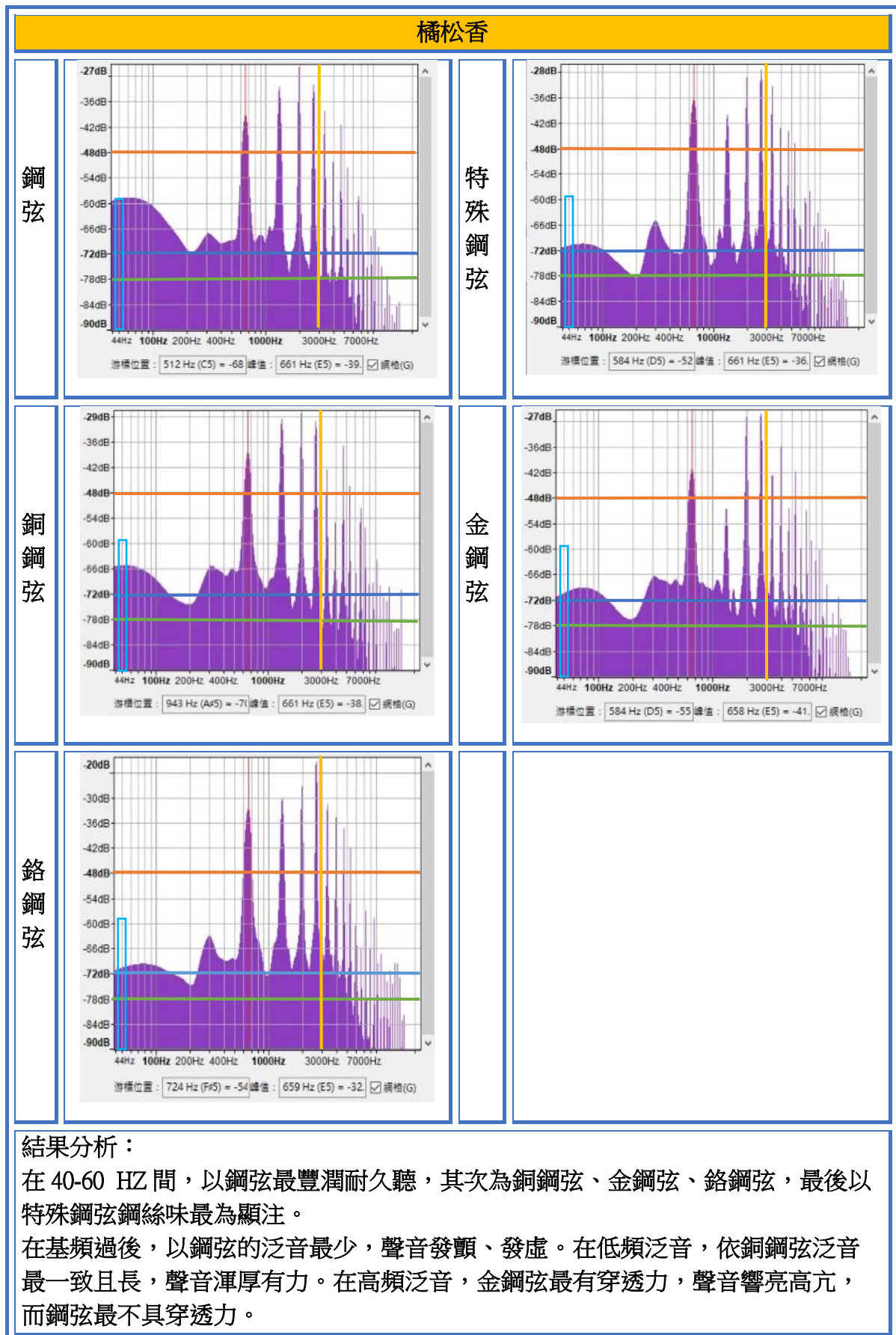
1. 黑松香與不同材質的琴弦



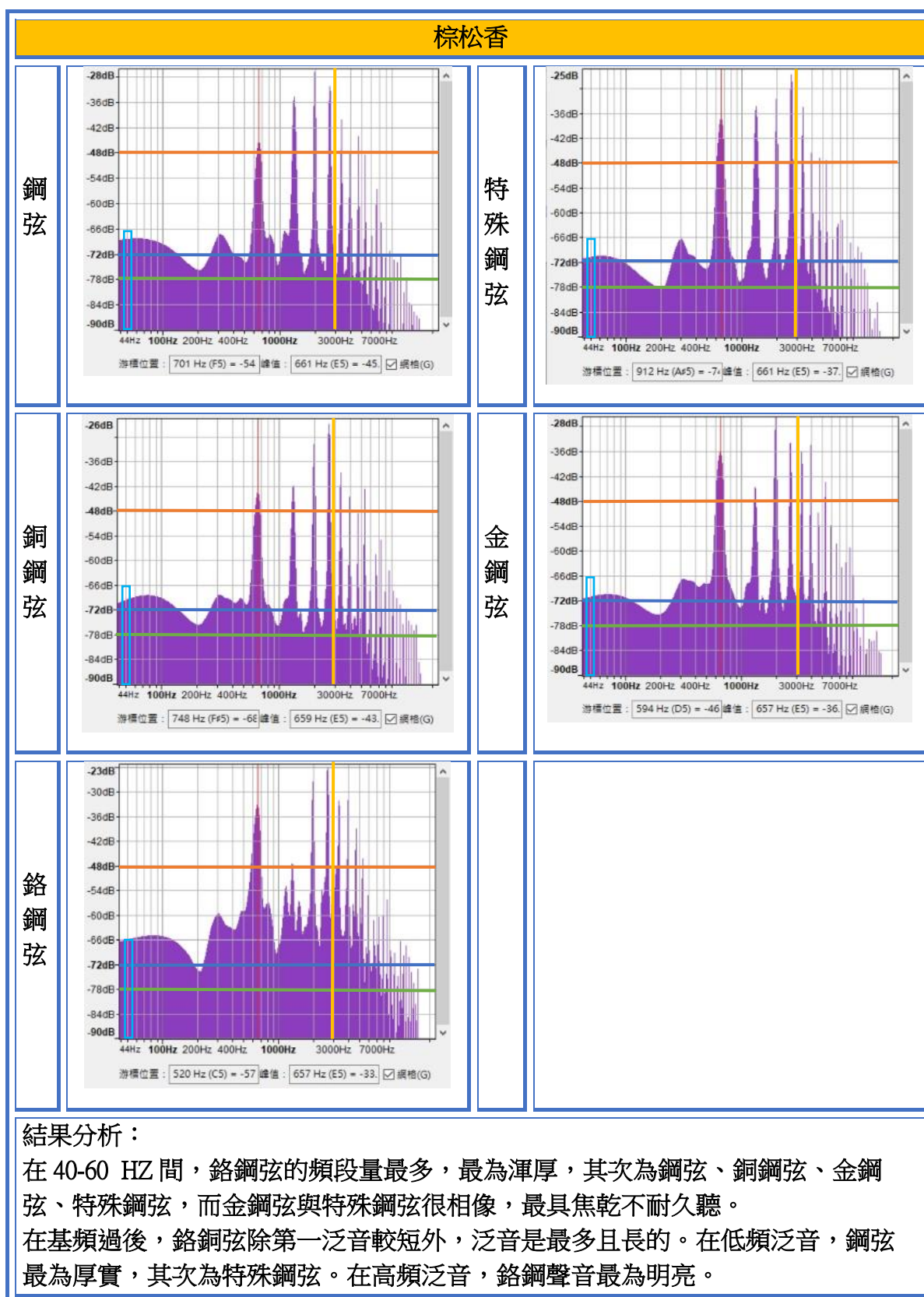
2. 綠松香與不同材質的琴弦



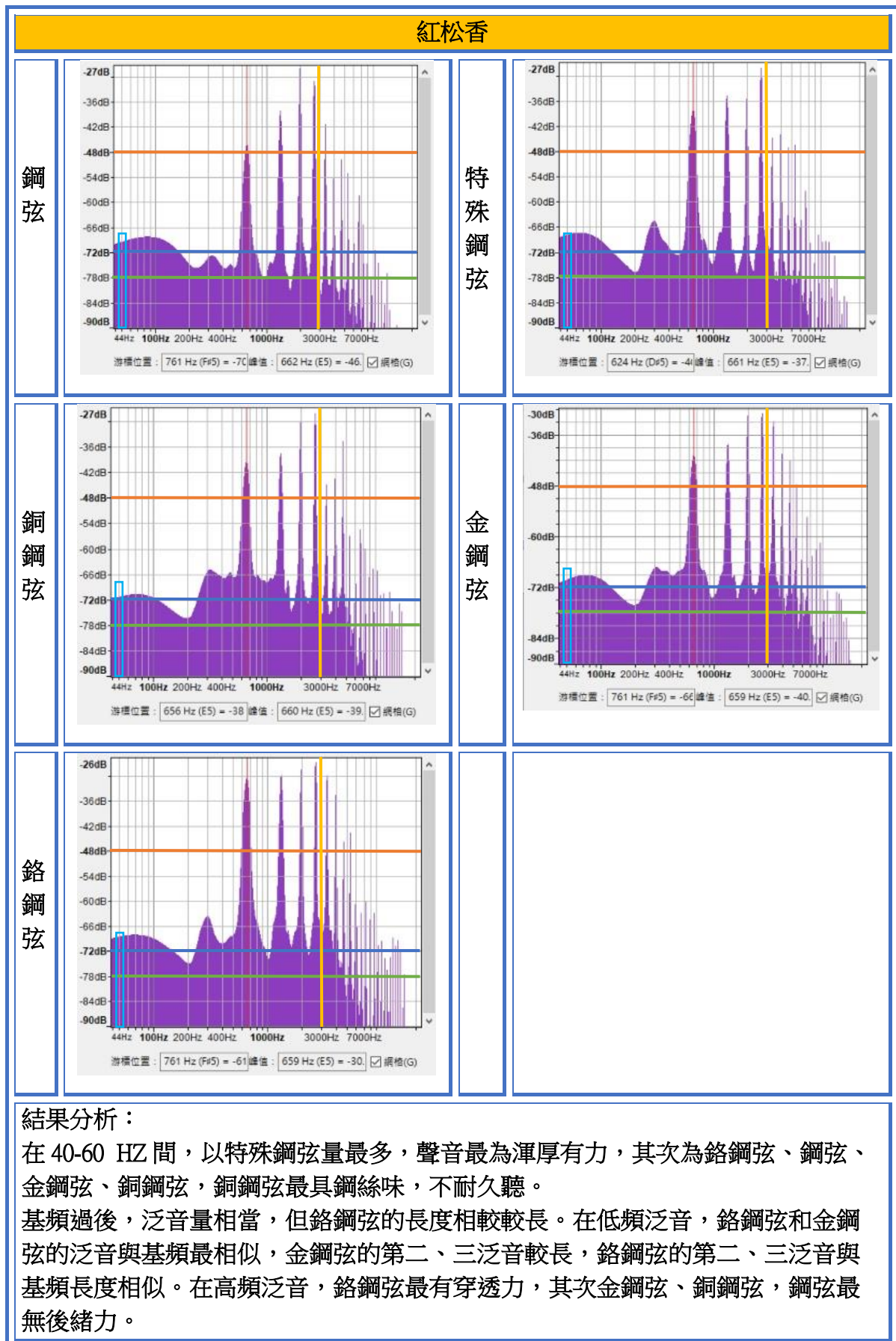
3. 橘松香與不同材質的琴弦



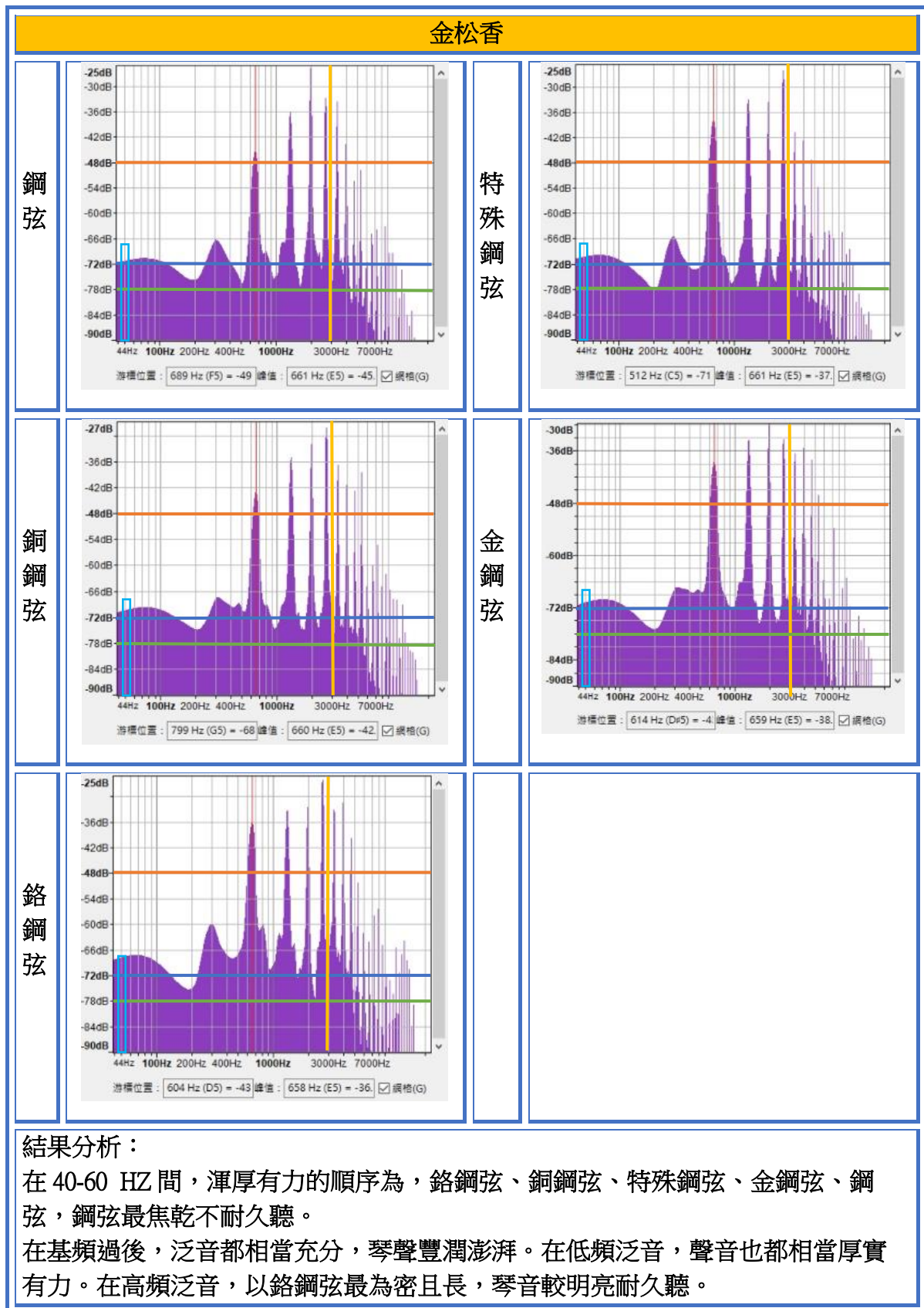
4. 棕松香與不同材質的琴弦



5. 紅松香與不同材質的琴弦



6. 金松香與不同材質的琴弦



陸. 討論

一、 研究（一）之一：文獻探討與資料研究。

根據搜查的資料顯示，影響琴音的因素有琴的尺寸、琴的年代、製琴木板的乾燥成度、琴面的塗料、音柱的位置.....等。



二、 研究（一）之二：實際動手製作提琴。

在製琴的當中，製琴室的老師教我許多關於小提琴的原理，其中，讓我最有感覺的是，在製琴的課程中，組裝小提琴，我發現面料的不同，同尺寸的提琴所發出的琴音，明顯有差別，在試拉的過程中，塗較少壓克力顏料的琴（左琴），音色較響亮。



三、 研究（一）之三：討論及確認選定要研究的變因。

透過資料與實作，有些部份是現階段我無法做實驗的，所以，我選擇了一些我可以做研究的因素作為研究的變因，我有二把琴同尺寸不同等級的琴，我有換下來的1/2 的琴，我有製作提琴時送的便宜的松香，我有目前使用的較貴松香，我有二把不一樣等級的琴弓……跟一些我唾手可得的琴弦與肩墊，將它們選定為此次實驗的研究變因。

四、 研究（一）之四：設計實驗組合內容。

本次實驗的變因確認了，將它們分類，琴有三把，等級一樣的有二把，松香有二個，不同材質的琴弦有二個，不同材質的肩墊也有二個，實驗組合就可分為 6 組。

| 操作變因 | | |
|-----------|-----------|-----------|
| 1.不同材質的琴弦 | 2.不同等級的琴身 | 3.不同尺寸的琴身 |
| 4.不同等級的琴弓 | 5.不同材質的肩墊 | 6.不同材質的松香 |

五、 研究（一）之五：分析『頻譜圖』。

依照每一個操作變因，確認每一個實驗組合的波形與頻譜是否有差異，再根據文獻來分析音色的差異，也能藉此分析看出且明白小提琴老師為什麼要換琴或更換配件的原因。

（一）實驗結果比較彙總表：

| 不同材質的琴弦 | 不同等級的琴身 | 不同尺寸的琴身 | 不同等級的琴弓 | 不同材質肩墊、止滑墊 | 不同材質的松香 |
|---------|---------|---------|---------|------------|---------|
| 組合1 | 組合2 | 組合3 | 組合4 | 組合5 | 組合6 |
| 極有差異 | 略有差異 | 極有差異 | 略有差異 | 略有差異 | 明顯有差異 |

（二）觀察圖型後建議：初學者在選購小提琴時，應更換尼龍弦，隨著技巧愈來愈進步，身高亦愈來愈高，更換較大的提琴是必要的。至於琴本身外的配備，建議可以使用中等等級的松香（380 元是中等松香），可以讓琴音多一點的穩定與澎湃，可隨著需求的不同，再添購更好的松香或木頭肩墊。

（三）在其他因素不改的情況下，只替換下列因素，依據本實驗研究結果，提琴發出的音色確實會根據不同因素而有所改變，基頻過後的泛音也會有所不同而造成不同音色。

| 在其他因素不改的情況下 | |
|---|--|
| <p>琴弦不同</p> <p>會造成提琴音色的差異，且根據圖型顯示，尼龍弦音色較柔和且較有穿透力。</p> | <p>小提琴老師為什麼要更換呢？</p> <p>在我學琴的初期，老師建議我，同一把琴，要讓提琴的音色比較悅耳，建議更換尼龍弦，另外，鋼弦的音色比較硬，也確實是如此，一換上尼龍弦，琴音瞬間變好聽。使用的心得就跟圖型一樣，尼龍弦的音色會較鋼弦的音色更為美妙。</p> |
| <p>琴身等級不同</p> <p>會造成提琴音色的差異，且根據圖型顯示，古琴音色較穩定且豐潤澎湃，讓拉琴者有較大的想像空間。</p> | <p>小提琴老師為什麼要更換呢？</p> <p>在比賽前，指揮老師跟大家說，一把等級較高的琴，會讓孩子有無限的想像空間，同樣的技術，使用不同的琴，發出的音色就會不一樣，等級較高的琴帶來的琴音是比較低階的琴所無法呈現的，經過這次的實驗，也確實證明了指揮老師說的，等級較高的琴，音色較為穩定澎湃。</p> |

| | |
|----------------------|---|
| <p>琴身尺寸不同</p> | <p>小提琴老師為什麼要更換呢？</p> <p>我從 1/2 小琴一路換到 3/4 琴，每一次換琴，我都有很深的感觸，就是我音準怎麼變不準了？為什麼呢？因為琴身愈大，所呈現的”絕對音”愈不模糊，原本在小琴的音是比較相對的音，因為音箱能共鳴的空間太小，所能發出的音，也較有限制，聲音也會較小聲，琴愈大，聲音也愈大，音色也較穩定，故與此研究一致。</p> |
| <p>琴弓等級不同</p> | <p>小提琴老師為什麼要更換呢？</p> <p>弓毛的多少，是影響聲音大小與音色變化的原因之一，一般弓的弓毛較進階弓的弓毛少一點，桿子拉弦的緊度也小一點，一般弓毛，較容易造成在用力拉弦時，斷掉弓毛，讓弓毛較容易減少，而影響聲音的大小與延續性，透過圖型，更證明了此項變因是成立的。</p> |
| <p>肩墊材質不同</p> | <p>小提琴老師為什麼要更換呢？</p> <p>為了這次的實驗，特地準備了木製肩墊，以前總聽學長姐說，好的肩墊能讓琴更穩定，讓琴音更加悅耳，換上木製肩墊後，我從此就愛上了它，它不但讓我的琴減少晃動，還讓我拉琴時更省力，果然配備的升等是必要的。</p> |
| <p>松香材質不同</p> | <p>小提琴老師為什麼要更換呢？</p> <p>好的松香，不需要一直塗抹，就能讓聲音持續拉出好的音色，較便宜的松香，則需不斷塗抹，在一場音樂會中，是沒辦法一直抹松香的。此實驗的圖型更顯示出，拉琴技術愈好，愈要使用好一點的松香，讓自己在拉琴上的表現更加穩定。</p> |

六、 研究（一）之六：哪一些變因可以再深入探討與研究。

哪一些變因可以再深入探討與研究呢？科學月刊提到，『如果說科學的實際功用是解決問題，那麼一份追根究底的堅持，就是解決問題最重要的關鍵，講的輕鬆一點，其實就是盡量讓生活中的問題都能有個答案。』，對我來說，可以用科學的方法來觀察音色實在是件很棒的事，雖然無法很精準的分析這些音色，但大數據的證據，能讓我更清楚，如何搭配會更好。音樂專家，能用耳朵聽出，音色的不同，並用其特性來演奏不同的曲子，例如：使用法國松香—適合拉巴哈、莫扎特、史特勞斯，或者室內樂……等。使用英國松香—適合拉俄羅斯派的帕格尼尼、勃拉姆斯、柴可夫斯基、或者任何瘋狂的現代作品……等。這些都是用耳朵聽來的，加上學習過程中的經驗質而

得到的。俗話說的好，工欲善其事，必先利其器。當演奏者知道如何把小提琴的音色調整到他所要的音色，就能把他所想要的音樂特色，更推上一層樓。

從上面（六）的研資資料顯示，『松香』、『琴身』跟『琴弦』，對琴的音色較具影響力！但是琴身的可變因素太多，也較不容易取得，因此，擬定『松香』跟『琴弦』，再進一步做研究。使用同一把琴、同一把弓，更換同品牌價格相當的不同材質的弦，加上同品牌價格相當的不同材質的松香，做為研究組合。外加上不同品牌一樣為金粉的松香，增加一組實驗品項。

七、 研究（二）之一：討論及確認選定要研究的變因，進而設定變因。

從研究（一）中，發現『松香』、『琴身』跟『琴弦』，對琴的音色較具影響力！也發現『琴身』要實驗研究，頗有難度，因此，以『松香』跟『琴弦』作為深入研究的實驗組合。而『松香』有許多的出產地，有歐洲的、美國的、日本的……等，松香的內容物也是商業祕密，在眾多的資料研究下，最後選擇同一個品牌Pirastro的不同材質的松香做為最主要的研究，資料顯示，加了金粉的松香，能讓聲音聽起來更為溫暖和，因此，再增加一顆不同品牌的金粉松香Mabsa頂極金粉松香與Pirastro的混金松香做分析。在『琴弦』的部份，琴弦A能選擇的材質種類太少，所以以琴弦E做為深入研究的基頻，E弦以OPTIM此品牌的選擇最多，因此以OPTIM的四種材質的弦做為主要研究，再加上此次比賽的使用弦PETER INFLED的E弦，做為實驗的組合。

八、 研究（二）之二：設計實驗組合內容及研究步驟。

將上述七、的各品項，分為二個實驗組合，每一樣實驗組合都有小組合，小組合中，擬定其中一項做為變因，再將所有小組合變因統計觀察其中的變化。實驗組合分為松香組與鋼弦組，再將些二組的變化，分析討論，找出各個琴弦與各個松香所以呈現出的各種組合的音色。

九、 研究（二）之三：分析『頻譜圖』。

（一）依不同材質的松香，進行討論：

在頻譜圖的圖型中發現，各種材質的弦，在泛音的表現都相當充分，看起差距不多，在低頻泛音與高頻泛音中，也發現相異度不大，唯有在40—60HZ間，基

頻前，圖型較為不同，因此依 40—60HZ 頻段，做為主要討論的重點，此頻段是構成琴音是否渾厚、豐潤、澎湃或是緊細、焦乾、不耐久聽。

| 在 40—60HZ 頻段，各種材質的琴弦與不同材質松香（豐潤 ←→ 焦乾） | | | | | | |
|---------------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| 鋼弦 | 橘 | 黑 | 綠 | 棕 | 紅 | 金 |
| 特殊鋼弦 | 黑 | 紅 | 棕 | 綠 | 金 | 橘 |
| 銅鋼弦 | 橘 | 黑 | 棕 | 金 | 紅 | 綠 |
| 金鋼弦 | 黑 | 金 | 紅 | 橘 | 棕 | 綠 |
| 鉻鋼弦 | 黑 | 棕 | 金 | 紅 | 橘 | 綠 |

在香松的官網的文獻中，提到『黑色松色，專為鋼弦設計』、『橘色松色，適合各種弦』、『棕色松色，尼龍弦和鋼弦均可使用』，研究（二）的小提琴 E 弦為鋼弦包覆各種材質的琴弦，故適合使用黑松香；橘松香、棕松香適合各種弦，故也適合使用。

混金松香，適合每一種琴弦嗎？橘松香（Pirastro 的混金松香）在實驗的結果中顯示，比金松香（Mabsa 頂極金粉松香），更適合各種琴弦。

（二）依不同材質的琴弦，進行討論：

各種松香，在不同材質的琴弦中，泛音都相當充分，各琴弦的頻譜圖略有不同，在基頻過後的低頻與高頻間，差異皆不大，唯有在基頻前的 40—60HZ 間，有較明顯的不同，故依據頻譜圖的資料，進行統計及探討。

| 在 40—60HZ 頻段，各種材質的松香與不同材質琴弦（豐潤 ←→ 焦乾） | | | | | |
|---------------------------------------|------|------|------|-----|------|
| 黑松香 | 特殊鋼弦 | 鉻鋼弦 | 銅鋼弦 | 金鋼弦 | 鋼弦 |
| 綠松香 | 鋼弦 | 特殊鋼弦 | 金鋼弦 | 鉻鋼弦 | 銅鋼弦 |
| 橘松香 | 鋼弦 | 銅鋼弦 | 金鋼弦 | 鉻鋼弦 | 特殊鋼弦 |
| 棕松香 | 鉻鋼弦 | 鋼弦 | 銅鋼弦 | 金鋼弦 | 特殊鋼弦 |
| 紅松香 | 特殊鋼弦 | 鉻鋼弦 | 鋼弦 | 金鋼弦 | 銅鋼弦 |
| 金松香 | 鉻鋼弦 | 銅鋼弦 | 特殊鋼弦 | 金鋼弦 | 鋼弦 |

在琴弦中，使用特殊鋼弦，建議使用黑松香或紅松香，鋼弦則使用綠松香和橘松香，鉻鋼弦則使用棕松香和金松香。

柒. 結論

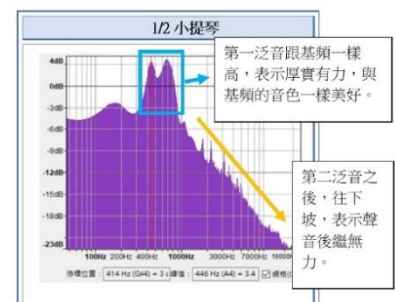
我學習弦樂器已經長達將近六年之久，但是過去未曾真正去了解小提琴是如何發聲、小提琴構造是如何組成，影響小提琴音色差異的因素有哪些……等，能在這次的實驗中，能用科學的方法看見小提琴音色的奧妙，讓我覺得很神奇，也收穫良多。

從影響琴音的因素中，了解老師所說的讓琴音變美妙的原因，到更進一步的了解松香的不同帶給音色有什麼樣的改變。再進一步，從不同材質的琴弦中，了解琴弦對小提琴的重要。從錄音室阿姨口中的頻譜圖可以分析，到實際操作、觀察與分析。這一路走來，有太多的感觸與感動。

在音樂的世界裡，只能用感覺，用耳朵，跟老師的教導中，學習經驗。這些經驗是抽象的，而今日的實驗，讓我學習到，最影響小提琴音色的主要因素有松香和琴弦……等，而淺色松香和特殊松香都適合小提琴，小提琴需要較硬較黏的松香，混金的松香會讓琴音更為溫暖柔和，包覆鎳的鋼弦，是最不受限松香限制的弦，特殊鋼弦，建議使用黑松香或紅松香，鋼弦則使用綠松香和橘松香，鎳鋼弦則使用棕松香和金松香。如果這些科學資料能夠幫助到需要的人，那就太棒了！

當一位什麼都不懂的小提琴初學者和他的家人，這些資料都是相當可貴的，所以未來，我希望能夠結合科學，將松香與琴弦的資料，用科學的方法分析，建立資料庫，讓使用者能夠透過資料庫找到適合的松香或琴弦，當使用者輸入琴弦的材質與種類，程式就能推薦合適的松香給使用者。

另外一提，在研究（一）之三，1/2 與 4/3 提琴的分析中，發現此把 1/2 提琴在短暫的音色上，表現相當傑出，但在拉長音上，卻不如預期。這把琴在小提琴老師們中，是有爭議的，指揮老師認為這一把 1/2 琴是製琴師透過聲音傳達的特質製成的，不是一把正規的好琴。在拉琴演奏時，按第一個音與第二個音時，時間是短暫的，第一個音延展的音會跟第二個剛發聲的音略為重疊，而製琴師就是利用這種聲音傳達的特性，讓聽者分



辨不出琴的音色是不耐久聽的，使聽者認為這一把琴是一把音色美好的琴，很多提琴老師因此而被蒙蔽在其中，並沒有聽出這把琴的音色是無法延續的，但透過頻譜圖，證明指揮老師的論點是對的，未來，我也希望能透過頻譜圖的科學分析，建立小提琴的檔案，讓小提琴的音色被看見，讓藝術與科學結合，甚至做出音色更美好的提琴。

捌. 參考文獻資料

- 一、「聲波的波形與頻率的關係」，張仁昌
- 二、「利用媒體教學該怎麼教—談聲音的教學」，蘇文義
- 三、「手工製琴聖經」，林殿威
- 四、「提琴的秘密」，莊仲平
- 五、第 11 屆 iT 邦幫忙鐵人賽「頻譜 (spectrum) 和頻譜圖 (spectrogram)」
網址 <https://ithelp.ithome.com.tw/articles/10228694>
- 六、網路文章「看得見的數位聲音」
網址 <http://kiwiphysics.blogspot.com/2015/12/blog-post.html>
- 七、網路文章「聲音分析好用的工具」
網址 <https://www.wpgdadatong.com/tw/blog/detail?BID=B1700>
- 八、網路文章「如何看頻譜圖，來判斷耳機的好壞？」
網址 <https://zunnve.com/art/184981.html>
- 九、網路文章「音色與聲譜圖」
網址 <https://www.itread01.com/content/1544112905.html>
- 十、「pirastro 松香官網」
網址 https://www.pirastro.com/public_pirastro/pages/en/Rosin/
- 十一、「optima 琴弦官網」
網址 https://www.optima-strings.com/en/goldbrokat_violin_e_strings.php

【評語】 080108

這個工作同學試著研究不同外界材質對於"音色"的影響。同學試著利用聲音的頻譜圖來研究這項工作，利用傅立葉轉換也得出基頻和後續幾個泛音頻率。較為可惜的是，就整個成果的分析上，所有的頻率也都一樣，對於整體的討論較少科學上數學的分析，分析大多為文字的敘述。就數據的呈現上，看不出明顯科學分析上的差別，也因此較難科學上區分同學對於變動參數對於整體音色呈現的改變情況。本件作品控制變因材質、尺寸、松香，但是實驗大多是定性的分析，小提琴的音色還是相當主觀，如果真的能如同作者預期，能夠建立小提琴的頻譜資料庫，或許的確能夠提供小提琴初學者建議。藉由傅立葉轉換得出基頻和泛音頻率，本作品指出影響小提琴音色表現最主要的因素是松香和琴弦。相關研究已有很多，相較下本作品沒有太多特色。如能進一步利用更明確的科學方式以及數字來描述觀測到結果的改變會是一個較適當的工作。

作品簡報

小提琴音色的奧妙



組別：國小組
科別：物理科
編號：080108

前言

小提琴與其配件不同所造成音色的差異性



圖1

研究過程與方法

一、利用『頻譜圖』進行音色分析

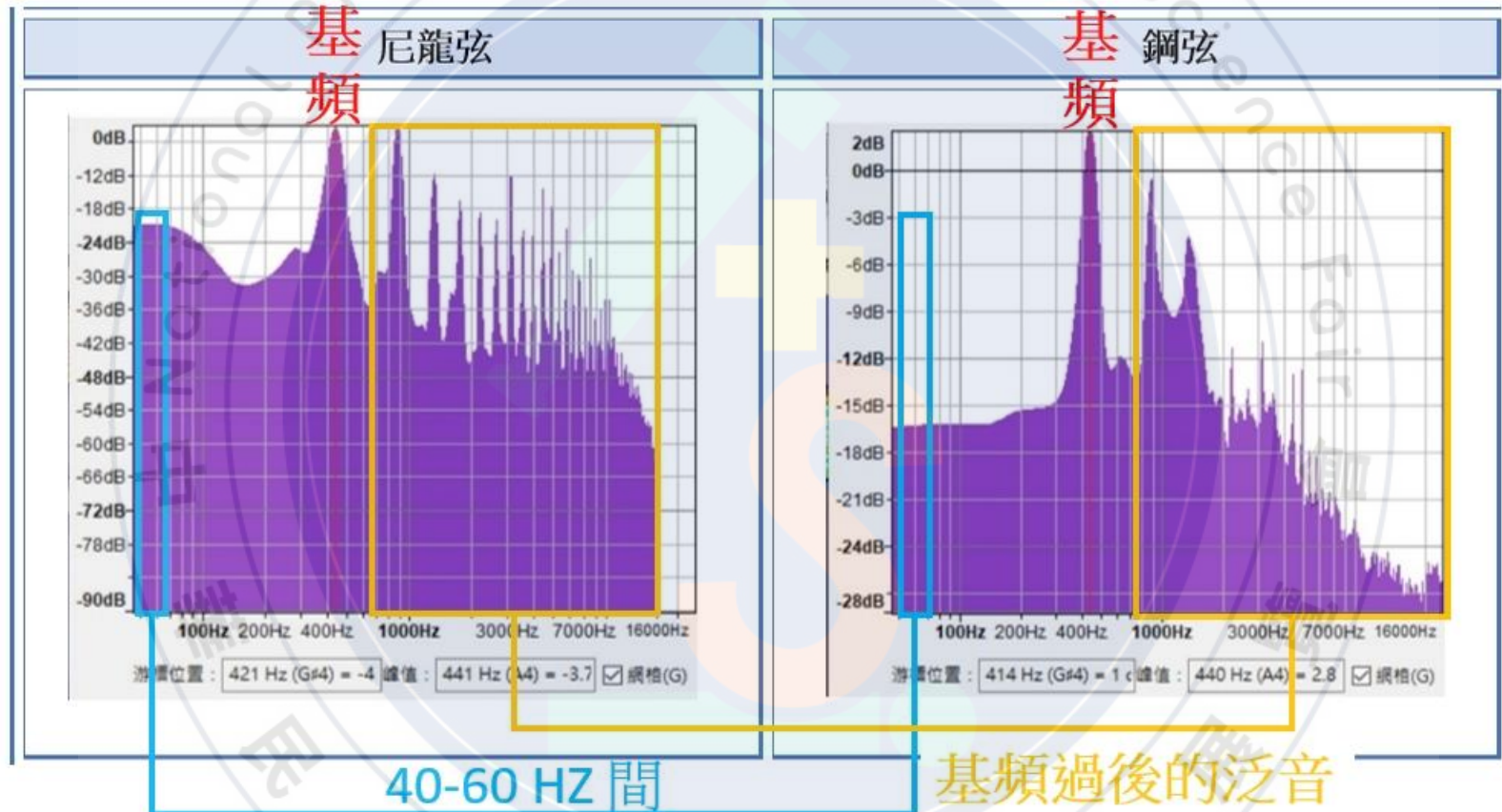


圖2

使用軟體Audacity將聲音轉換成頻譜圖並進行測量分析

二、找出可以深入探討的變因

表 1

| | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|------------|---------|
| 不同材質的琴弦 | 不同等級的琴身 | 不同尺寸的琴身 | 不同等級的琴弓 | 不同材質肩墊、止滑墊 | 不同材質的松香 |
| 組合1 | 組合2 | 組合3 | 組合4 | 組合5 | 組合6 |
| 極有差異 | 略有差異 | 極有差異 | 略有差異 | 略有差異 | 明顯有差異 |

三、針對不同材質的琴弦、不同尺寸的琴身及不同材質的松香，進一步研究音色的差異。

研究結果

一、不同材質的琴弦

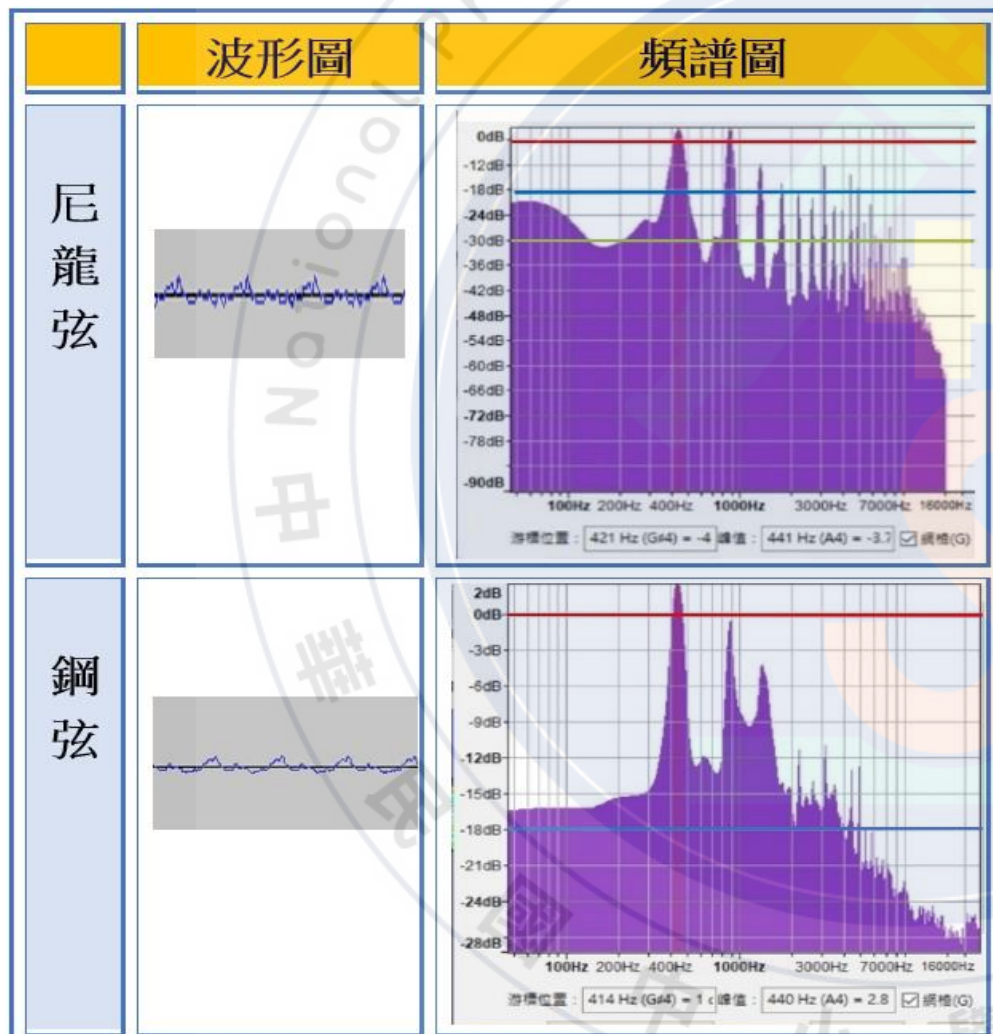


圖 3

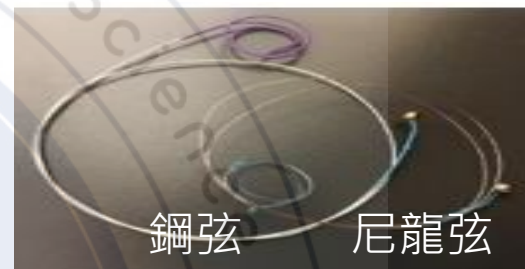


圖 4

1. 尼龍弦在基頻過後，泛音較多且長，聲音較為飽滿柔和。
2. 鋼弦在基頻過後，泛音短且少，聲音無穿透力。

二、不同尺寸的琴身

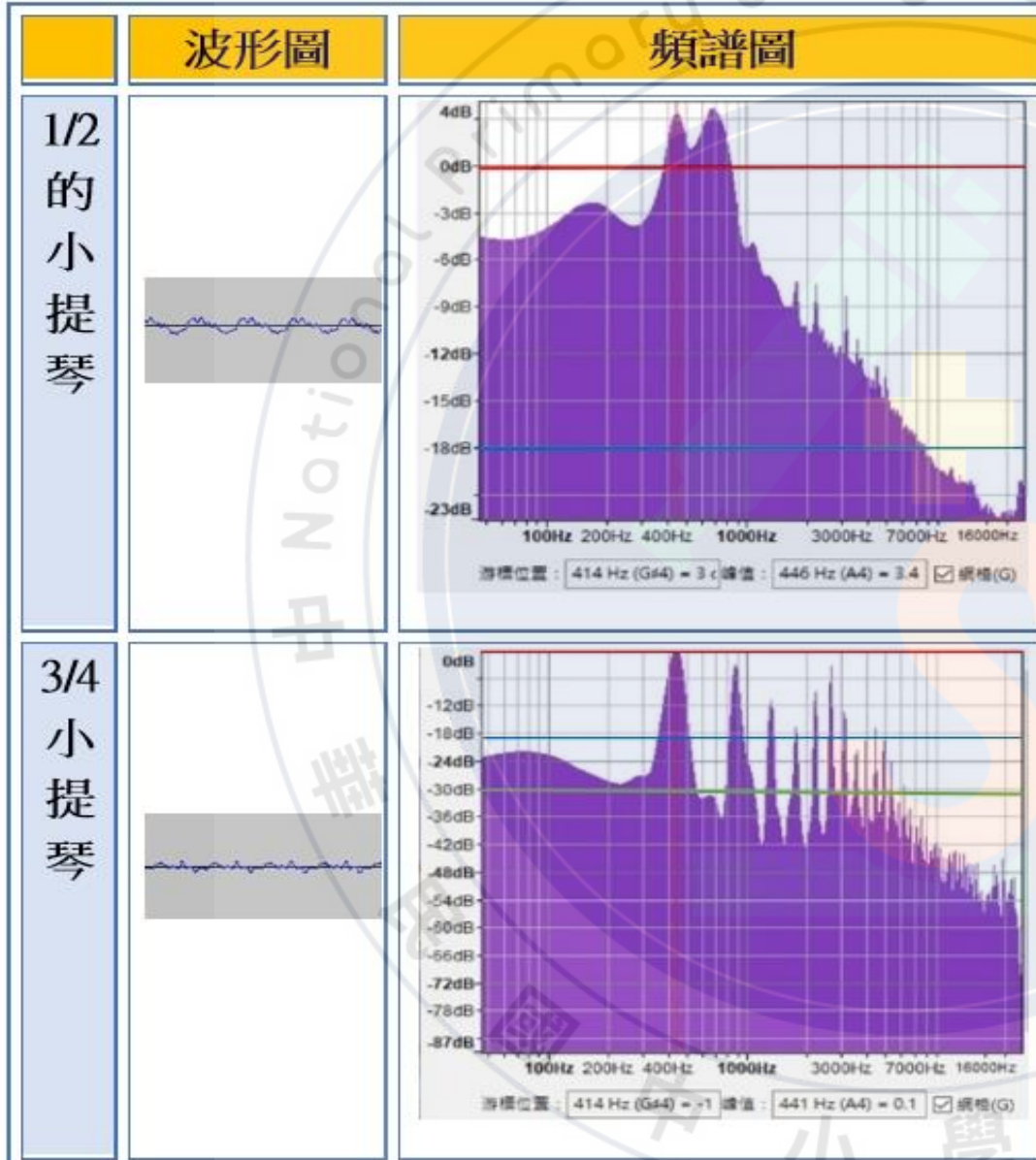


圖 5



圖 6

1. 1/2 琴在基頻過後，泛音少聲音發虛發顫不夠飽滿。
2. 3/4 琴在基頻過後，泛音豐富聲音洪亮。

三、不同材質的松香

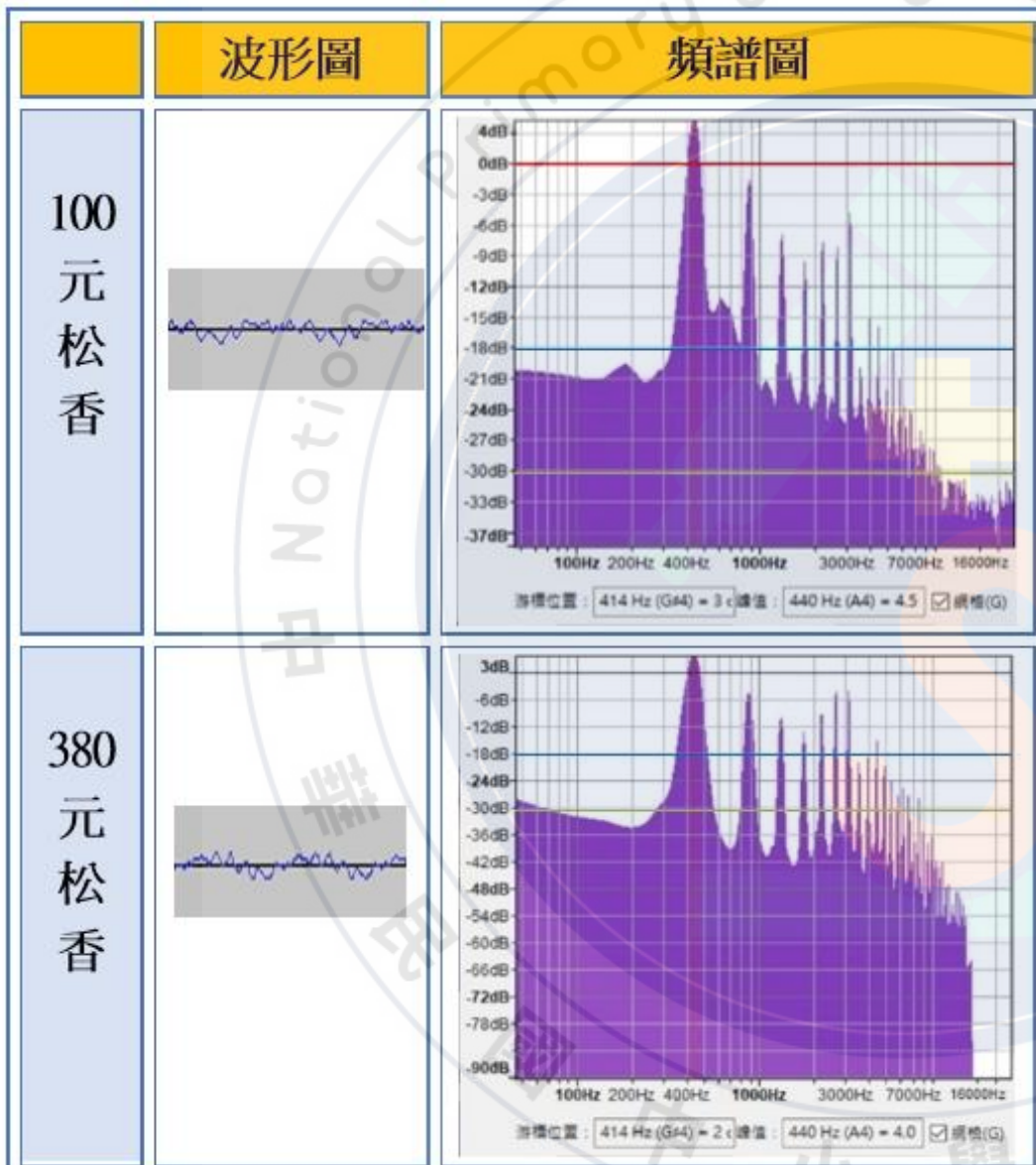


圖 7



圖 8

1. 價格低的松香，基頻過後泛音少且短，聲音虛空無力。
2. 價格高的松香，基頻過後的泛音多且密，聲音飽滿柔和。

四、鋼弦與不同材質的松香

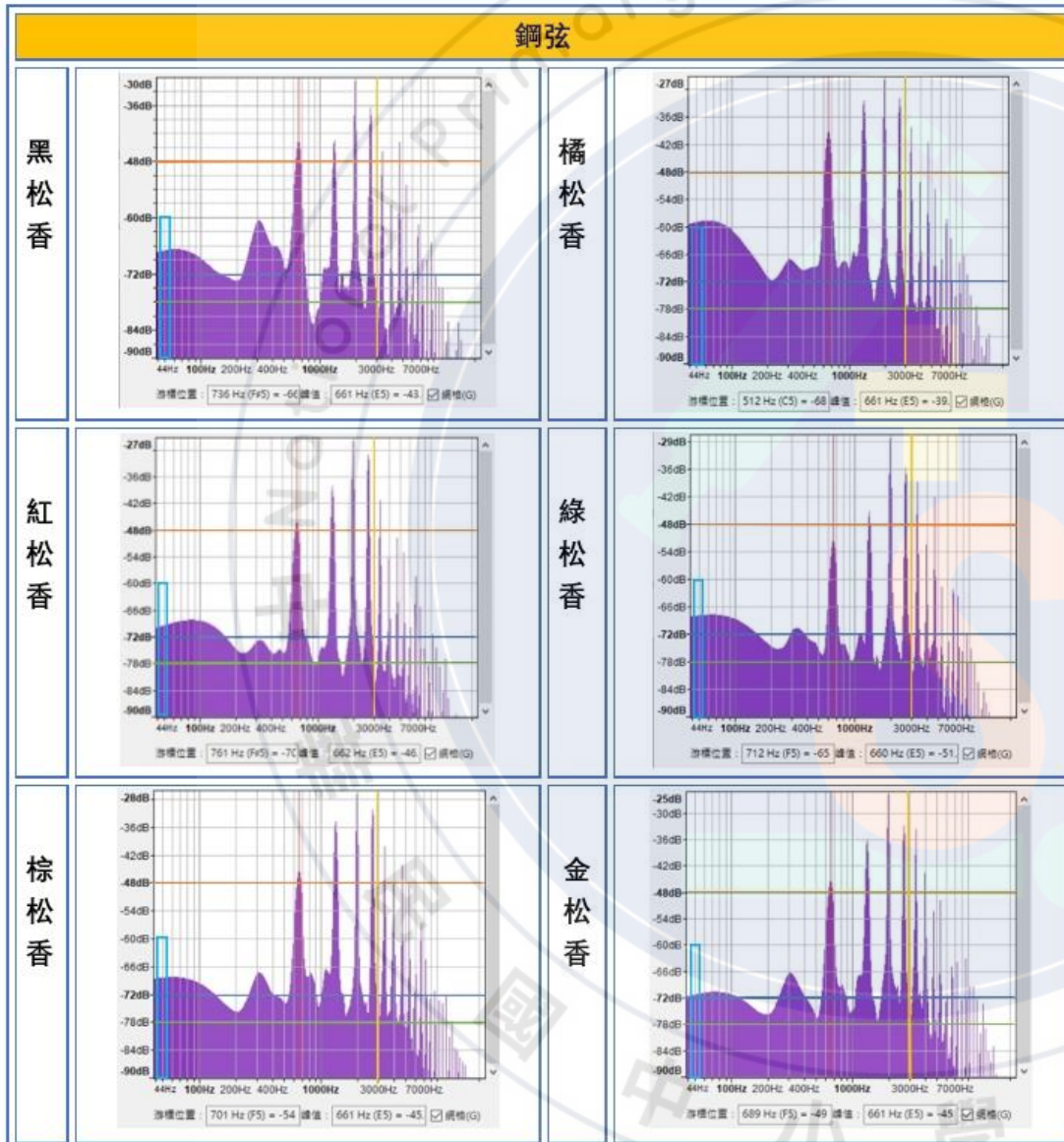


圖 9



圖 10

在 40-60 Hz 間，橘松香（Pirastro 的混金松香）的峰值最高。

五、橘松香與不同材質的琴弦

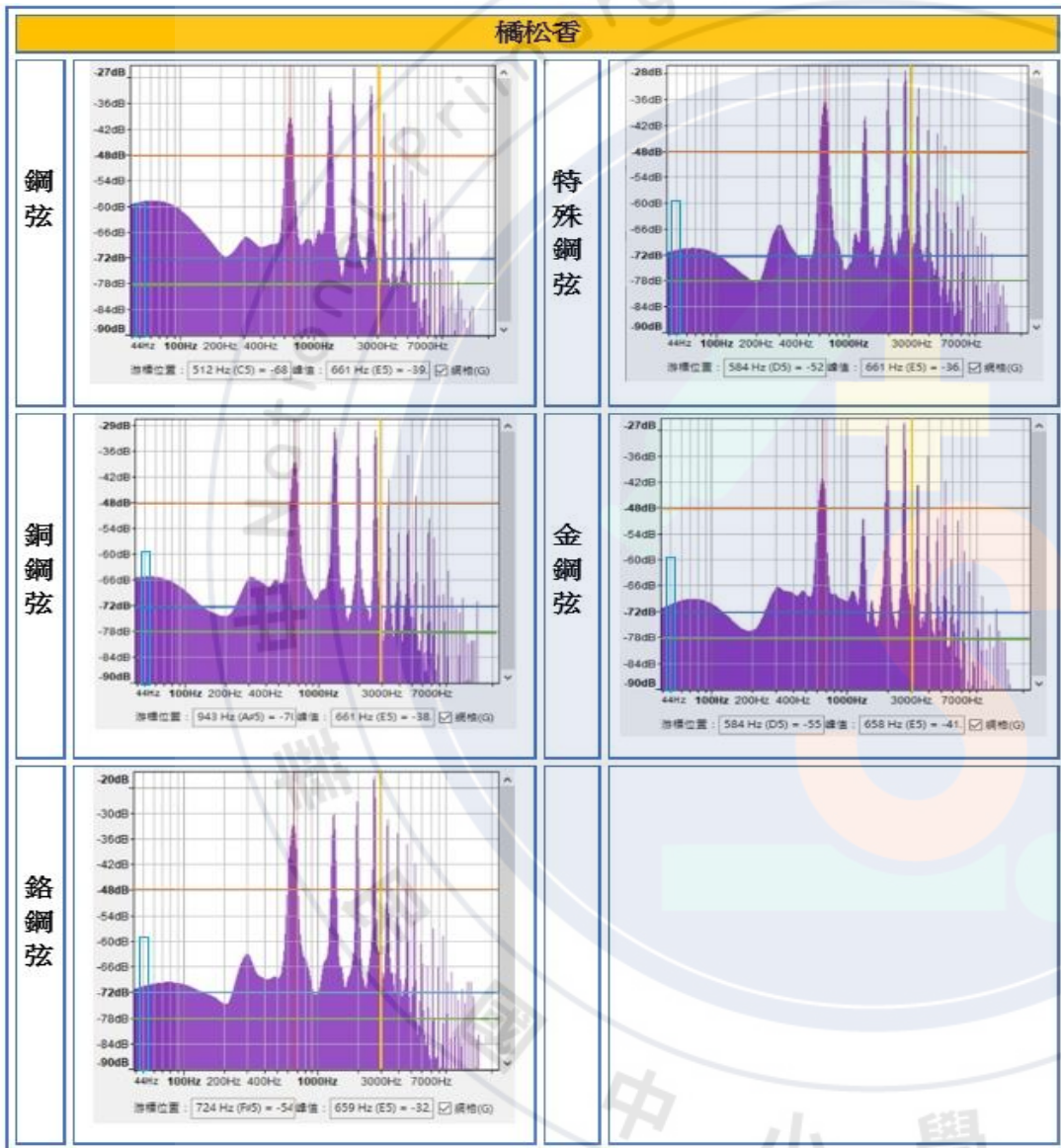


圖11



圖12

在 40-60 Hz 間，
以鋼弦峰值最高，
最豐潤耐久聽。

討論

一、1/2與3/4提琴的分析

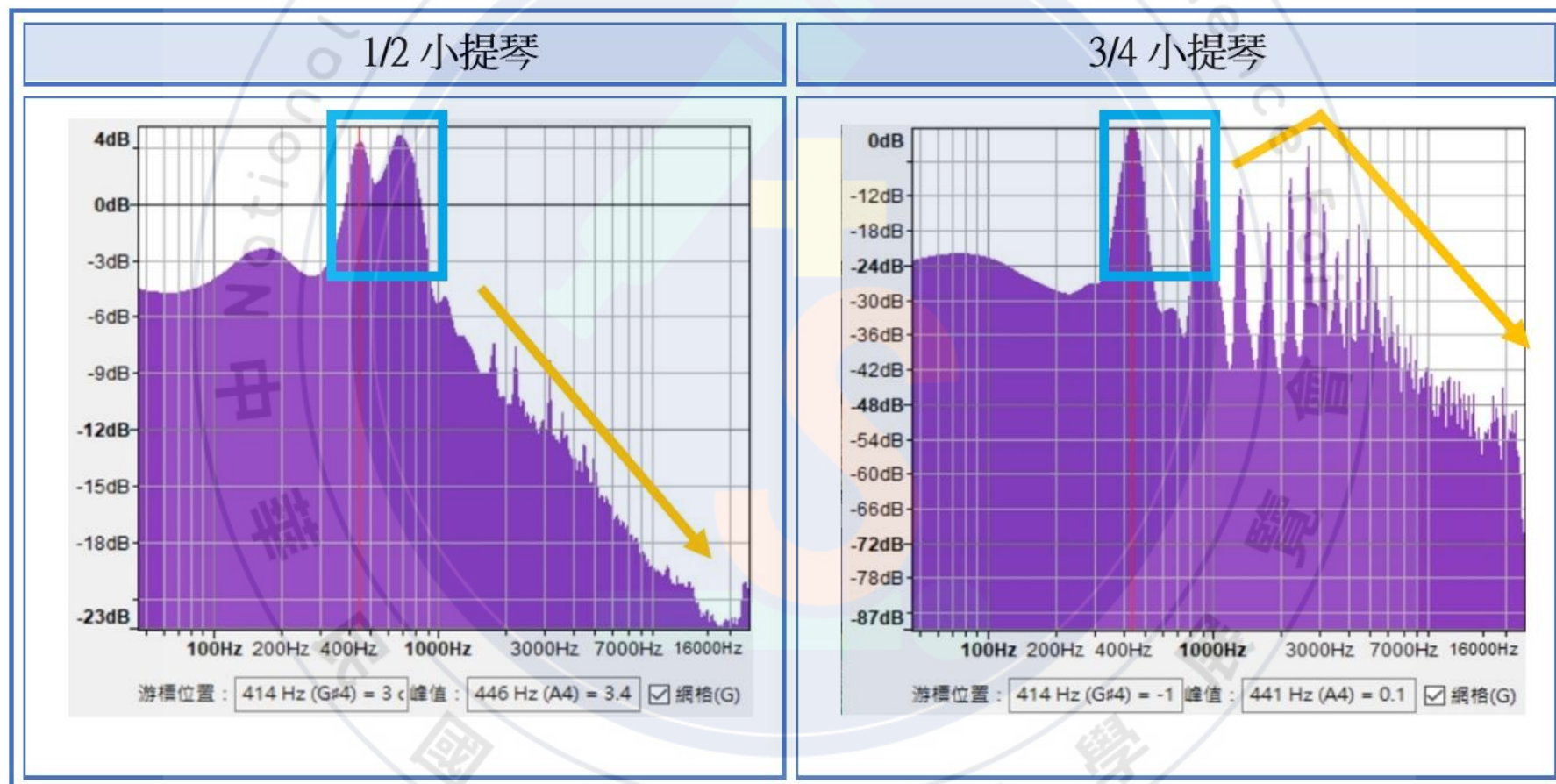


圖13

音色的表現以3/4較佳。

二、各種松香與琴弦所呈現的音色表現對照如下：

表2

| 在 40—60HZ 頻段，各種材質的松香與不同材質琴弦（豐潤 ←→ 焦乾） | | | | | |
|---------------------------------------|------|------|------|-----|------|
| 黑松香 | 特殊鋼弦 | 鉻鋼弦 | 銅鋼弦 | 金鋼弦 | 鋼弦 |
| 綠松香 | 鋼弦 | 特殊鋼弦 | 金鋼弦 | 鉻鋼弦 | 銅鋼弦 |
| 橘松香 | 鋼弦 | 銅鋼弦 | 金鋼弦 | 鉻鋼弦 | 特殊鋼弦 |
| 棕松香 | 鉻鋼弦 | 鋼弦 | 銅鋼弦 | 金鋼弦 | 特殊鋼弦 |
| 紅松香 | 特殊鋼弦 | 鉻鋼弦 | 鋼弦 | 金鋼弦 | 銅鋼弦 |
| 金松香 | 鉻鋼弦 | 銅鋼弦 | 特殊鋼弦 | 金鋼弦 | 鋼弦 |

三、各種琴弦與松香所呈現的音色表現對照如下：

表3

| 在 40—60HZ 頻段，各種材質的琴弦與不同材質松香（豐潤 ←→ 焦乾） | | | | | | |
|---------------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| 鋼弦 | 橘 | 黑 | 綠 | 棕 | 紅 | 金 |
| 特殊鋼弦 | 黑 | 紅 | 棕 | 綠 | 金 | 橘 |
| 銅鋼弦 | 橘 | 黑 | 棕 | 金 | 紅 | 綠 |
| 金鋼弦 | 黑 | 金 | 紅 | 橘 | 棕 | 綠 |
| 鉻鋼弦 | 黑 | 棕 | 金 | 紅 | 橘 | 綠 |

結論

- 一、人耳辨識聲音是抽象的，而實驗測量分析是具體的，本研究成功以科學方法探究抽象的音色。
- 二、本研究發現採『特殊鋼弦與黑松香』的組合以及『鋼弦與橘松香』的組合，在演奏小提琴時，最能表現出其聲音的特色。
- 三、本研究結果可以運用於提昇一般價格小提琴的聲音品質，可媲美昂貴小提琴的聲音表現，未來可以建立資料庫，讓演奏小提琴者透過資料庫找到適合的松香或琴弦，提高演奏的品質與水準。