

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生物科

030305

苗栗縣私立建台高級中學

指導老師姓名

張良肇

作者姓名

張德惟

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：生物科

組 別：國中組

作品名稱：利用簡易頻譜分析儀器－研究蜜蜂的發聲與振頻

關鍵詞：蜜蜂、發聲、振頻

編 號：

目 錄

壹、摘要.....	1
貳、研究動機.....	1
參、研究目的.....	2
肆、研究設備與器材.....	2
伍、研究過程與方法.....	3~5
陸、研究結果.....	5~9
柒、討論.....	9~10
捌、結論.....	10~11
玖、參考資料.....	11
拾、附錄.....	12~25

圖 頁 次

圖 1：工蜂的外部構造.....	12
圖 2：蜜蜂分類圖表.....	13
圖 3：工蜂之口器.....	14
圖 4：工蜂之足.....	15
圖 5：頻率的分析裝置圖.....	15
圖 6：以 Voicesync 程式分析 370 音叉，解釋程式圖.....	16
圖 7：Tone Gen 程式發出 440Hz 的聲音，解釋程式圖.....	16
圖 8：以 Voicesync 程式分析頻率為 375Hz 的音叉之發聲.....	17
圖 9：以 Voicesync 程式分析 Tone Gen 的 375Hz 之發聲.....	17
圖 10：以 Tone Gen 程式測量 Voicesync 程式的精度 185Hz.....	18
圖 11：Shimmer Curve 程式分析蜜蜂振頻.....	18
圖 12：改變溫度對蜜蜂振頻影響裝置圖.....	19
圖 13：量測蜜蜂的振頻裝置圖.....	19
圖 14：養殖蜂的照片.....	19
圖 15：東方蜂的照片.....	19
圖 16：東方蜂（左）養殖蜂（右）正立圖.....	20
圖 17：東方蜂（左）養殖蜂（右）腹面圖.....	20
圖 18：養殖蜂去除翅膀.....	20
圖 19：東方蜂去除翅膀.....	20
圖 20：養殖蜂於各溫度之振頻.....	21
圖 21：分別夾住左右翅的養殖蜂與正常養殖蜂之振頻.....	21
圖 22：剪去雙翅、飛行中的養殖蜂與正常養殖蜂之振頻.....	22
圖 23：分別夾住左右翅的東方蜂與正常東方蜂之振頻.....	22
圖 24：剪去雙翅、飛行中的東方蜂與正常東方蜂之振頻.....	23
圖 25：養殖蜂與東方蜂之振頻.....	23
圖 26：分別夾住左翅右翅的養殖蜂與東方蜂之振頻.....	24
圖 27：飛行中的養殖蜂與東方蜂的之振頻.....	24
圖 28：新蜂與成蜂之振頻.....	25
圖 29：東方蜂蜂窩口圖.....	25

壹、摘要：

在此實驗中，驗證了蜜蜂的肩片與發聲無關；蜜蜂主要發聲是由翅膀所出。但剪去雙翅的蜜蜂也能藉由胸部振動發聲，驗證了蜜蜂不只有一個發聲點。為了分析蜜蜂頻率，利用簡易的頻譜分析儀器，結合麥克風、電腦、Voicesync 程式、Shimmer Curve 程式，就能分析聲音波形、頻率等。用此儀器做各溫度下蜜蜂之振頻比較，得知蜜蜂在各溫度的頻率有所不同。繼續用此儀器分析野生蜂（東方蜂）以及養殖蜂（義大利蜂）頻率，發現東方蜂頻率與養殖蜂頻率亦有些許差異。量測蜜蜂雙翅不斷鼓動（飛行）發聲，發現兩種蜜蜂飛行時較平時蜜蜂頻率高兩倍。在拔除雙翅的發聲分析，發現聲音有明顯的不同，頻率高更多，但並不是一直有聲音出現，有聲音時蜜蜂身體振動強烈。

貳、研究動機：

有一天，聽到了理化老師提起聲音有關的研究，是大陸小學生研究蜜蜂小黑點的發聲，對此實驗感到有趣；又因為國中理化第一冊第三章－聲音基本參數（頻率、振幅）的認識；生物老師課中描述了蜜蜂之相關生態；於是想試著利用課堂所學的知識來做蜜蜂發聲之研究。

在網路上瀏覽新聞，找到了「蜜蜂不是因為翅膀振動而發聲的」的論文，是大陸國小女學生聶利所撰寫的（參考資料二、（一））。但她的論文還是被華中農業大學教授雷朝亮等昆蟲學家以刺破小黑點之後，蜜蜂仍會振動發聲之說否定（參考資料二、（二））。

那個小黑點經過查動物學書籍（參考資料一、（三））後，查出了那個小黑點叫「肩片」。不禁懷疑，這個肩片真的可以發聲嗎？到底是哪裡發聲呢？或者肩片是與發聲有關係而已？那又是何種關係呢？我從姑姑那裡借來了一箱裝滿蜜蜂的蜂箱，將蜂箱放在我房間內，正是名副其實的「與蜜蜂共眠」。藉此蜂箱，展開了探索蜜蜂發聲和振頻的旅程。

參、研究目的：

- 一、觀察蜜蜂
- 二、探討蜜蜂的發聲
- 三、利用設計的簡易頻譜分析儀器分析聲音。
- 四、分析蜜蜂幾種的頻率
- 五、比較東方蜂及養殖蜂的差別

肆、研究設備及器材：

- 一、軟體：電腦程式 **PhotoImpact7.0**、**Voicesync** 程式、**Shimmer Curve** 程式、**Tone Gen** 程式、**Origin5.0 professional**
- 二、硬體：放大鏡、解剖顯微鏡、數位相機、鑷子、捕蟲網、手套、針、水桶、溫度計、調節溫度器、瓶子、紙杯、電湯匙
- 三、簡易頻譜分析儀器：
 - (一) 頻譜分析儀器：**Pentium3** 以上可接麥克風之桌上型電腦、耳機式可接電腦型之麥克風、**Voicesync** 程式、**Shimmer Curve** 程式、受測物體
 - (二) 校準頻率：**Pentium3** 以上可接麥克風之桌上型電腦、**Tone Gen** 程式、**Voicesync** 程式、耳機式可接電腦型之麥克風、可接電腦之音響

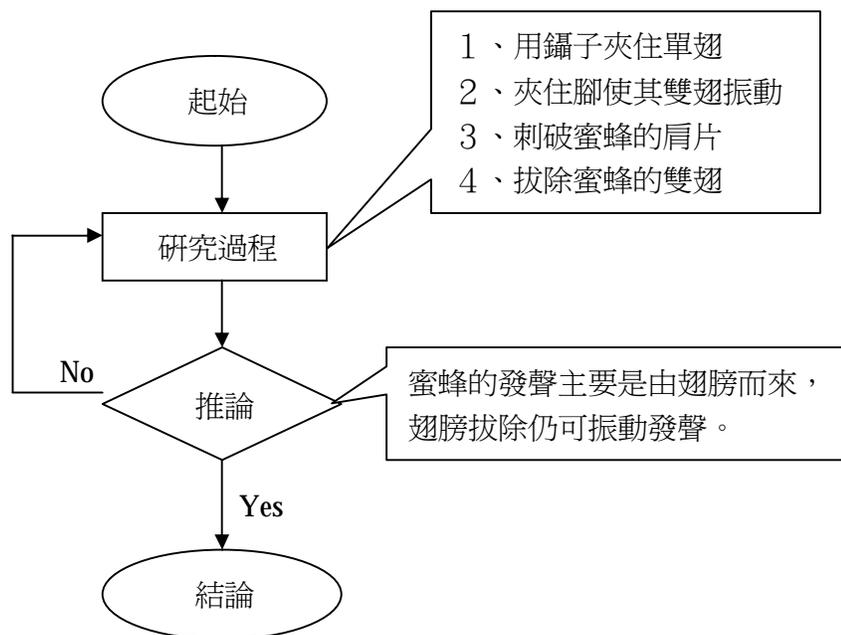
伍、研究過程：

一、觀察東方蜂與養殖蜂：

- (一) 肉眼觀察：以眼觀察死去的東方蜂與養殖蜂，去了解兩種蜜蜂的外部型態及蜜蜂絨毛的分布情形。
- (二) 放大鏡觀察：使用放大鏡觀察死的兩種蜜蜂，觀察兩種蜜蜂翅膀的細部構造。
- (三) 解剖顯微鏡觀察：將死的兩種蜜蜂放置解剖顯微鏡下，深入觀察聶利所說的肩片，並思考肩片與蜜蜂翅膀的關係。

二、探討蜜蜂的發聲：

(一) 流程圖：

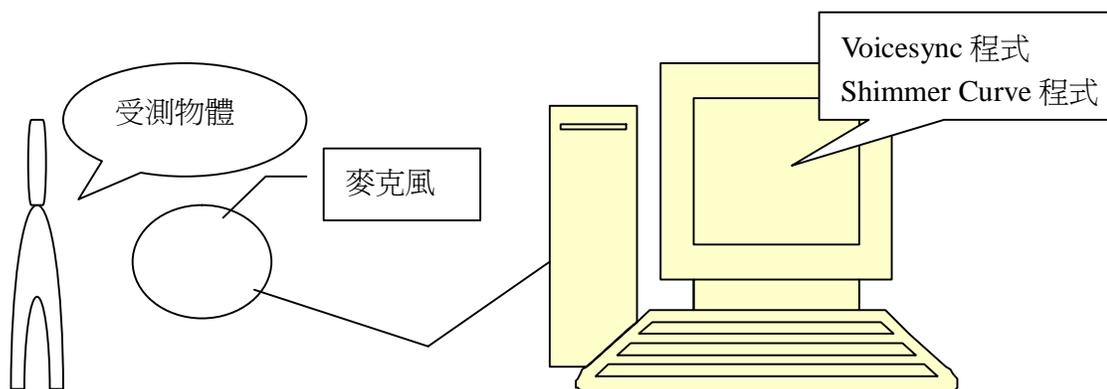


(二) 過程：

- 1、用鑷子夾住單翅：用鑷子夾住蜜蜂的翅膀，使蜜蜂只有單翅振動發聲，觀察其發聲情形。
- 2、夾住腳使其雙翅振動：用鑷子夾住蜜蜂的腳，蜜蜂會不斷的鼓動雙翅振動，將此狀態定為蜜蜂正在飛行，觀察飛行時的蜜蜂發聲情形。
- 3、刺破蜜蜂的肩片：以鑷子夾住蜜蜂，使其無法動彈，用針挑破蜜蜂的肩片，將 30 隻蜜蜂去除肩片所出現的情況加以分類，整理並討論。
- 4、拔除蜜蜂雙翅：用鑷子拔除蜜蜂的雙翅，紀錄其發聲，整理並且討論。

三、簡易頻譜分析儀器設計：

(一) 設計圖：



實際裝置圖請參照圖 5

(二) 過程：

1、頻譜分析軟體：將音叉（受測物體）敲擊後，會發出聲音。則可用麥克風接收其聲音，並用軟體 **Voicesync** 分析聲音，可得到其聲音的波形分析、頻率分析、音調分析及雜音分析，如圖 6。

（電腦 **Voicesync** 程式下載於 <http://www.voicesync.org/>）

2、頻率波形分析軟體：用軟體 **Shimmer Curve** 收錄聲音，可紀錄及分析其各時間的頻率波形，如圖 11。

（電腦 **Shimmer Curve** 程式下載於 <http://www.voicesync.org/>）

3、校準頻率：**Tone Gen** 程式是一種專門發出頻率單純的音，如圖 7。用 **Tone Gen** 程式可代替音叉做頻率校正，用 **Shimmer Curve** 和麥克風所組成的簡易頻譜分析儀器是否正確。

（電腦 **ToneGen** 程式下載於 www.voicesync.org/）

四、蜜蜂於各溫度之發聲振頻：

(一) 溫度調整裝置圖：請參照圖 12—利用水桶、溫度計、調節溫度器、瓶子、紙杯、電湯匙組成的裝置。

(二) 過程：

將養殖蜂放於紙杯內，將紙杯置於水桶內，用塑膠瓶裝水冰凍方便調節溫度。以溫度計懸空測量杯內的溫度，一邊觀察，一邊用 **Shimmer Curve** 和麥克風所組成的簡易頻譜分析儀器分析其發聲。

五、東方蜂與養殖蜂翅膀之振頻：

(一) 量測蜜蜂的裝置圖：請參照圖 13—利用放大鏡、鑷子、捕蟲網、手套、瓶子、紙杯組成的裝置。

(二) 養殖蜂：

1、正常養殖蜂之振頻：將養殖蜂放入瓶內，使其自由發聲，在此狀態定為蜜蜂的正常發聲，用簡易頻譜分析儀器分析其發聲，並且加以紀錄。

- 2、夾住左翅或右翅養殖蜂之振頻：用鑷子夾住養殖蜂的左翅或右翅，用簡易頻譜分析儀器分析其發聲，並且加以紀錄。
- 3、拔除雙翅及飛行中養殖蜂之振頻：將養殖蜂的腳夾住，此時養殖蜂會振動翅膀試圖飛走，藉此用簡易頻譜分析儀器分析其發聲，測得飛行時的頻率。接著用鑷子拔除養殖蜂的雙翅，然後用鑷子夾住養殖蜂的腳，用簡易頻譜分析儀器分析其發聲，測得無翅膀的頻率。

(三) 東方蜂：

- 1、正常東方蜂之振頻：將東方蜂放入瓶內，使其自由發聲，用簡易頻譜分析儀器分析其發聲，並且加以紀錄。
- 2、夾住左翅或右翅東方蜂之振頻：用鑷子夾住東方蜂的左翅或右翅，用簡易頻譜分析儀器分析其發聲，並且加以紀錄。
- 3、拔除雙翅及飛行中東方蜂之振頻：將東方蜂的腳夾住，此時東方蜂會振動翅膀試圖飛走，藉此用簡易頻譜分析儀器分析其發聲，測得飛行時的頻率。接著用鑷子拔除東方蜂的雙翅，然後用鑷子夾住東方蜂的腳，用簡易頻譜分析儀器分析其發聲，測得無翅膀的頻率。

六、新蜂與成蜂的比較：

- (一) 新蜂的頻率：在養殖蜂破蛹而出的那時，用顏料筆塗抹在養殖蜂的背部，完成標示。3~5 天時，抓出標示的蜜蜂，開始用簡易頻譜分析儀器分析其發聲，加以紀錄。
- (二) 成蜂的頻率：在養殖蜂破蛹而出的那時，用顏料筆塗抹在養殖蜂的背部，完成標示。5~14 天，抓出標示的蜜蜂，開始用簡易頻譜分析儀器分析其發聲，加以紀錄。

陸、研究結果：

一、觀察蜜蜂：

(一) 肉眼觀察：

- 1、以眼睛觀察兩種蜜蜂的絨毛分布，發現東方蜂的絨毛較養殖蜂來的少，絨毛都分布於頭部的上方及整個胸部，三對步足上也略見少許，在腹尾部則幾乎沒看到。
- 2、觀察養殖蜂的型態，成年工蜂身體總長約為 2.0cm，雄蜂略為大些，約為 2.4cm。而東方蜂的體態則較小，工蜂約為 1.6cm，而雄蜂約為 2.0cm。請參照圖 16—東方蜂與養殖蜂（正立圖）、圖 17—東方蜂與養殖蜂（腹面圖）。

(二) 放大鏡觀察：

- 1、用放大鏡觀察，發現兩種蜜蜂的後足上，皆有生出較粗的細毛，推測應該是蜜蜂採花粉時用來固定花粉的工具。經查證之後，得知此構造為蜜蜂後足脛節所生出的長毛，功能為固定旁邊後足內凹所型成的花粉籃，

圖 4—工蜂之足。

2、另外發現它的翅膀是由翅脈和透明薄翼所組成，請參照圖 14—養殖蜂、圖 15—東方蜂。

(三) 解剖顯微鏡觀察：

在解剖顯微鏡的視野下，仔細的觀察聶利所說的肩片。發現肩片是一種肌肉組織，跟人類的肩膀功能很像，圖 1—工蜂之外部構造。

二、探討蜜蜂的發聲：

(一) 用鑷子夾住蜜蜂單翅：

夾住單翅的蜜蜂發聲較平時的弱。試驗 20 隻，每一隻都會發聲而且發聲較弱。得知翅膀為蜜蜂主要的發聲。

(二) 夾住蜜蜂的腳：

把蜜蜂的腳夾住，蜜蜂會不斷鼓動翅膀，此時可視為蜜蜂在飛行，發現蜜蜂在飛行時的聲音較高，而且聲音較大。試驗 20 隻，每一隻所得結果均是如此。

(三) 刺破蜜蜂的肩片：

將蜜蜂的肩片刺破之後，發現 20 隻蜜蜂大部分都會發聲，所以得知去除肩板並不會造成發聲的影響。

(四) 拔除蜜蜂雙翅：

將蜜蜂的翅膀拔除後，發現其身體仍會振動發聲，聲音與自由發聲有明顯的不同，而且十分小聲。證實了雖然翅膀為主要的發聲，但是仍有其他地方會造成蜜蜂的發聲。

將上述的各項實驗數據統整結果如下表一：

表一：蜜蜂幾種狀態下的發聲情形。

狀態	隻數（次）	會發聲隻數	不會發聲隻數
夾住左翅	20	20	0
夾住右翅	20	20	0
去除雙翅	20	15	5
去除肩片	20	16	4
雙翅飛行	20	20	0
自由發聲	20	18	2

三、簡易頻譜分析儀器設計：

(一) 簡易頻譜分析儀器：

用 Voicesync 程式以及 Shimmer Curve 程式配合麥克風、電腦組成本實驗的簡易頻譜分析儀器，圖 8 為分析頻率為 370Hz 的音叉的結果。所得的頻率為 375Hz，所以這個儀器分析的頻率相當接近音叉頻率。只要做適當的修正，即成簡易的頻譜分析儀器。

(二) 校準頻率：

因為要複測簡易頻譜分析儀器的準度為多少，用頻率為 370Hz 的音叉配合 Voicesync 程式測試 Voicesync 程式，所得的結果如圖 8。

所以得到頻率誤差為 5Hz，換算成頻率準度為 98.86%（435/440*100%）
用 Tone Gen 程式發出 375Hz 聲音配合 Voicesync 程式複測簡易頻譜分析儀器的頻率差，結果如圖 9。

之後測量 Voicesync 程式的精度，如圖 10。

此設計是整個主題的重點，能輕鬆分析聲音，頻率分析範圍於 1Hz 到 1000Hz 之間，不需要花錢去買儀器，只要有電腦、Voicesync 程式就行了。

接著用一般常用的頻譜分析儀器 HP8560B、R3131A 與設計的簡易頻譜分析儀器來做個比較：

頻譜分析儀器	設計的儀器	HP8560B 儀器	R3131A 儀器
頻率範圍	1Hz~1000Hz	100Hz~1.5GHz	9kHz~3GHz
頻率精度	185Hz	250Hz	100Hz~1000Hz
頻率準度	98.86%	99.05%	99.58%
價格	不需要錢	\$29,050.00（美元）	\$43,050.00（美元）

（補充說明：儀器所分析出的頻率為最精準時為精度，準度是分析出的頻率值÷聲音頻率）

相較下，雖然我設計的頻譜分析儀器較 HP8560B、R3131A 不精準，但是就價格與操作的難易來說，我所設計的儀器遠超過其他兩項頻譜分析儀器。

四、：蜜蜂於各溫度之發聲振頻

觀察養殖蜂對溫度的反應結果，制成表二：

表二：溫度對應於養殖蜂的反應

養殖蜂隻數	杯內氣溫	養殖蜂的反應
10 隻	28°C	正常活動
10 隻	25°C	正常活動
10 隻	20°C	活動減少，行動略為遲緩
10 隻	18°C	想往外飛
10 隻	15°C	開始振動身體，翅膀未動
10 隻	13°C	停止振動，只能略為走動
10 隻	10°C	停止一切活動

用簡易的頻譜分析儀器分析養殖蜂在各溫度紙杯內的發聲，測得的頻率與對應時間的關係，制成下表三：

表三：蜜蜂在各溫度下的頻率比較（註：自由發聲）

溫度	隻數	平均頻率
28°C	10 隻	207.79Hz
25°C	10 隻	181.15Hz
20°C	10 隻	169.38Hz
18°C	10 隻	167.29Hz
15°C	10 隻	149.63Hz

將上述各溫度的數據加以統整，制成曲線圖，請參照圖 20。如圖所示，■的曲線代表 15°C，以及◆曲線代表 28°C，可以很明顯的顯示蜜蜂在溫度高時頻率較高，上下相差約 50Hz。

五、蜜蜂翅膀對於頻率的影響：

(一) 養殖蜂：

1、正常養殖蜂之振頻：

將養殖蜂放置於瓶子內，讓養殖蜂自由的振動發聲，用簡易的頻譜分析儀器來量測正常養殖蜂的發聲，紀錄並求出正常養殖蜂的平均發聲頻率為 206.05Hz。

2、夾住左翅或右翅養殖蜂之振頻：

將養殖蜂用鑷子夾住左翅或右翅，用簡易的頻譜分析儀器分別測得頻率對應時間的關係，得知其平均頻率為 178.62Hz 以及 172.72Hz，發現養殖蜂夾住其中一翅皆會使頻率降低。

將上述數據加以統整，制成曲線圖，如圖 21。如圖所示，■代表夾住右翅，●代表夾住左翅，頻率接近而且比▲所代表的自由振動雙翅來的低，相差約為 25Hz。

3、拔除雙翅及飛行中養殖蜂之振頻：

將拔除雙翅的養殖蜂收音，用簡易的頻譜分析儀器來記錄分析，得知拔除雙翅的發聲頻率平均為 555.89Hz，較正常頻率高出許多。

用鑷子夾住養殖蜂的腳，測得養殖蜂鼓動雙翅飛行的頻率與時間的對應關係，得知其平均頻率為 391.98Hz，較正常頻率高出許多。

將以上結果統整成曲線圖，如圖 22。如圖所示，■代表去除雙翅頻率，●代表飛行頻率，都與▲所代表的正常頻率有明顯的差距；去除雙翅跟正常的頻率相差約為 355Hz，而飛行頻率約為正常頻率的兩倍。

(二) 東方蜂

1、正常東方蜂之振頻：

將東方蜂放置於瓶子內，讓東方蜂自由的振動發聲，用簡單的頻譜分析儀器來量測正常東方蜂的發聲，紀錄並求出正常東方蜂的平均發聲頻率為 272.32Hz。

2、夾住左翅或右翅東方蜂之振頻：

將東方蜂用鑷子夾住左翅或右翅，用簡易的頻譜分析儀器分別測得頻率對應時間的關係，得知其平均頻率為 256.46Hz 以及 253.65Hz，發現東方蜂夾住其中一翅皆會使頻率降低。

將上述數據加以統整，制成曲線圖，如圖 23。如圖所示，■代表夾住右翅，●代表夾住左翅，頻率接近而且比▲所代表的自由振動雙翅來的低，相差約為 20Hz。

3、拔除雙翅及飛行中東方蜂之振頻：

將拔除雙翅的東方蜂收音，用簡易的頻譜分析儀器來記錄分析，得知拔除雙翅的發聲頻率平均為 590.37Hz，較正常頻率高出許多。

用鑷子夾住東方蜂的腳，測得東方蜂鼓動雙翅飛行的頻率與時間的對應關係，得知其平均頻率為 467.47Hz，較正常頻率高出許多。

將以上結果統整成曲線圖，如圖 24。如圖所示，■代表去除雙翅頻率，●代表飛行頻率，都與▲所代表的正常頻率有明顯的差距；去除雙翅跟

正常的頻率相差約為 325Hz，而飛行頻率與為正常頻率。

(三) 養殖蜂與東方蜂：

將東方蜂以及養殖蜂在幾種情況下相互比較頻率，統整出三張曲線圖，如圖 25—養殖蜂與東方蜂的比較(正常)、圖 26—養殖蜂與東方蜂的比較(左右翅) 圖 27—養殖蜂與東方蜂的比較(飛行)

如圖 25 所示，■代表養殖蜂，●代表東方蜂，可以發現東方蜂的頻率較養殖蜂的頻率明顯不同，約高 70Hz。

如圖 26 所示，■代表養殖蜂(夾住右翅)，●代表養殖蜂(夾住左翅)，▲代表東方蜂(夾住右翅)，▼代表東方蜂(夾住左翅)，可清楚的發現東方蜂的頻率較養殖蜂的頻率高，約高 70Hz。

如圖 27 所示，■代表飛行時的養殖蜂，●代表飛行時的東方蜂，可清楚的發現蜜蜂飛行時的頻率並不是單一的，而且飛行的東方蜂比飛行的養殖蜂頻率較高，高出約 50Hz。

六、新蜂與成蜂的比較：

(一) 新蜂：

把標示的新蜂用簡易頻譜分析儀器分析，得其平均頻率為 199.22Hz。

(二) 成蜂：

把標示的成蜂用簡易頻譜分析儀器分析，得其平均頻率 201.17Hz。將以上數據統整成曲線圖，如圖 28。

如圖所示，■所代表的新蜂頻率與●所代表的成蜂頻率接近。但在實驗中能很清楚的分別新蜂的發聲較成蜂發聲來的大。

柒、討論：

一、在做觀察蜜蜂的實驗中，發現了一個問題：野生蜂和養殖蜂的分類上是親近的還是疏遠的？根據苗栗縣蠶蜂改良廠的蜜蜂課課長吳課長的解說，得知野生蜂為東方蜂的亞種，種名為中國蜜蜂 *A.c.cerana*，如圖 15—野生蜂(東方蜂)的照片。而養殖蜂為西洋蜂的變種，種名為義大利蜂 *A.m.ligustica*，如圖 14—養殖蜂(義大利蜂)的照片。關於生物上的分類請參照圖 2—蜜蜂的分類圖。

二、深入觀察東方蜂及其蜂窩，發現一項有趣的事，蜂窩洞口的養殖蜂，都是頭朝外。而東方蜂則相反，如圖 29—東方蜂的窩口圖。

三、為何蜜蜂的絨毛分布胸部較多呢？深思其原因，大概是蜜蜂在採集花蜜的時候，為了不讓花粉沾身而生出。而又為何東方蜂的絨毛較養殖蜂的少呢？關於這點，未有足夠的生物知識來詮釋，未來將找更多的資料來深入了解。

四、(一) 在做蜜蜂翅膀的實驗中，發現蜜蜂並不需要翅膀就能夠發聲，證明聶利論文中提到的「剪去翅膀還會發聲」之說是正確的(參考資料二、(一))。

既然在解剖顯微鏡下觀察蜜蜂發現所謂的肩片只是一種類似人類肩膀的器官，那麼聶利所說的肩板發聲之說令人疑惑（參考資料二、（一））。

（二）在做拔除雙翅的實驗中，發現拔除雙翅後蜜蜂仍會發聲，但是發聲較小，而且發聲的頻率較高，約為蜜蜂正常發聲的三倍。雖然此發聲可以證明蜜蜂並不是只有一個發聲點，但發聲是由於身體振動而來，並非所謂的肩片發聲。

那到底去除雙翅的蜜蜂發聲是由身體的哪個部位所產生的呢？

首先，用手握住去除雙翅蜜蜂的胸部，可以發現胸部有強烈的振動，腹部則是稍稍蠕動；其次，蜜蜂的翅膀是與胸部緊緊相連的；再者，昆蟲以胸部的肌肉最為強壯，也最有可能造成發聲。統整以上結果，據推測，應該是蜜蜂的胸部振動而發聲的。

（三）由觀察與對照養殖蜂與東方蜂的無翅發聲，可以很明顯的發現養殖蜂胸部上的絨毛較東方蜂來的長。而且對照養殖蜂與東方蜂的無翅發聲頻率，發現養殖蜂頻率較東方蜂低，絨毛長的頻率低，絨毛短的頻率高，藉此應該可以去除絨毛來證實蜜蜂是借由絨毛來發聲，但是由於時間的關係，使我無法繼續呈述此論述，以後一定補足。

六、在做溫度對應養殖蜂頻率的實驗中，發現在 13°C 的時候養殖蜂就不再飛行，很少活動。而在 10°C 以後，就完全不動了。這與我所查的資料，13°C 義大利蜂就不再飛行、10°C 義大利蜂不再活動不謀而合。請參照參考資料一、（五）。

為什麼溫度較高時頻率較高呢？照道理說，溫度低時，蜜蜂將需要更多的熱量，應該是會振動較快、頻率較高才是。

在資料裡看到由關於搨風蜂的介紹（參考資料一、（六）），解開了疑惑。原來溫度較高時，蜜蜂需要振動較快來搨風，所以頻率較高。而溫度低時，蜜蜂因為本身不需要振動這麼快來搨風，所以頻率較低。

八、在做東方蜂實驗的時候，發現東方蜂不吃養殖蜂的食物冰糖或者花粉，便去拜訪專家尋找答案。據苗栗縣農業改良場的吳課長及章課長說，原因是因為東方蜂並未被馴服，所以較難接受已準備好的食物。而又有一項發現，是東方蜂離巢後的性情遠較養殖蜂溫和。照理來說應該是東方蜂（野生蜂）的性情較兇，我再次請教吳課長，但並未得到所需的答案，以後將繼續於這方面的研究。

捌、結論：

一、在本實驗中，推衍出蜜蜂的肩片與發聲關係，聶利實驗結果是蜜蜂肩片的振動發聲，但本實驗中指出蜜蜂主要發聲為翅膀振動的聲音，但去除翅膀後身體仍可振動發聲，發聲頻率較高，聲音卻很小。用手抓住蜜蜂身體，發現胸部強烈振動，據推測應該是蜜蜂胸部的振動發聲，證明蜜蜂不是只有一個發聲處。

二、在做分析蜜蜂的振頻時，所遇到的最大困難就是沒有儀器可以分析蜜蜂的振頻。實

驗中，我利用 Voicesync 程式（免費）、Shimmer Curve（免費）、電腦、麥克風組成簡易的頻譜分析儀器，一項不需要成本的儀器。此儀器可以分析 1Hz 到 1000Hz 的聲音，這是實驗中主要使用的儀器。

- 三、各溫度下蜜蜂的發聲頻率實驗中，我們得到了頻率會依著溫度的大小而改變，溫度高則頻率高，溫度低則頻率低。在 13°C 蜜蜂就不再發聲，也不再飛行了。
- 四、量測養殖蜂在各種狀況下的頻率分析，包括：夾住單翅、飛行時、自由發聲、去除雙翅，正常發聲。發現夾住單翅會對頻率產生下降的狀態；在飛行時的發聲頻率很明顯的高出正常發聲頻率，接近為 2 倍；在去除雙翅之後，量測其發聲關係，發現其頻率又較飛行時頻率高更多，約為正常的 3 倍，但是發聲較小，不易測得。
- 五、再一次用東方蜂來重複一次上述之實驗，結果雷同，「在飛行時的發聲頻率很明顯的高出正常發聲頻率，接近為 2 倍」以及「在去除雙翅之後，其頻率又較飛行時頻率高一點，約為正常的 3 倍。」相互比較養殖蜂與東方蜂的差異，發現東方蜂的頻率明顯高出養殖蜂，約高出 70Hz。
- 六、此外，在實驗過程中，還發現了許多關於蜜蜂的疑點，例蜜蜂可以發出許多種不同的發聲及頻率、為何東方蜂的頻率會高出養殖蜂的頻率、東方蜂的性情是否溫和等。十分可惜的是對於這些生物行為的差異，目前我並無足夠的知識來探究它，以後我會更加努力補充自己的相關知識，再深入去了解關於蜜蜂的生物行為。
- 七、未來，若是有人想繼續延伸我的論述，例如關於蜜蜂在各種情況下的發聲振頻，可以利用此實驗的簡易頻譜分析儀器。此儀器還可輕易辨別來電者的聲頻、樂器的校頻、測試雜音等問題，日常生活中許多聲音的問題都可用此解決。

玖、參考資料：

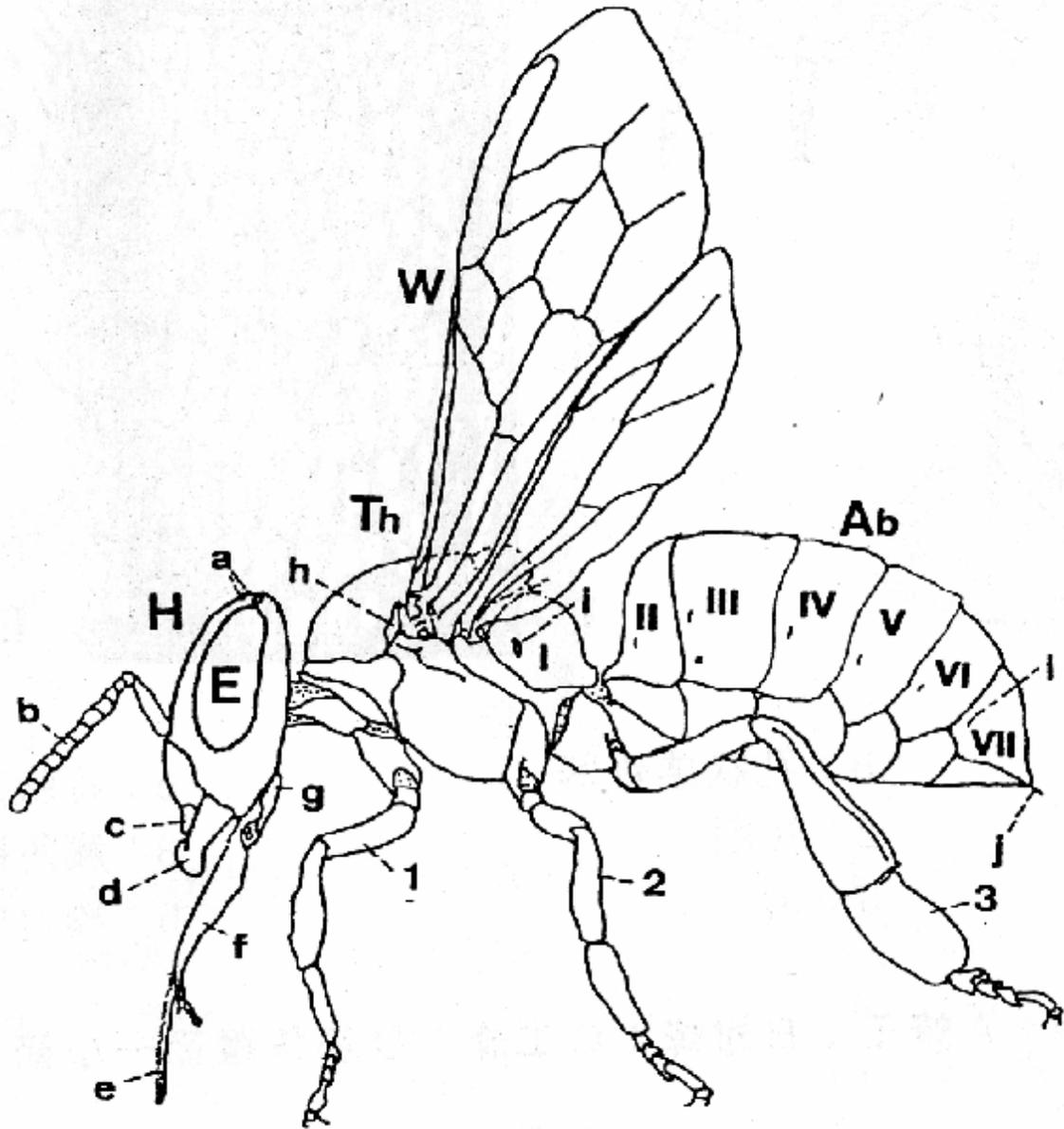
一、中文書籍：

- (一) 國立編譯館（民 91）。國中生物下冊（第十章—生物與環境）。國立編譯館。
- (二) 國立編譯館（民 91）。國中理化第一冊（第三章—聲音）。國立編譯館。
- (三) 安奎、何鎧光（民 86）。養蜂學。華香園出版社。
- (四) 章加寶（民 84）。蜂王漿生產與應用。中平印刷廠。
- (五) 吳登楨、吳輝虎（民 89）。實用養蜂。苗栗區農業改良場。

二、網路資訊：

- (一) 聶利（民 91 年 7 月 1 日）。蜜蜂不是靠翅膀振動而發聲的。取自：
<http://www.jljkp.com/newbak/2003-11-6/2003116162000.htm>
- (二) 雷朝亮、顏志立（民 92 年 11 月 20 日）。專家驗證聶利論文。取自：
<http://www.cnhubei.com/200311/ca365759.htm>
- (三) 何鎧光、安奎（民 91 年 3 月 27 日）。蜜蜂的小秘密。取自：
<http://www.beekeep.com.tw/story.htm>
- (四) 楊恩誠（89 年 6 月 21 日）。低溫是蜜蜂的剋星。取自：
<http://groups.google.com.tw/groups>

拾、附錄：



- | | | | | | |
|----------------|------|------|-------|------|--------|
| Ab：腹部 | E：複眼 | H：頭部 | Th：胸部 | W：翅 | I：前伸腹部 |
| II~VII：第二至第七腹節 | 1：前足 | 2：中足 | 3：後足 | a：單眼 | |
| b：觸角 | c：上唇 | d：大顎 | e：舌 | f：小顎 | g：下唇 |
| h：肩片 | i：氣孔 | j：蜚針 | | | |

圖 1：工蜂的外部構造

(資料來源：安奎、何鎧光。養蜂學。)

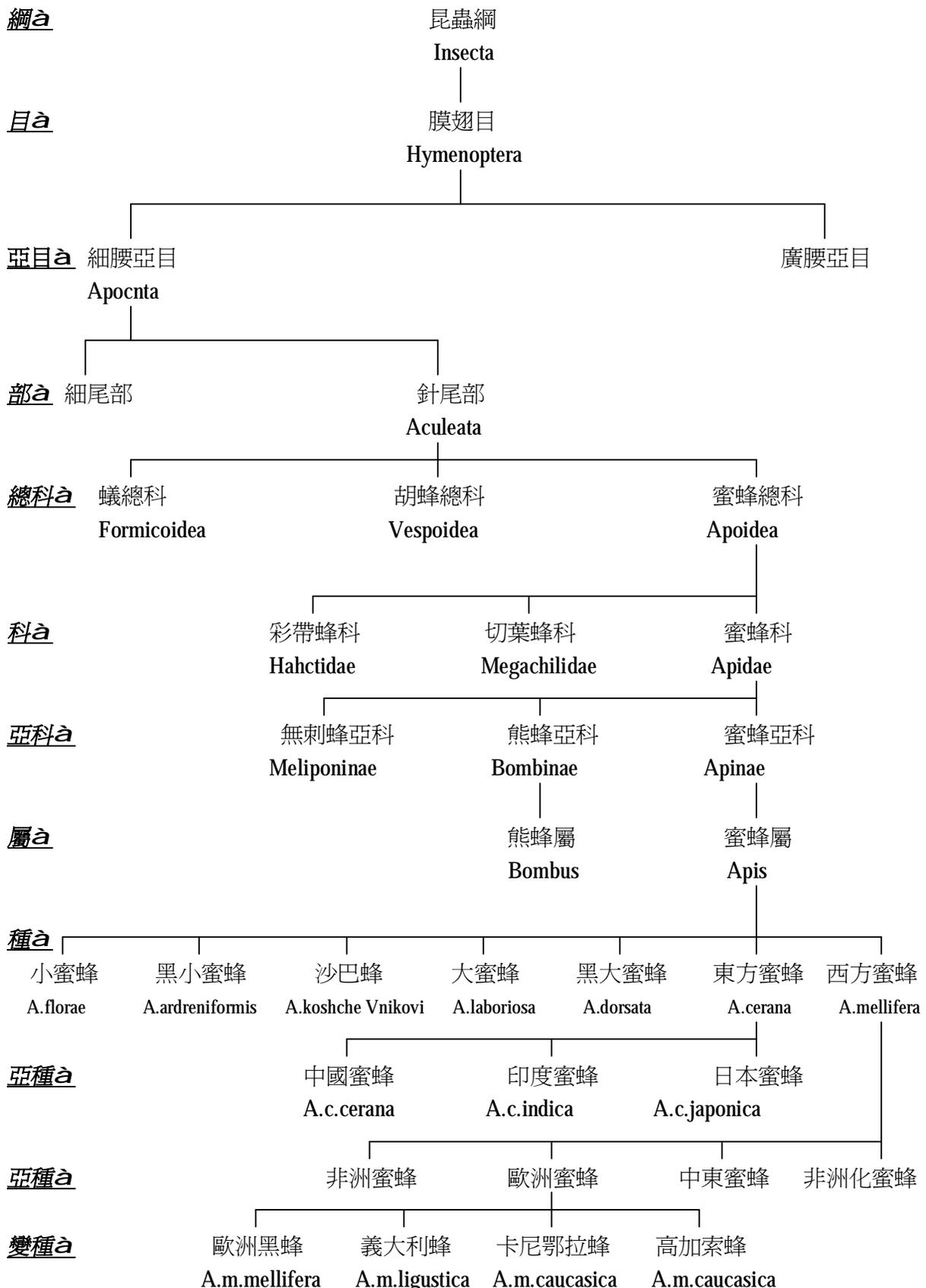
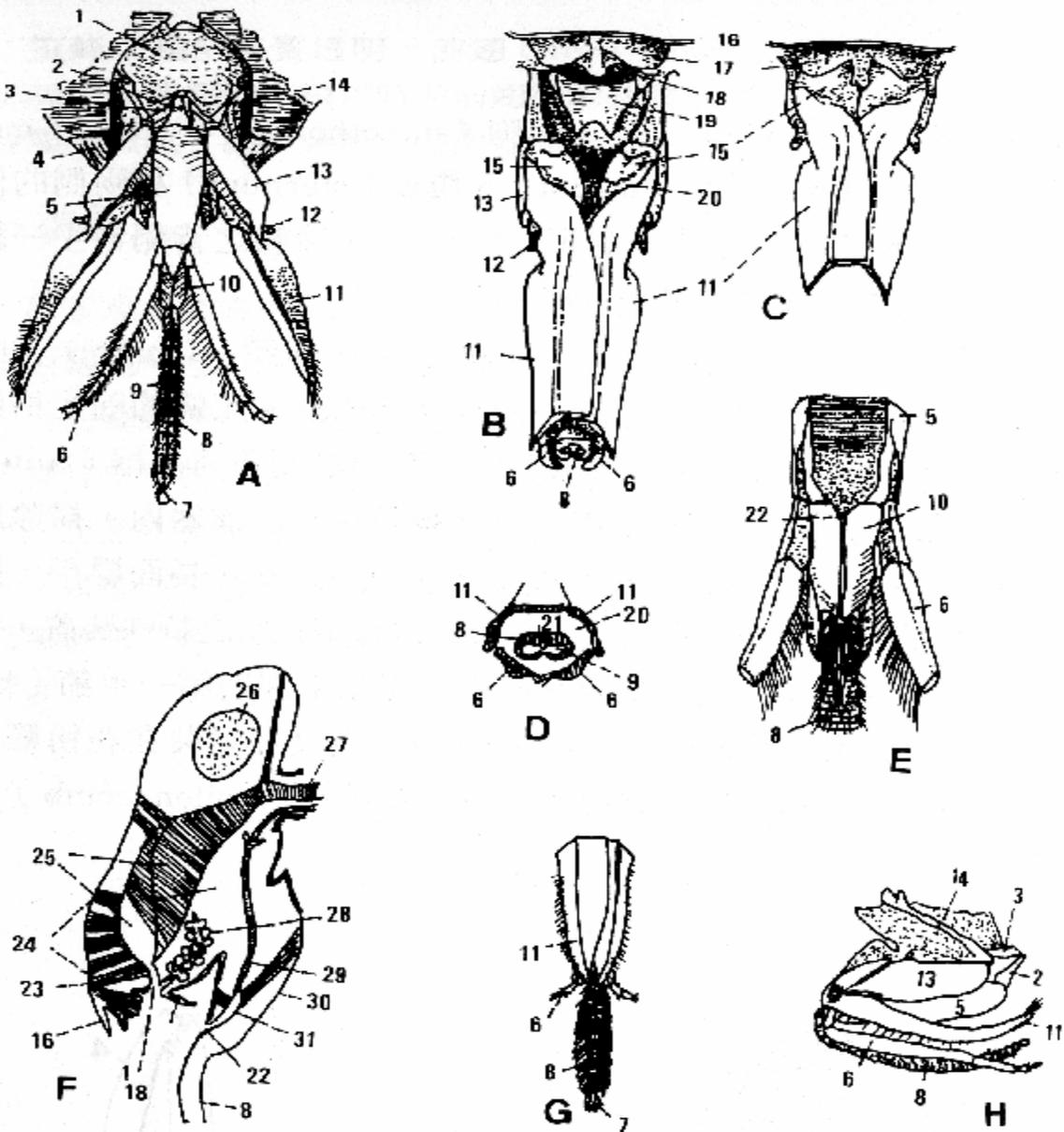


圖 2：蜜蜂分類圖表

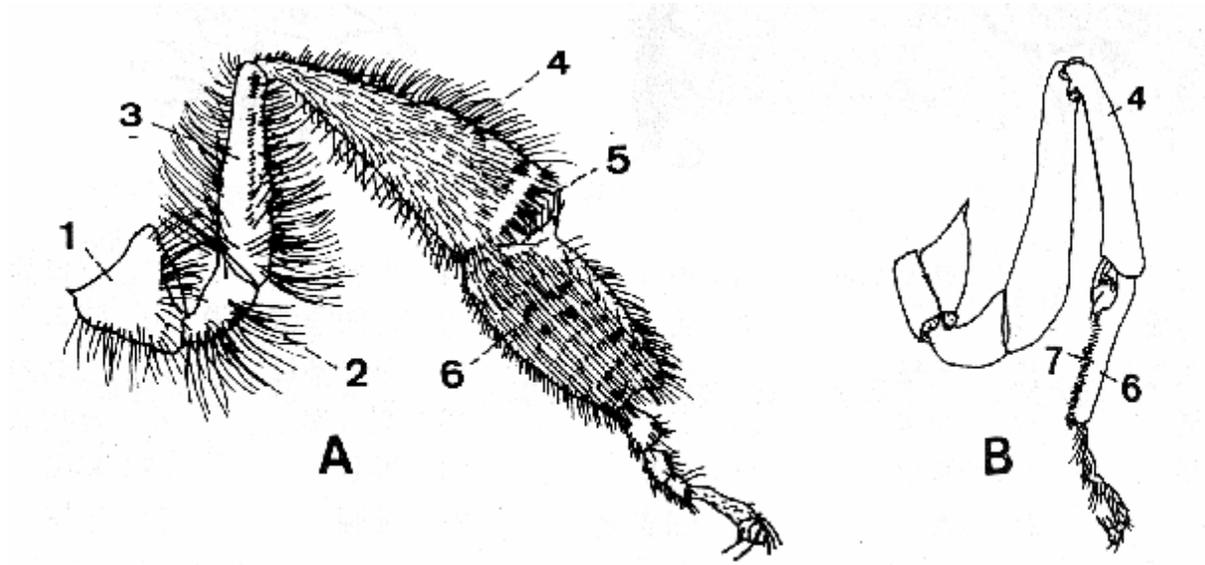
(資料來源：苗栗農業改良場--吳登楨課長提供)



- | | | | | |
|---------|---------|---------|----------|---------|
| 1：口吻窩 | 2：下唇後基片 | 3：角片 | 4：大顎 | 5：下唇前基片 |
| 6：下唇鬚 | 7：唇瓣 | 8：舌 | 9：舌內唾液通道 | 10：側舌 |
| 11：小顎外葉 | 12：小顎鬚 | 13：小顎主片 | 14：小顎基片 | 15：小顎內葉 |
| 16：上唇 | 17：上咽喉 | 18：口 | 19：圍口瓣 | 20：食物通道 |
| 21：舌桿 | 22：唾腺口 | 23：唇基 | 24：懸肌 | 25：咽喉 |
| 26：腦 | 27：食道 | 28：咽喉腺 | 29：唾腺 | 30：下唇 |
| 31：唾液袋 | | | | |

圖 3：工蜂之口器。A 口吻之後後面觀；B 口吻基部之正面觀，可見食物通道及口；C 同 B，口吻基部向口處密合；D 口吻中央部橫剖面；E 舌基部；F 頭部縱剖面；G 舌伸出之口吻端部；H 口吻內縮於頭下方之側面觀。

(資料來源：安奎、何鎧光。養蜂學。)



1：基節 2：轉節 3：腿節 4：脛節 5：花粉壓 6：第一跗節 7：毛列

圖 4：工蜂之足。A 後足：攜粉足之內側面；B 前足：清潔足。

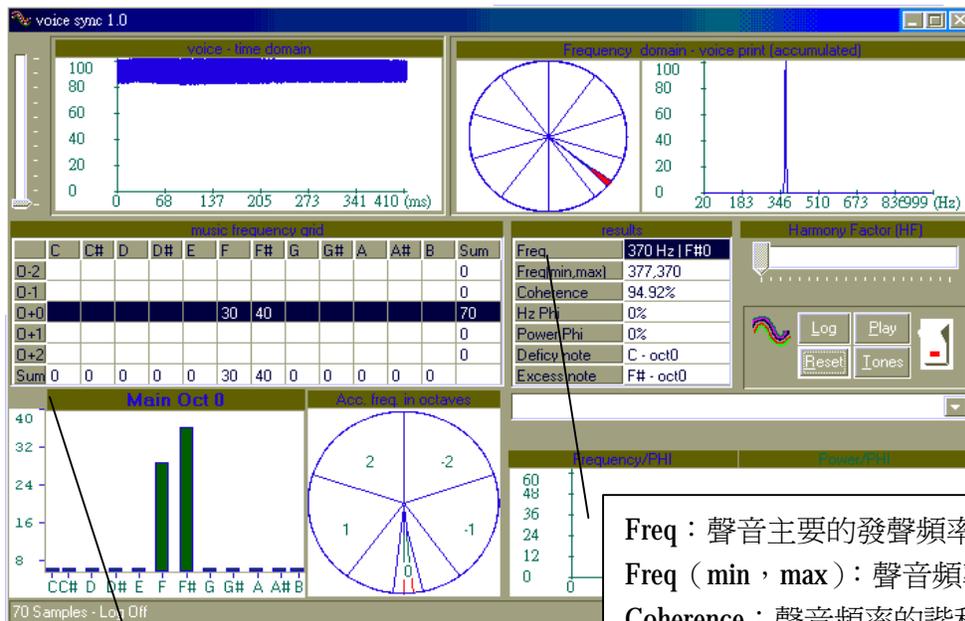
(資料來源：安奎、何鎧光。養蜂學。)



圖 5：頻率的分析裝置圖

聲音的波形

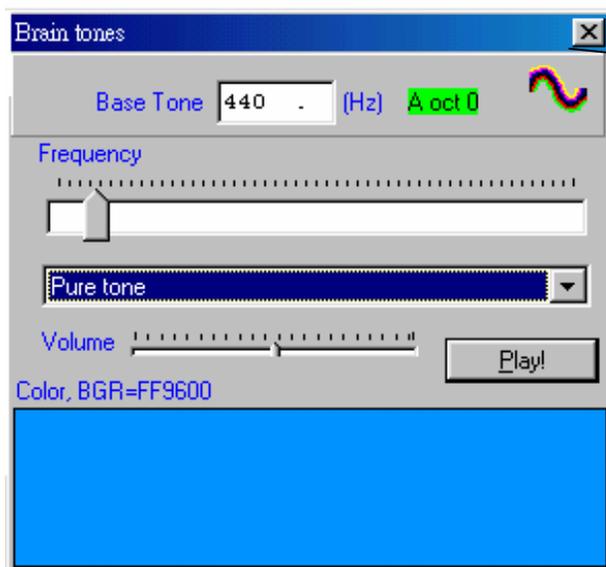
聲音以頻率表示
(最常出現為 100)



聲音以音調表示

Freq：聲音主要的發聲頻率，音調
 Freq (min, max)：聲音頻率出現的最小值，最大值
 Coherence：聲音頻率的諧和度比率
 Hz Phi：頻率的誤差值
 Power Phi：音量的誤差值
 Deficy note：缺陷音節
 Excess note：額外音節

圖 6：以 Voicesync 程式分析 370 音叉，解釋程式圖。



Base Tone：基礎頻率
 Frequency：頻率量表
 Volume：音量
 Color：音調以顏色表示
 Play：開始鍵

圖 7：Tone Gen 程式發出 440Hz 的聲音，解釋程式圖。

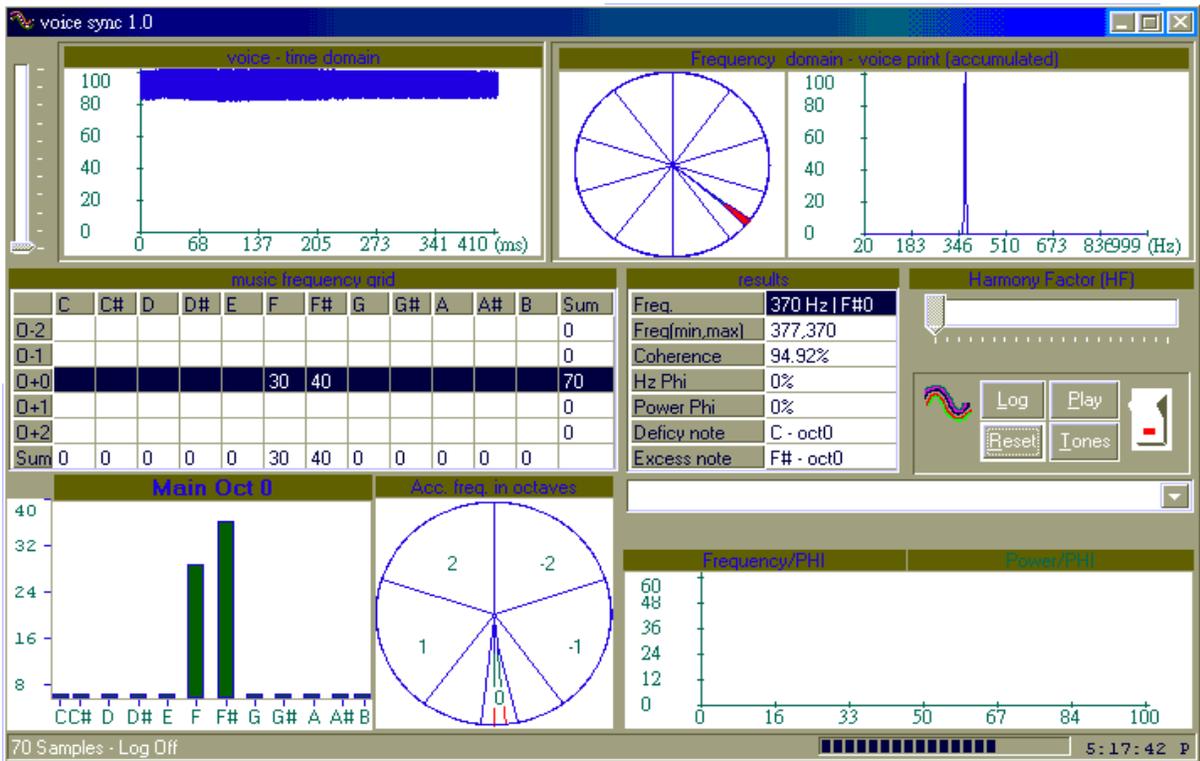


圖 8：以 Voicesync 程式分析頻率為 375Hz 的音叉之發聲

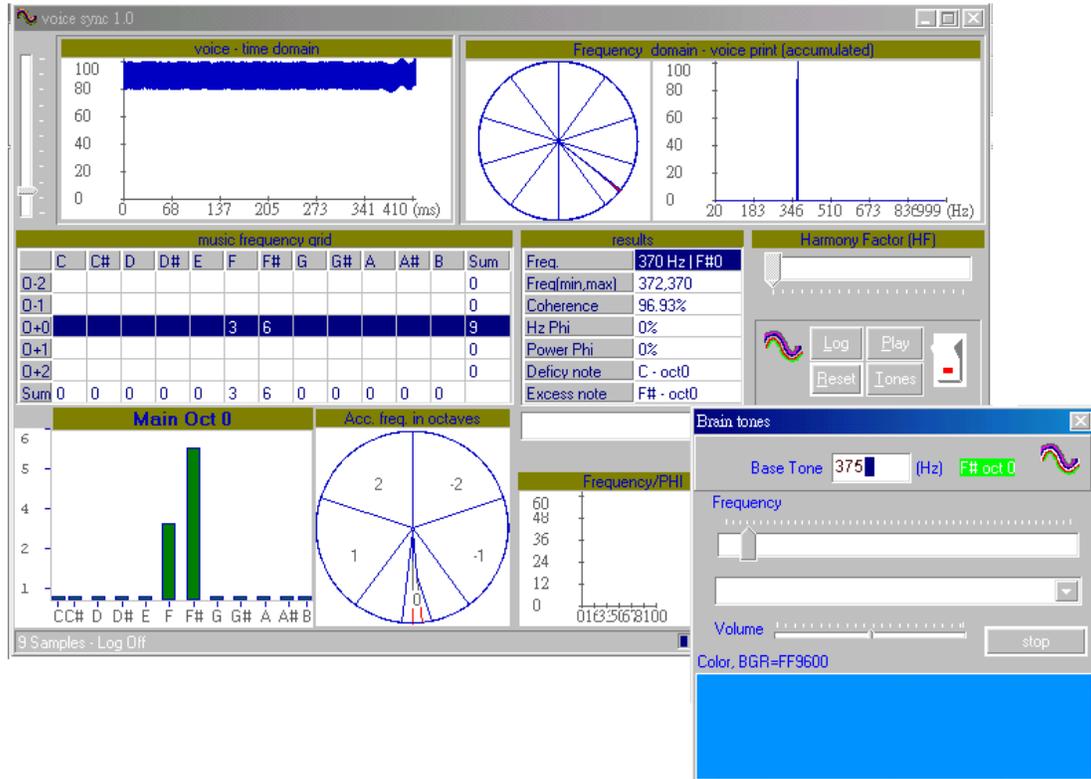


圖 9：以 Voicesync 程式分析 Tone Gen 的 375Hz 之發聲

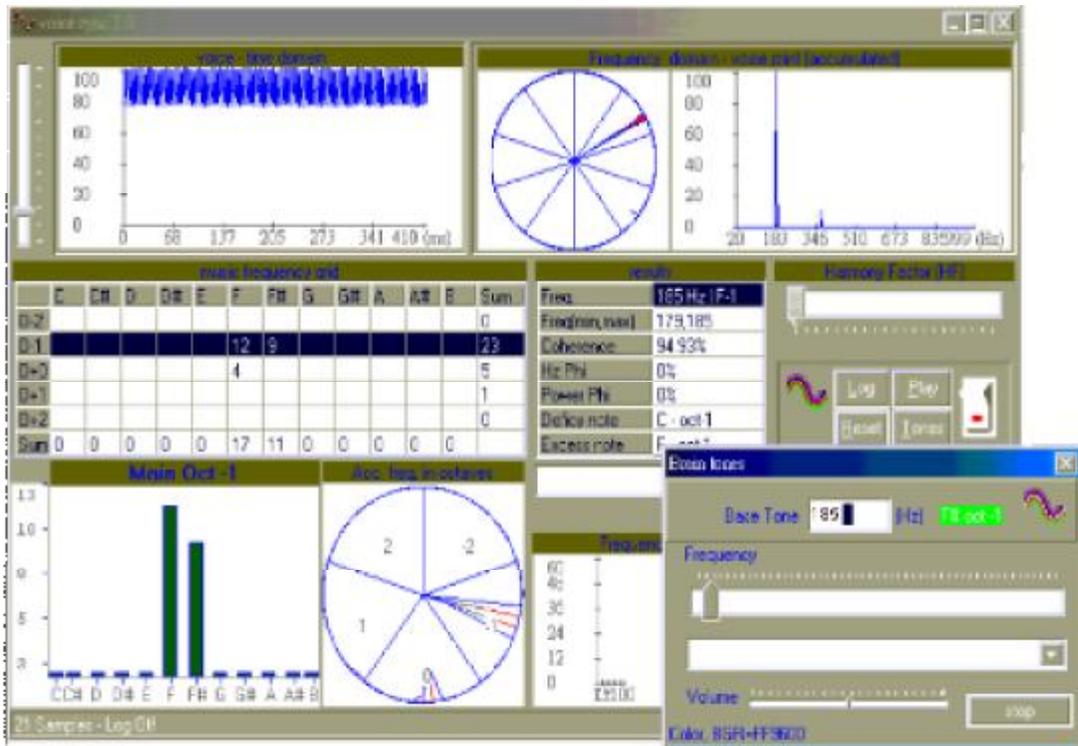


圖 10：以 Tone Gen 程式測量 Voicesync 程式的精度 185Hz

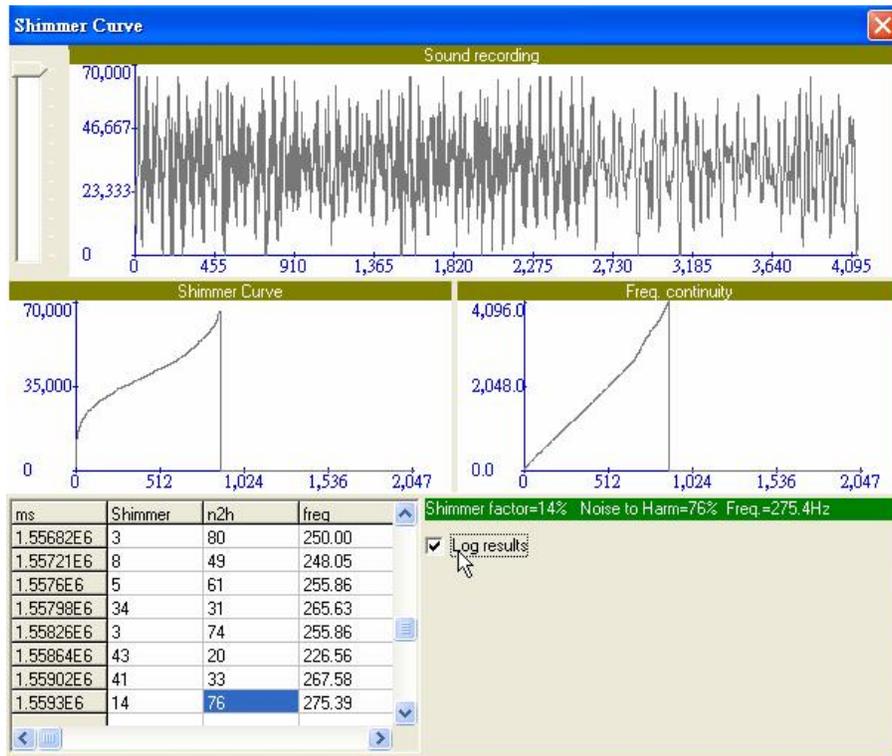


圖 11：Shimmer Curve 程式分析蜜蜂振頻



圖 12：改變溫度對蜜蜂振頻影響裝置圖

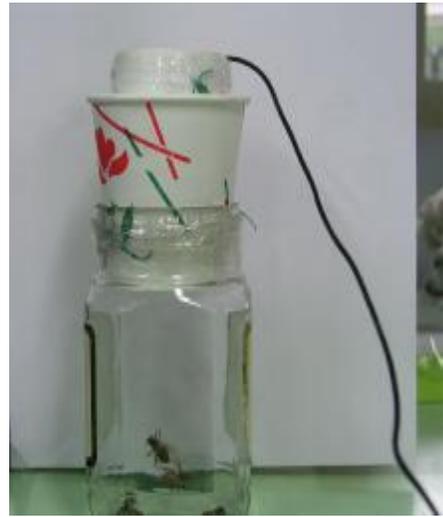


圖 13：量測蜜蜂的振頻裝置圖



圖 14：養殖蜂的照片



圖 15：東方蜂的照片



圖 16：東方蜂（左）養殖蜂（右）正立圖。



圖 17：東方蜂（左）養殖蜂（右）腹面圖。



圖 18：養殖蜂去除翅膀



圖 19：東方蜂去除翅膀

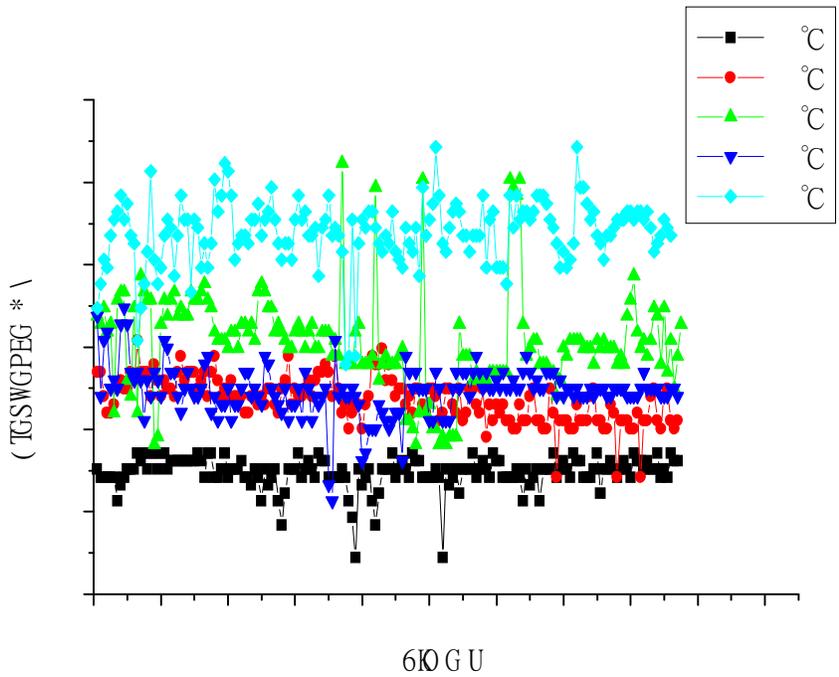


圖 20：養殖蜂於各溫度之振頻

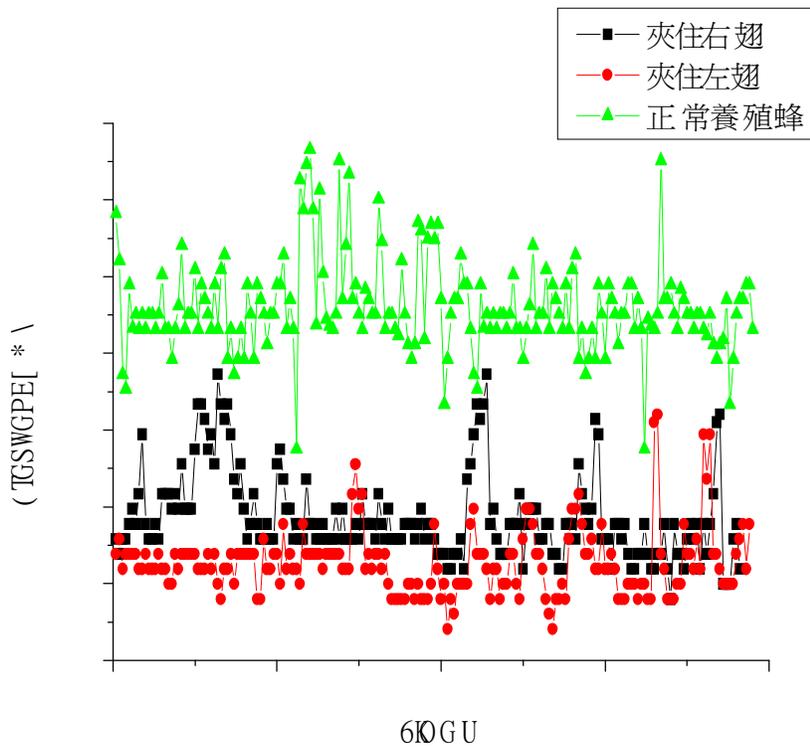


圖 21：分別夾住左右翅的養殖蜂與正常養殖蜂之振頻

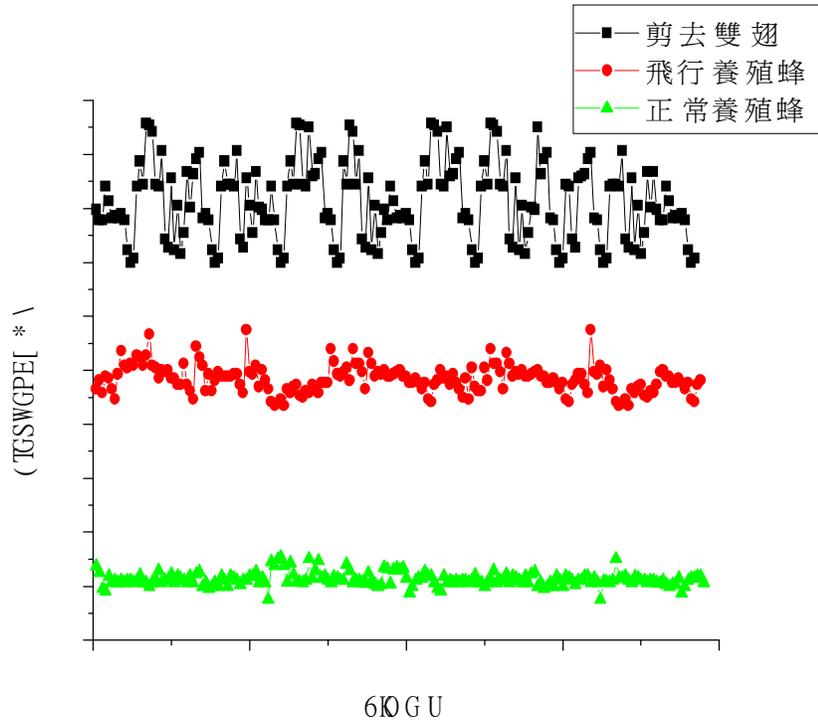


圖 22：剪去雙翅、飛行中的養殖蜂與正常養殖蜂之振頻

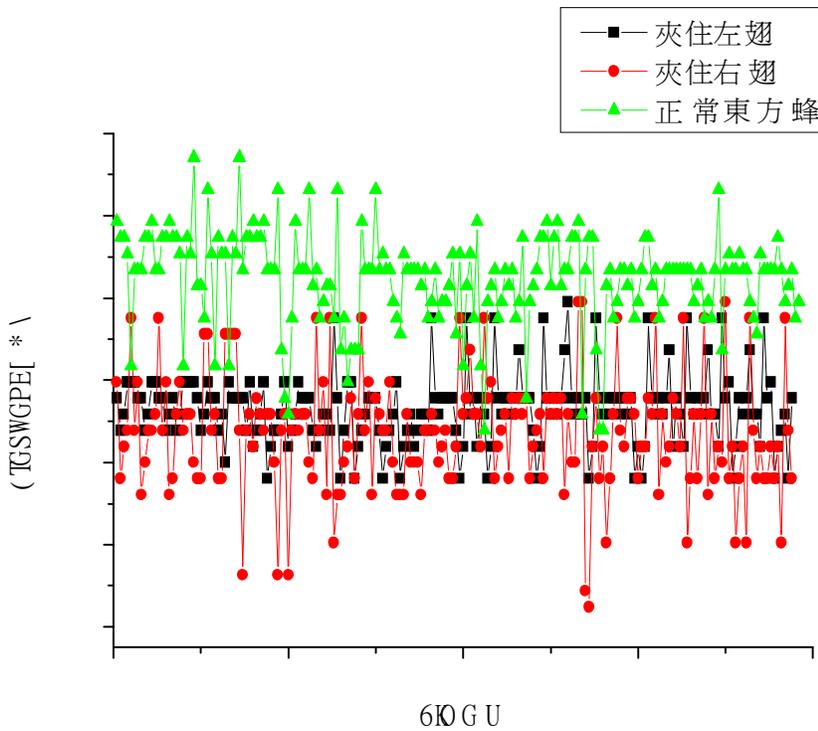


圖 23：分別夾住左右翅的東方蜂與正常東方蜂之振頻

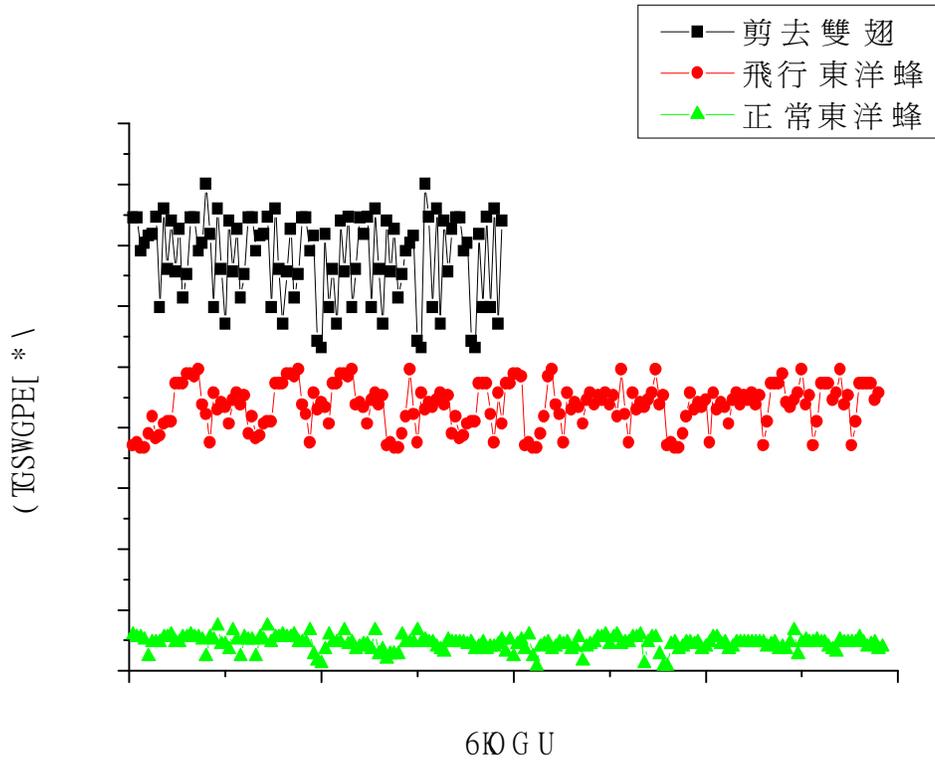


圖 24：剪去雙翅、飛行中的東方蜂與正常東方蜂之振頻

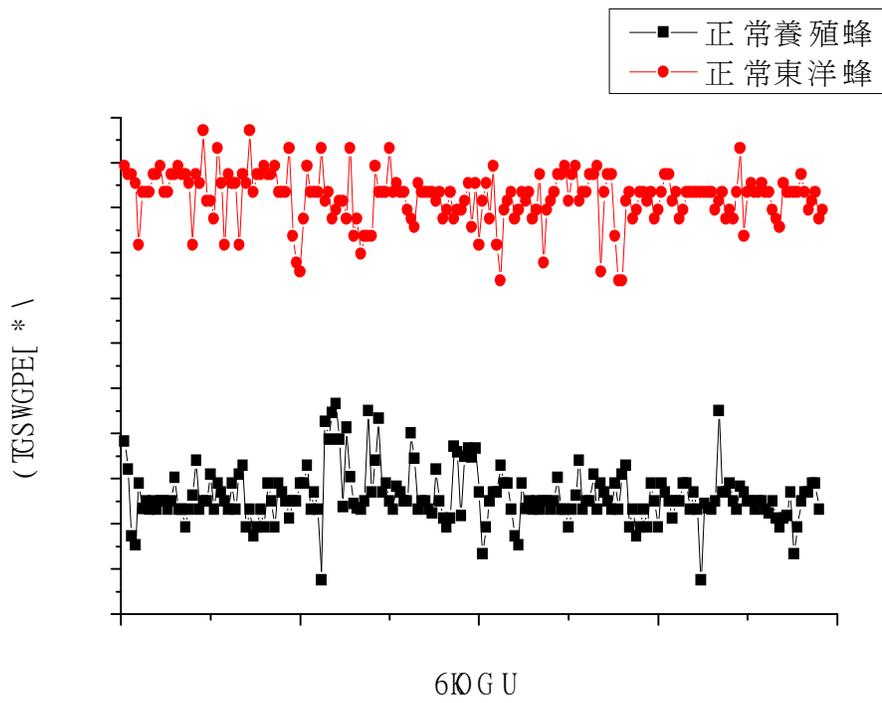


圖 25：養殖蜂與東方蜂之振頻

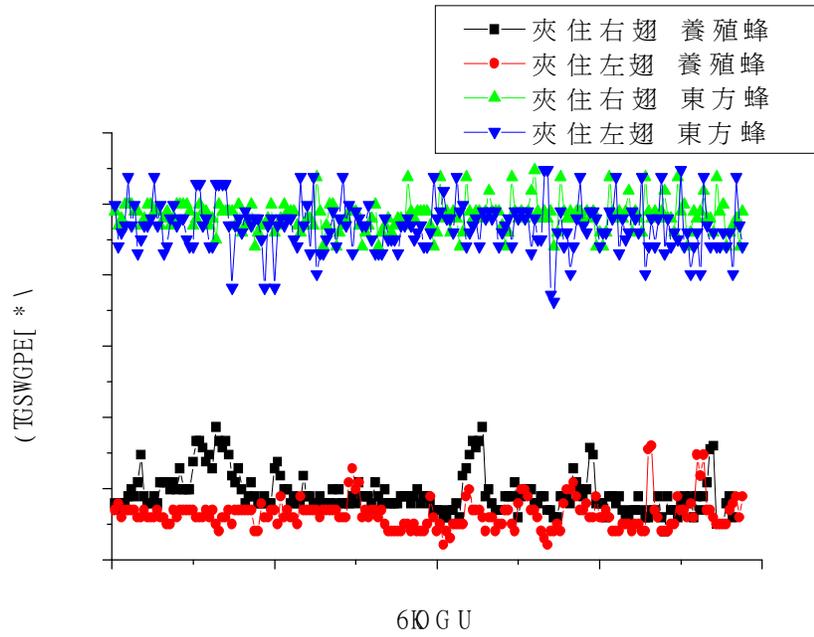


圖 26：分別夾住左翅右翅的養殖蜂與東方蜂之振頻

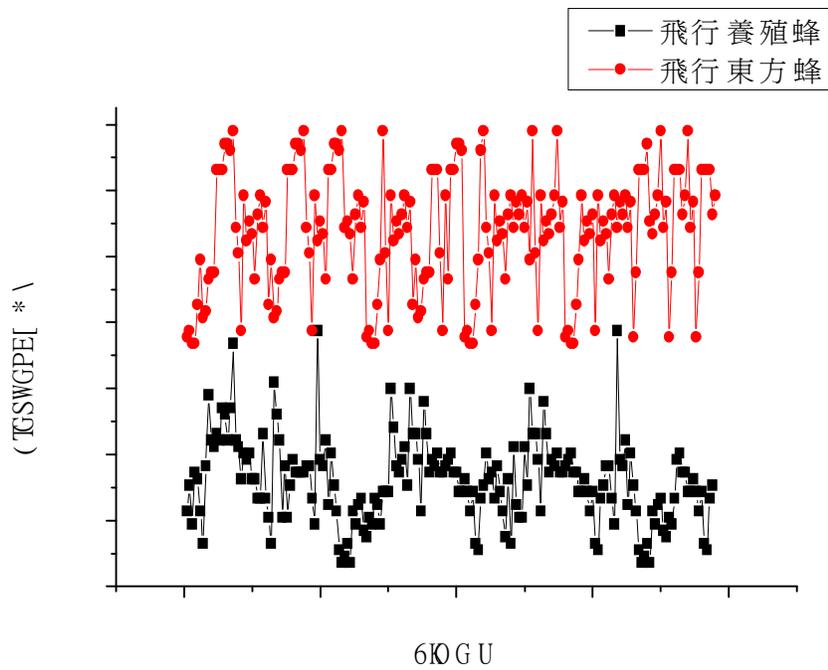


圖 27：飛行中的養殖蜂與東方蜂的之振頻

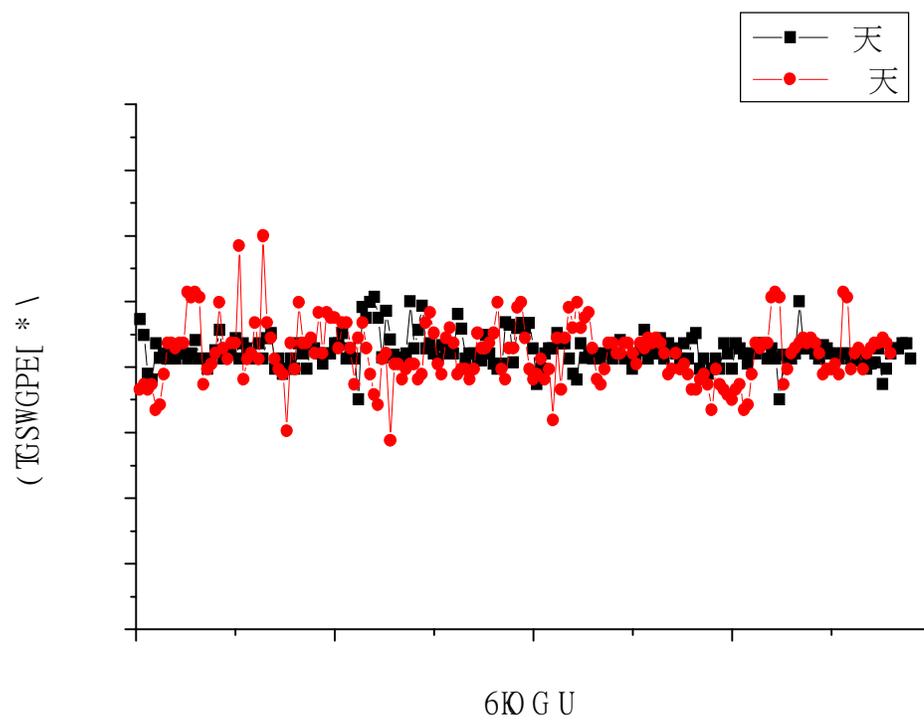


圖 28：新蜂與成蜂之振頻



圖 29：東方蜂蜂窩口圖

評語

030305 國中組生物科 第二名

利用簡易頻譜分析儀器研究蜜蜂的發聲與振頻

1. 結合數化資訊，實驗設計佳，表達亦佳。
2. 材料處理還需更詳細。