

臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：動物學

作 品 名 稱：利用自製頻譜儀研究蜜蜂的發聲系統

得 獎 獎 項：佳作

學 校 / 作 者：苗栗縣私立建台高級中學 張德惟



作者簡介：

自小生活在民風淳樸的苗栗，就讀一個小有名氣的私立學校，建台中學。每天的功課壓力，一度讓我覺得讀書是痛苦的，知識的擷取是用背來的。雖然與大自然的環境相處很久，卻沒有欣賞、研究的心情。

所以一直以來，「科學」這兩個字都與我無緣。感謝老師將我帶入「科學」這個殿堂，我如同新生兒一般盲目地爬行，幸好有老師扮演著嚮導的角色將我導入正途，固然吃了不少苦頭，但是源源不斷而來的科學新知有如醍醐灌頂，讓我知道科學的好玩及有趣，每天都過的好充實。我想，這就是我為何能夠持續這項實驗的主要原因吧！

聲明書

對於因為這個實驗之所需而有所傷亡或痛苦的所有蜜蜂，
個人至上無比崇高的敬意以及
謝意！

目次：

中文摘要.....	1
英文摘要.....	2
前言.....	3
研究過程或方法.....	4-6
研究結果與討論.....	6-10
結論與應用.....	11
參考資料.....	12

圖目次：

圖 1：自製頻譜儀實際影像圖.....	12
圖 2：Tone Gen 程式.....	12
圖 3：Shimmer Curve 程式.....	13
圖 4：Voice sync 程式.....	14
圖 5：自製控溫室.....	15
圖 6：義大利蜂各種狀態下頻率統整.....	16
圖 7：義大利蜂翅膀與頻率實驗統整.....	17
圖 8：蜜蜂不同翅膀狀態發聲平均頻率的比較.....	18
圖 9：蜜蜂在不同溫度下測量的頻率統整.....	19
圖 10：不同溫度蜜蜂發聲平均頻率的比較.....	20
圖 11：Voice sync 程式分析一群蜜蜂的頻率分布圖.....	21
圖 12：正常狀態義大利蜂、剪去前翅義大利蜂、剪去後翅義大利蜂在窩口.....	22
圖 13：剪去三分之一翅義大利蜂和正常狀態蜜蜂在窩口.....	23
圖 14：無翅蜜蜂及剪去二分之一翅蜜蜂.....	24
圖 15：義大利蜂與中華蜜蜂在兩種情況下的頻率統整.....	25
圖 16：義大利蜂與中華蜜蜂平均頻率的比較.....	26
圖 17：中華蜜蜂窩口圖.....	27
圖 18：義大利蜂窩口圖.....	27

中文摘要

本研究利用麥克風與相關電腦設備，結合成自製頻譜儀用以觀測多種情況下蜜蜂的聲音頻率。

若將蜜蜂的翅膀加以修剪，可測得有不同的頻率，解析頻率發現「翅膀為主要發聲點，但去除翅膀仍有高頻的發聲，且有三種不同的頻率。」

將蜜蜂置於不同溫度下，解析頻率得知「一定溫度範圍內，溫度越高蜜蜂發聲頻率越高，反之亦然。」

幼期在胸部塗顏料使絨毛無法生長，去除雙翅後，仍有頻率相近的發聲，得知「胸部絨毛不是造成高頻的原因。」靜置 5 分鐘，待蜜蜂停止發聲後，剪去腳、挑弄蜜蜂會發出高頻，得知「情緒是引起高頻的原因。」

將蜜蜂的翅膀加以修剪，分別放回蜂窩口，發現「同一族群蜜蜂可用發聲頻率來辨別同伴。」

比較義大利蜂及中華蜜蜂，得知「在多種情況下中華蜜蜂發聲頻率皆較義大利蜂高約 70 Hz。」因此本實驗之結論並不受蜂種影響。

英文摘要

The study, capitalizing on a hand-made frequency divider, the microphone and computerized equipment, observes a variety of frequency of sound given off by bees.

We read different frequencies from the apparatus when the bee's wings were trimmed. Analyzing it, we discover that the bee's wings are major source of its sound, but it still gives out high-frequency sound when the wings were completely cut off."

After analyzing the frequency, we discover that within a certain temperature range the higher the temperature is, the higher the frequency is, and vice versa.

In one experiment, we painted the thorax at its pupal stage to stop the bee from growing fine hairs. Even though the wings had been removed, it still gave out high-frequency sound. We, therefore, conclude that fine hairs on the thorax have nothing to do with the making of the sound.

In another experiment, bees were placed in an undisturbed environment until they are completely silent. Then, some of the bee's legs were cut off, while others were provoked. And all the bees make high-frequency sound in the process. We make a hypothesis that emotion could be the cause of bees' sound-making.

The bees with different trimmed wings were put back to the beehive; the bees can still recognize one another by the different sound frequencies.

If we compare *A. m. ligustica* with *A. c. cerana* under different conditions, we find that the frequency from the latter is about 70 Hz higher than that from the former.

壹、前言：

2001年秋，大陸女學生聶利發表了一篇論文「蜜蜂不是靠翅膀振動發聲」（聶利.2001.7）提出了黑點發聲的說法，跳脫了現有的認知範圍。在敬佩之餘，也激起了重重疑問，既然剪去了雙翅還能發聲，可知並非藉翅膀振動而發聲，那究竟是靠什麼發聲？是黑點？是肌肉？還是絨毛？此外，蜜蜂發聲的目的是什麼？溝通？通訊？還是另有其他涵義？另外，不同種類的蜜蜂，發聲方法和意義是否有所差異呢？而又要如何去測試和驗證這種說法是否正確？爲了找尋真理，展開了追逐蜜蜂發聲的蜜蜂之旅！

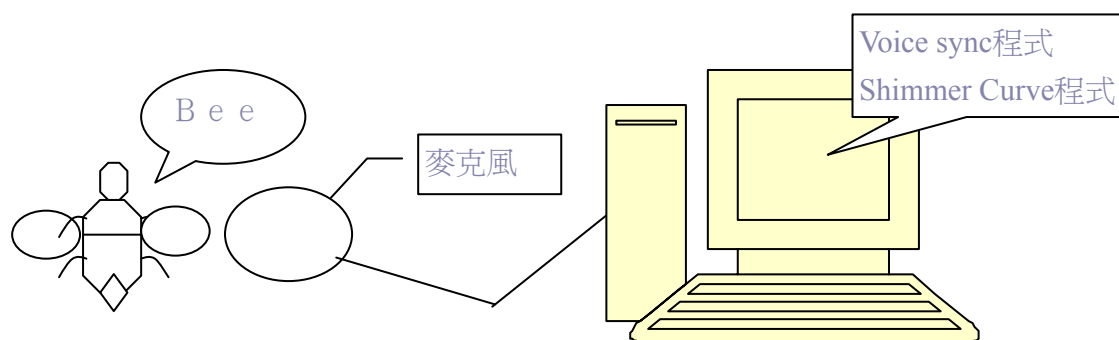
一開始，就遇到了難題。蜜蜂的發聲雖然不同，但是應該如何證明呢？由聲音想到了頻率，便聯想到了頻譜儀；不過市面上頻譜儀有如天價，令人非常煩惱。在老師指點之下，我使用電腦與上網搜尋的相關程式，發現可利用 Voice sync、Shimmer Curve、Tone Gen 等程式，配合麥克風收音，而完成了自製頻譜儀，這也是本研究的主要實驗器材。

本研究的主要目的，有下列5項：

- (一) 蜜蜂不同的翅膀狀態與頻率的關係
- (二) 不同溫度對蜜蜂發聲頻率的影響
- (三) 蜜蜂高頻發聲的研究
- (四) 不同頻率對於物種的影響
- (五) 不同蜂種（義大利蜂和中華蜜蜂）差異的討論

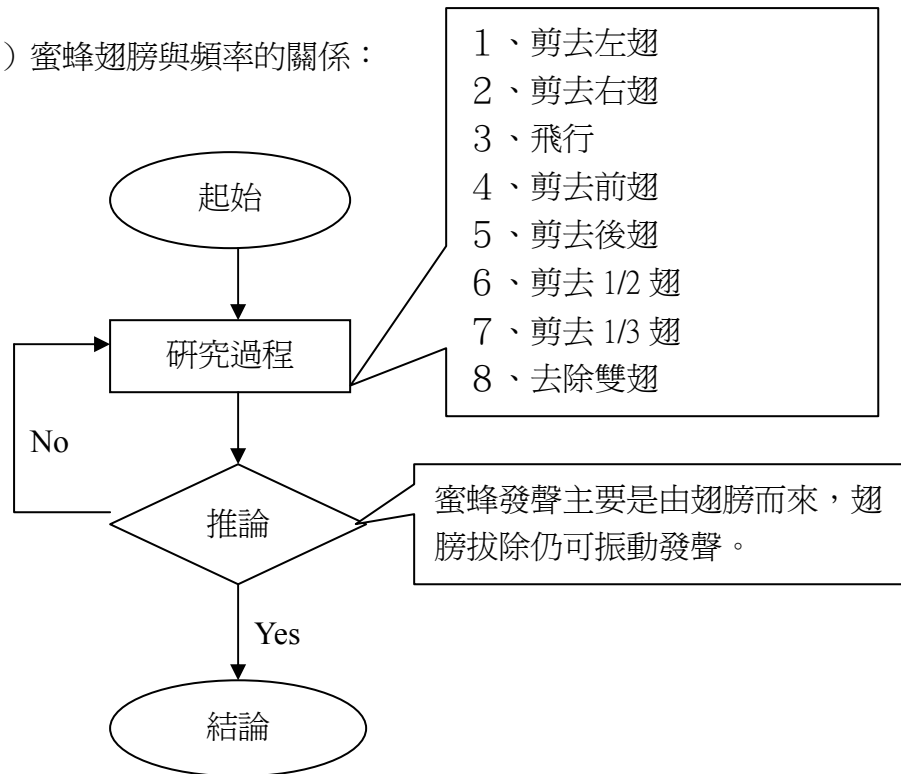
自製頻譜儀設計圖：

實際影像如圖1，程式解釋如圖2、圖3、圖4



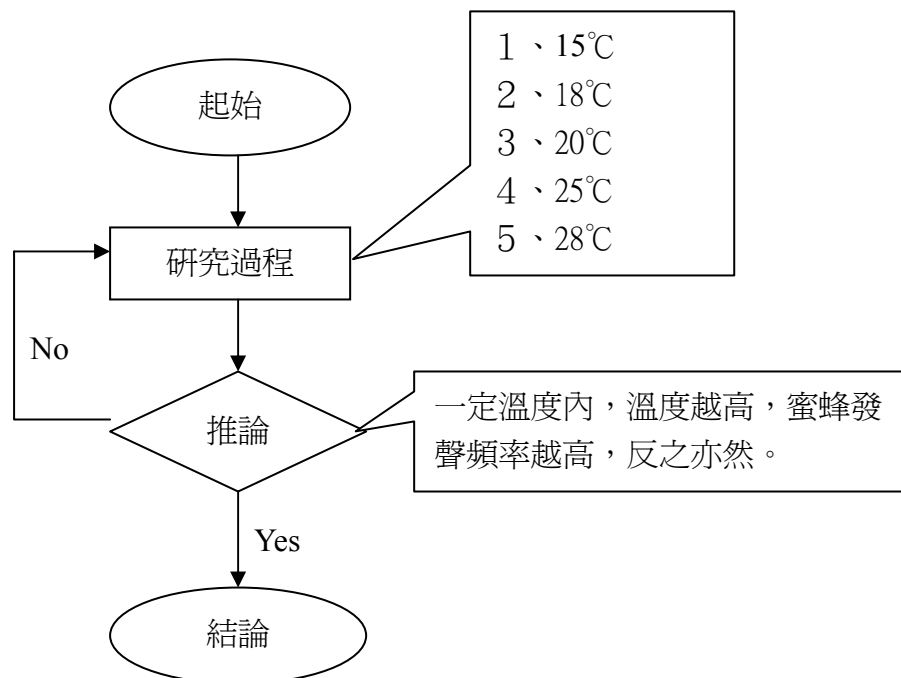
貳、研究過程或方法

(一) 蜜蜂翅膀與頻率的關係：



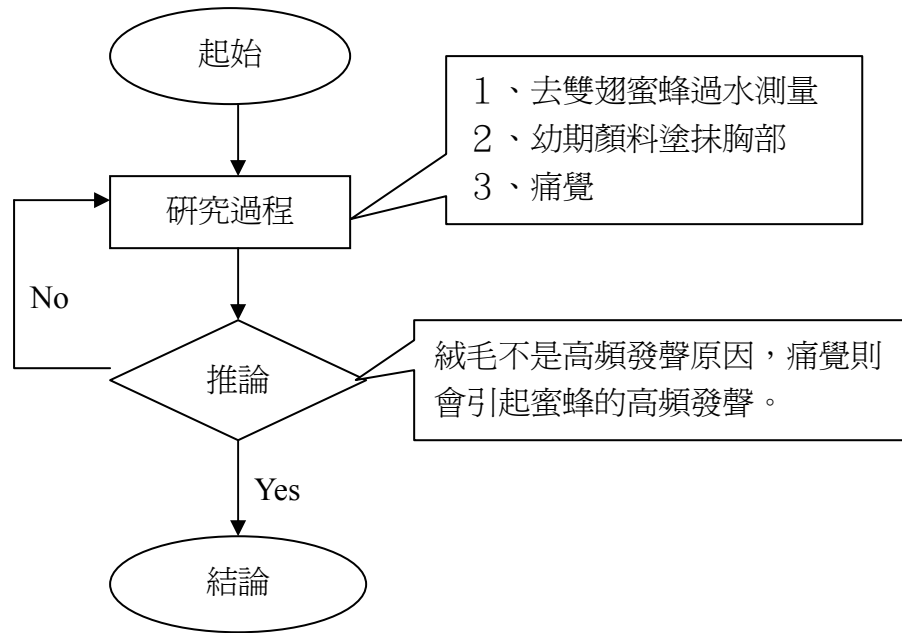
(註：實驗重複 3 次)

(二) 不同溫度對蜜蜂的發聲頻率影響：



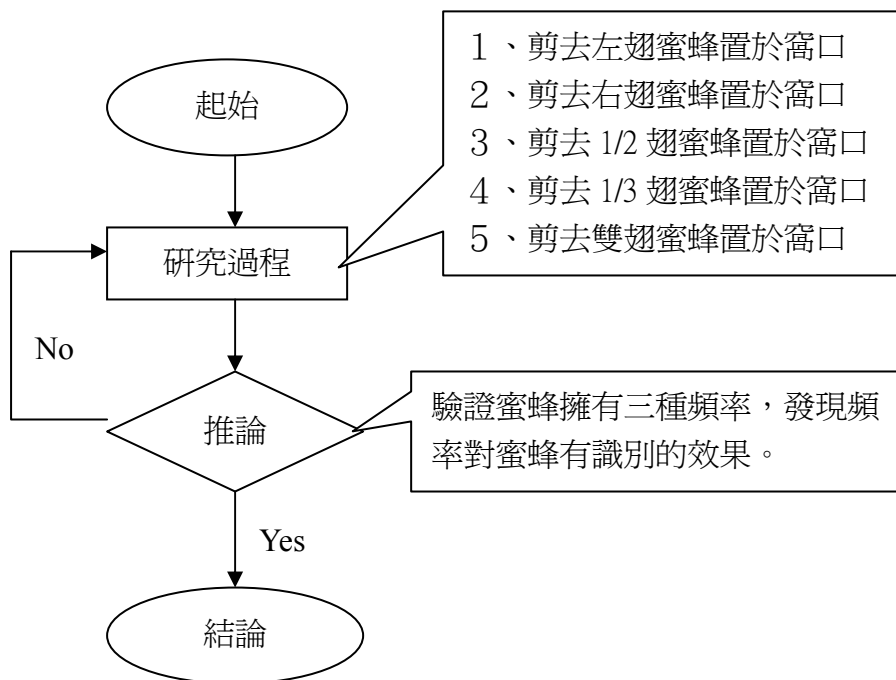
(註：實驗重複兩次) 自製控溫室，如圖 5。

(三) 蜜蜂高頻發聲的研究：



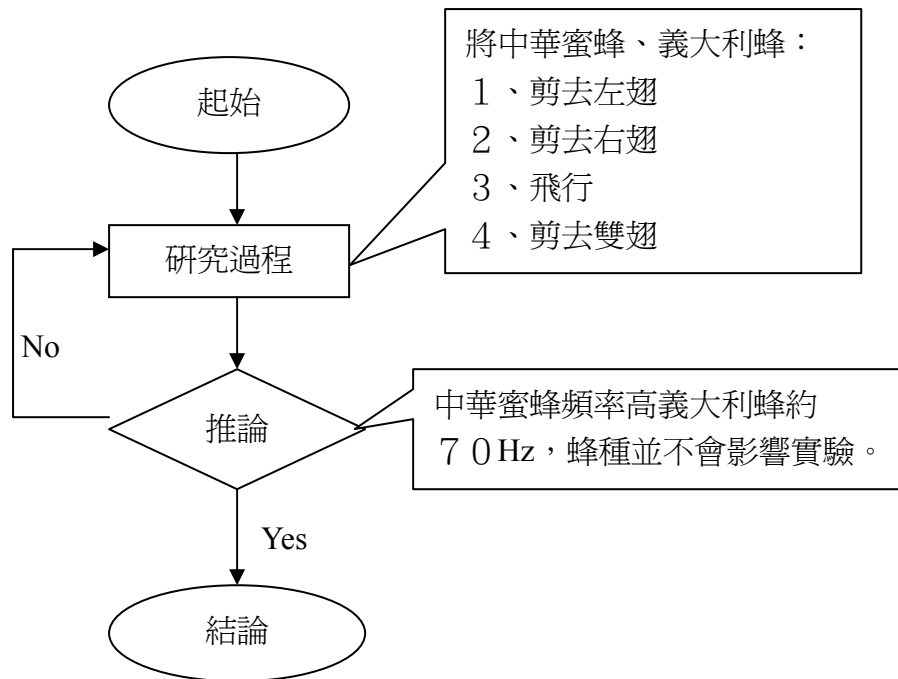
(註：實驗重複三次)

(四) 不同頻率對於物種的影響：



(註：實驗重複兩次)

(五) 不同蜂種差異的討論：



(註：實驗重複兩次)

三、研究結果與討論：

(一) 自製頻譜儀

自製頻譜儀，是整個主題的重要設備。不需要花錢去買儀器，只要有電腦、程式、麥克風，就能輕鬆分析聲音，頻率分析範圍於 1Hz 到 1000Hz 之間。

與一般常用的頻譜分析儀器 HP8560B、R3131A 來做比較，如下表：

頻譜分析儀器	自製頻譜儀	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)

(註：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，雖然個人設計的頻譜分析儀器在精度和準度上略遜一籌，但是就價格與操作的難易來說，個人所設計的儀器遠超過其他兩項頻譜分析儀器。

(二) 蜜蜂不同的翅膀狀態與頻率的關係：

將各種不同翅膀狀態的蜜蜂進行收音，得到蜜蜂完全翅膀狀態時之發聲頻率約為 206.91 Hz。而剪去蜜蜂左翅或右翅則分別得到 167.97 Hz 以及 173.83 Hz。而飛行中(夾住蜜蜂的腳，讓蜜蜂振翅發聲視為蜜蜂飛行)所測得的頻率為 419.92 Hz，將這三種實驗測得的結果統整，如圖 6。得知剪去一翅對頻率影響不大，但仍有所差異，而且在蜜蜂飛行的時候會有不同的頻率。

而測量剪去前翅和剪去後翅的蜜蜂發聲，頻率分別為 204.5 Hz 以及 207.75Hz，與正常的蜜蜂差不多，聲音卻比較小，尤其是剪去前翅蜜蜂，聲音小到幾乎無法測量。得知剪去前翅或後翅，並不會影響蜜蜂的發聲頻率。

剪去 1/2 翅與剪去 1/3 翅的蜜蜂發聲頻率分別是 397.46 Hz 及 293.47 Hz，然後進行剪去雙翅蜜蜂發聲的測量，得到的頻率為 553.29 Hz。將之與剪去 1/2 翅的蜜蜂和剪去 1/3 翅的蜜蜂頻率相比較，如圖 7、圖 8。得知蜜蜂發聲主要是翅膀所發出，翅膀短頻率高，翅膀長頻率低，但去除雙翅後蜜蜂仍可發聲，發出比平時要高出 350 多 Hz 的高頻聲音。

在此部分的實驗中，修剪蜜蜂全部或局部的翅膀，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。但是我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。

在做去除雙翅蜜蜂實驗中，發現去除雙翅後蜜蜂仍會發聲，但是音量較小，且發聲頻率較高，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，但觀察下發現胸部有強烈震動，並非所謂的肩片發聲。

而在剪去 1/2 翅與剪去 1/3 翅的蜜蜂實驗之中，照理說翅膀是發聲的來源，可是去除雙翅後還可以發聲，這證明了蜜蜂不只一個發聲點，且也不只具備單一頻率，而有比平時高出 350 多 Hz 的高頻聲音。

藉由此實驗的結果，得知蜜蜂不只一個發聲點，且有三種發聲，每種發聲的頻率皆不相同。

（三）不同溫度對蜜蜂的發聲頻率影響：

將 10 隻蜜蜂置於自製控溫室內，觀察並收音蜜蜂在各溫度下停留一分鐘情形，如下表：

杯內氣溫（℃）	網上蜜蜂隻數（隻）	義大利蜂的反應	頻率（Hz）
28	3	正常活動	207.79
25	4	正常活動	181.15
20	2	活動減少，行動略為遲緩	169.38
18	8	想往外飛	167.29
15	4	開始振動身體，翅膀未動	149.63
13	2	停止振動，只能略為走動	無
10	0	停止一切活動	無

將上述結果統整成曲線圖，如圖 9。得知一定溫度範圍內，溫度越高，蜜蜂發聲頻率越高，如圖 10。

在溫度與蜜蜂發聲頻率的實驗中，發現在 13℃ 的時候蜜蜂就不再飛行，很少活動。而在 10℃ 以後，就完全不動了。這與我所查的資料，13℃ 義大利蜂就不再飛行、10℃ 義大利蜂不再活動不謀而合。（安奎·養蜂學·民 86·初版）

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和老師的講解，解開了疑惑。溫度較高時，蜜蜂需要快速振動翅膀來搨風，使空氣流通以降溫，所以頻率較高。而溫度低時，蜜蜂因為本身不需要搨風降溫，所以振動頻率較低。而且蜜蜂是變溫動物，低溫時並不會自己維持本身的體溫。

（四）蜜蜂胸部發聲的原因：

既然蜜蜂去除翅膀還可以發聲，又發現蜜蜂胸部有強烈的振動，個人思考良久，覺得應該可能是胸部振動絨毛，絨毛相互摩擦而發出聲音；也可能是因胸部肌肉強烈振動而發聲，便著手進行研究。

蜜蜂去除雙翅之後，將之浸水，使絨毛沾水後進行收音，發現蜜蜂發出的高頻聲音改變不大，約 545Hz。因為若是絨毛振動可發聲的話，沾水後頻率應該有變，所以發聲可能與絨毛無關。此外，我又在蜜蜂幼期將顏料（普通的塑膠顏料）塗抹在蜜蜂胸部，讓蜜蜂胸部上的絨毛無法長出，也就杜絕了絨毛的因素，結果發現去除翅膀的此種蜜蜂仍會發出高頻，由此可知蜜蜂的絨毛與發聲無關。

將去除雙翅的蜜蜂靜置 5 分鐘後，蜜蜂便不再發聲了；之後剪去蜜蜂的腳，發現蜜蜂又開始發出那種高頻的聲音，靜置 5 分鐘後，蜜蜂又不再發聲了；由此可知痛覺是蜜蜂發出高頻的根據。若再在用竹筷挑弄蜜蜂，發現蜜蜂開始發出高頻的聲音，而且在網路上查找到蜜蜂處於攻擊狀態的時候，會有約 500Hz 的高頻聲音發出，於是進一步推知蜜蜂在情緒激動時會發出高頻之聲音。

痛覺對蜜蜂發聲的實驗中，發現了痛覺對蜜蜂頻率有一定的影響。若是如此，那到底是哪裡發聲的呢？可能原因為胸部絨毛摩擦發聲以及胸部肌肉強烈振動發聲。

討論第一種可能。因為胸部絨毛摩擦發聲應該不至於跟痛覺牽連上關係，況且平時胸部絨毛應該也會摩擦，那在整體測量聲音時，應該也有數據會顯現出；更何況此實驗中幼期塗抹顏料也已經證明了絨毛與發聲無關。

第二種可能是蜜蜂產生痛覺而肌肉強烈振動，像人類在痛覺產生時常伴隨著的是肌肉的痙攣。而且，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。所以推測應是蜜蜂的胸部肌肉強烈振動而發聲。

（五）不同頻率對於群體的影響：

把一群蜜蜂的發聲用麥克風收音並用相關程式分析後，互相比對，結果如圖 11。發現群體蜜蜂的聲音也分成兩種頻率，即 206.5Hz、391.98Hz，證實實驗中所提結果的正確性。蜜蜂的翅膀會發出兩種發聲頻率，即完全翅膀狀態、飛行狀態這兩種不同頻率的發聲。

將幾種翅膀狀態不同（分別剪去左右翅、分別剪去前後翅、剪去 1/2、1/3 翅、正常翅膀）的蜜蜂放置在人工蜂窩口，得到的結果如圖 12、圖 13、圖 14，發現因為翅膀不同而造成發聲頻率不一樣的蜜蜂，非但不能進入蜂窩，還可能遭受攻擊，由此得知發聲頻率對於蜜蜂有識別的效果。

此實驗中發現了發聲頻率與群體息息相關，發聲頻率很可能就是同一族群蜜蜂間互相辨認的關鍵。或許頻率是蜜蜂互相溝通的一種方式。

我們可以大膽的這樣假設，如果蜜蜂的 8 字舞是顯示花蜜的遠近、種類、多寡，那麼振翅的頻率差異可能就是蜜蜂日常溝通的語言。人類出現在地球不過兩百萬年，而昆蟲的存在早已超過了 4 億年，又怎麼能認定他們沒有各自的語言呢？

對於蜜蜂此種利用頻率來對話的方式，也許可以找出在某一頻率時，蜜蜂會更加努力的採花粉回巢。對於養蜂人家，這又何嘗不是一件好消息呢？

另外一個問題是難道蜜蜂認不出同種蜜蜂的樣子嗎？其實蜜蜂的視力是很差的，但是對於光線、振動的感覺卻十分的強烈，並無法靠視覺辨認同伴，由發聲頻率來辨別同伴也就顯得更加重要。

（六）不同蜂種的差異：

將完全翅膀狀態的中華蜜蜂進行收音，可測得發聲頻率為 274.46 Hz，而飛行與去除雙翅的中華蜜蜂發聲頻率分別為 410.15Hz 及 461.25Hz。將上述的結果與前述義大利蜂相對應的實驗結果統整做成曲線圖，如圖 15。比較發現中華蜜蜂發聲頻率比義大利蜂高，兩者相差 70Hz，如圖 16。由於中華蜜蜂在實驗的各種處理中，也是有不只一個發聲點、三種頻率的結果，得知此實驗蜂種的差別並不會影響到實驗結果。

在此實驗中，發現中華蜜蜂（一種東方蜂，是研究期間自行飛來山間築巢的野生蜂）不吃義大利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蜜蜂課課長說，這是因為此蜜蜂並未被馴服，所以較難接受已準備好的食物。此外，我發現中華蜜蜂離巢後的性情遠較義大利蜂溫和。照理來說應該是中華蜜蜂（野生蜂）的性情較兇，我再次請教蜜蜂課課長，但並未得到所需的答案，以後將繼續於這方面的研究。

深入觀察中華蜜蜂及義大利蜂他們的蜂窩，發現一項有趣的事。在蜂窩洞口的義大利蜂，都是頭朝外。而中華蜜蜂則相反，如圖 17、圖 18。這也將會列入我日後研究的範圍。

四、結論與應用：

(一) 在不同翅膀狀態蜜蜂的實驗中，得知剪去左翅、右翅、前翅、後翅都不會影響蜜蜂的標準頻率太大；剪去 1/2 翅和 1/3 翅的蜜蜂頻率則顯示了翅膀是蜜蜂的主要發聲體，翅膀短頻率高，翅膀長頻率低。當蜜蜂在飛行時，則有不一樣的發聲頻率，約為正常頻率的 2 倍；還有去除雙翅之後，蜜蜂會發出比正常頻率還要高 3 倍的頻率，觀察下判斷肩片應該不是發聲原因，但是可以確定蜜蜂有三種不同的頻率，也不止一個發聲點。

(二) 在不同溫度下觀察蜜蜂的反應，得知蜜蜂適應的溫度範圍在 30°C 到 10°C 之間。而測量其發聲，發現在此溫度範圍內，溫度越高蜜蜂發聲頻率越高，溫度越低則頻率越低，而 13°C 以下蜜蜂就不再發聲了。

(三) 將蜜蜂去除雙翅且浸水、幼期在胸部塗抹顏料、痛覺和情緒實驗，得知蜜蜂是因為痛覺或者情緒激動才會發出特別高頻的聲音，並推測發聲點是蜜蜂胸部的肌肉強烈振動造成的。

(四) 在比較蜜蜂群體的發聲後，得到了蜜蜂確實有三種發聲頻率的證據。若在蜂窩口放置不同發聲頻率的蜜蜂，可發現頻率對於蜜蜂來說，是同一族群彼此辨別的依據。

(五) 比較中華蜜蜂和義大利蜂的差別，發現中華蜜蜂在實驗的各種處理中，也是有不只一個發聲點、三種頻率的結果，所測得的頻率都比義大利蜂高約 70 Hz，可知實驗結果不會因蜜蜂種類不同而有所差異。

(六) 此外，我發現了許多有關於這個實驗的疑點，例如蜜蜂為何有三種不同的發聲頻率、頻率對於蜜蜂來說是否還有其他功能、不同的頻率對蜜蜂是否有不同的影響等等。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。

五、參考文獻

- (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.jlcp.com/newbak/2003-11-6/2003116162000.htm>
- (二) 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>
- (三) 安奎、何鎧光 (民 86)。養蜂學。華香園出版社。
- (四) 吳登楨、吳輝虎 (民 89)。實用養蜂。苗栗區農業改良場。

六、圖解：

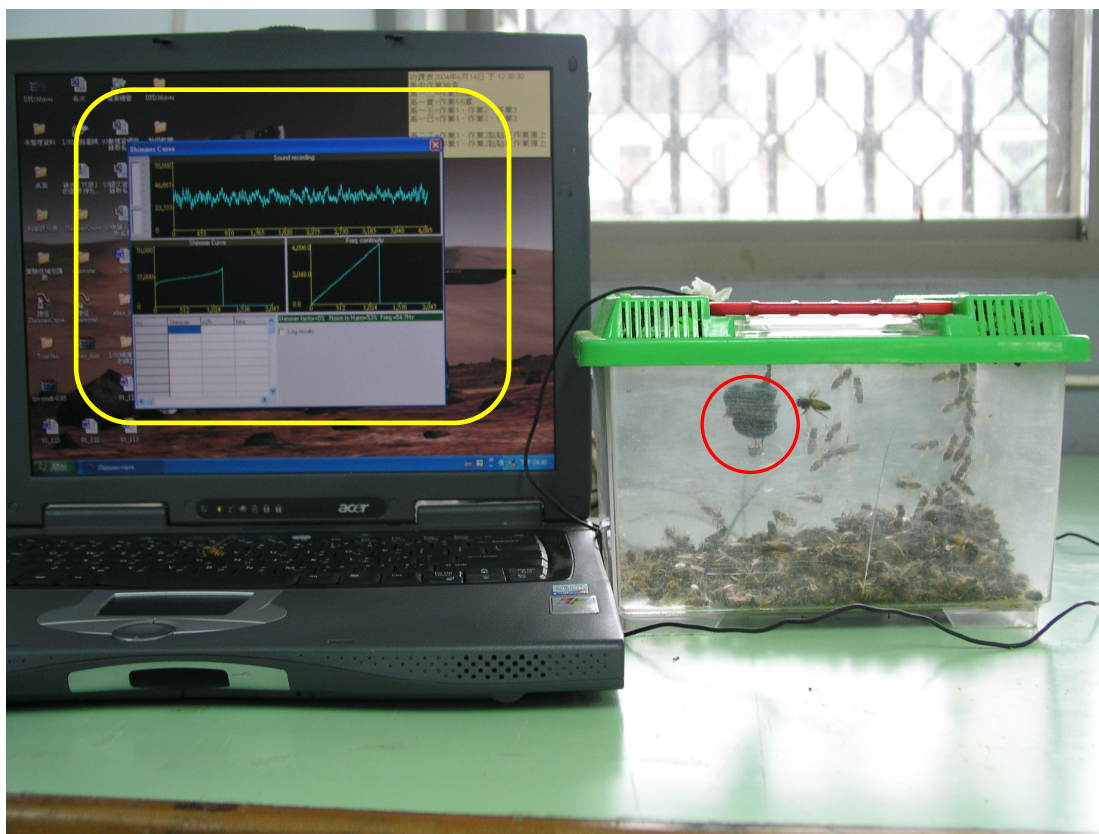
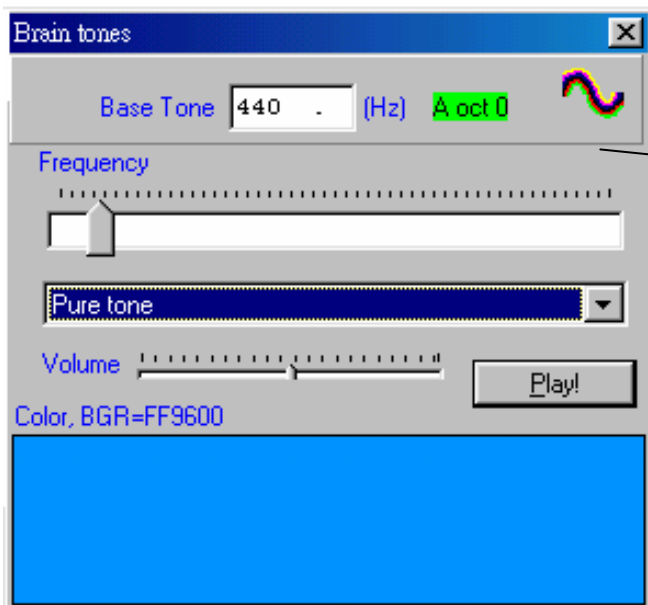


圖 1：自製頻譜儀實際影像圖

利用電腦加上麥克風（圖中的紅色圈圈處），將蜜蜂的發聲收音到電腦裡，再藉由電腦程式 Voice sync、Shimmer Curve，分析所得到蜜蜂的發聲。（圖中的綠色框框處）



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 2：Tone Gen 程式

Tone Gen 是一個程式讓電腦的音響發出選擇的頻率，自製頻譜儀的精度和準度，也是利用此程式測量出。

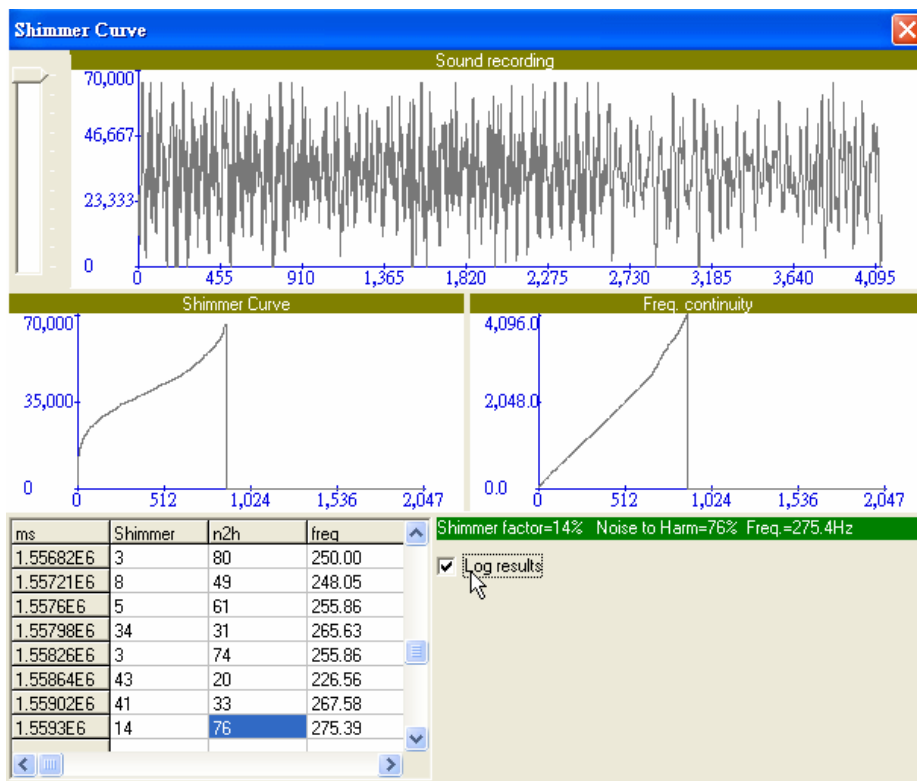


圖 3：Shimmer Curve 程式

利用 Shimmer Curve 程式可測得聲音的波形、每 0.5 秒的頻率、頻率的紀錄，為自製頻譜儀的主要程式之一。

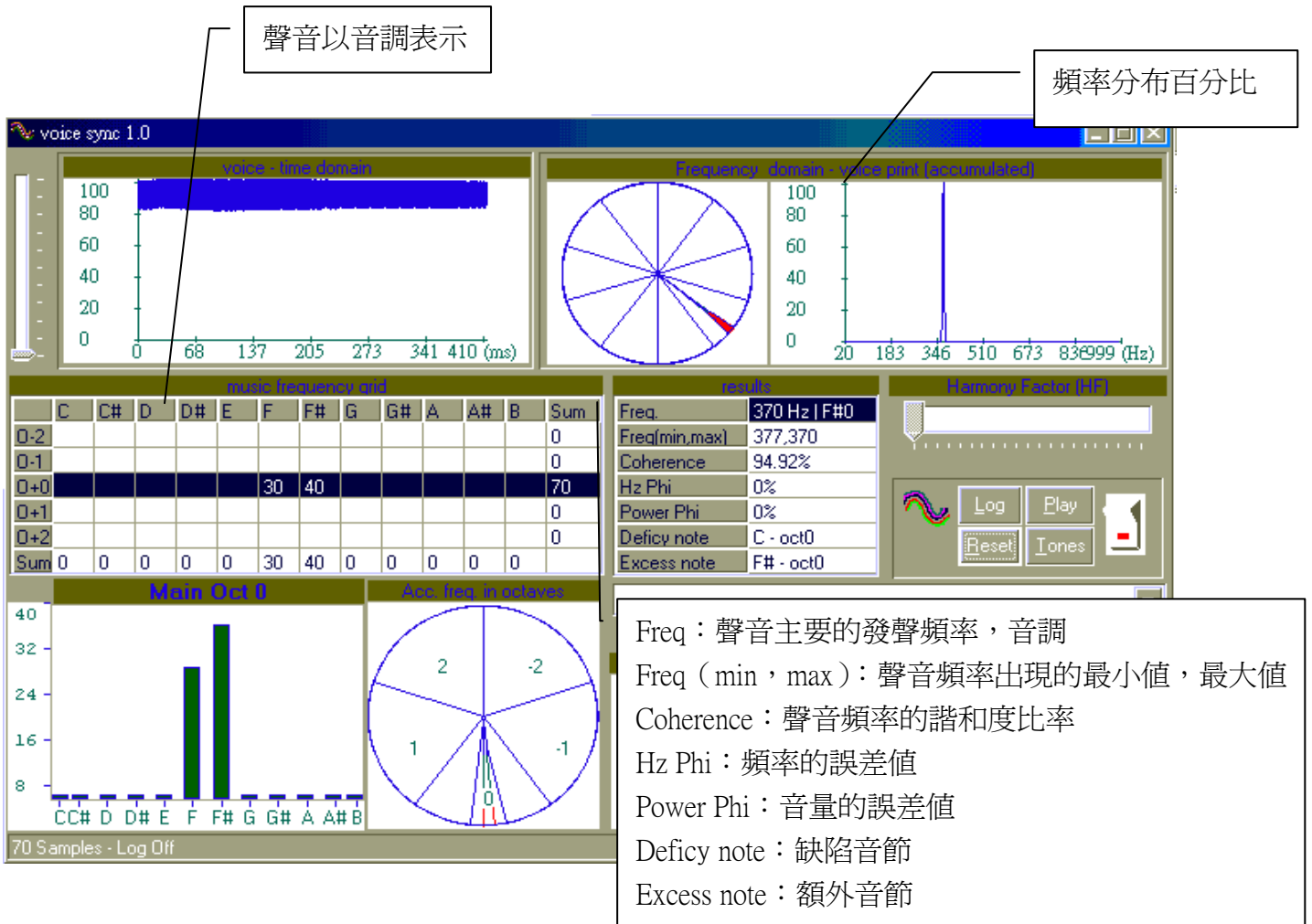


圖 4：Voice sync 程式

利用 Voice sync 程式可測得聲音的波形、音調以及頻率的分布，為自製頻譜儀的主要程式之一。



圖 5：自製控溫室

利用簡易的工具，就可以達到控溫的目的。圖中寶特瓶是放置在冰庫冷凍後，特別用來調節溫度的工具，而加熱部分，我則利用電湯匙在其他容器先加熱水，然後慢慢調節室溫。我將溫度計插入放置受測物的瓶子裡，並且不接觸瓶壁，以達到實驗溫度的準確性。

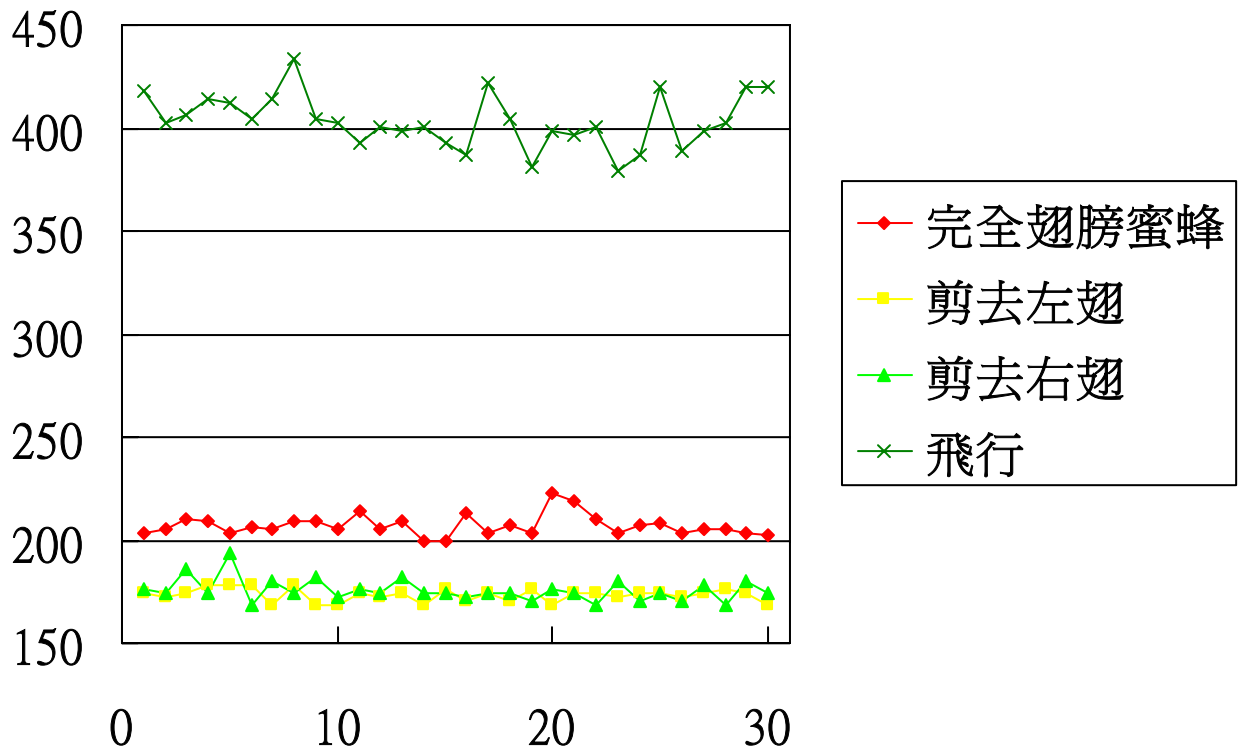


圖 6：義大利蜂各種狀態下頻率統整

圖中，橫軸代表時間（秒），縱軸代表所相對應的頻率（Hz），紅色是完全翅膀狀態的蜜蜂發聲頻率，黃色是剪去左翅蜜蜂發聲頻率，綠色是剪去右翅蜜蜂發聲頻率，深綠色則是飛行狀態的蜜蜂發聲頻率。

由圖中可得知，剪去左翅或右翅雖然會讓頻率降低，但很明顯飛行狀態蜜蜂的發聲是與正常狀態蜜蜂的發聲是不一樣的。因此，蜜蜂可發出兩種不同的頻率。

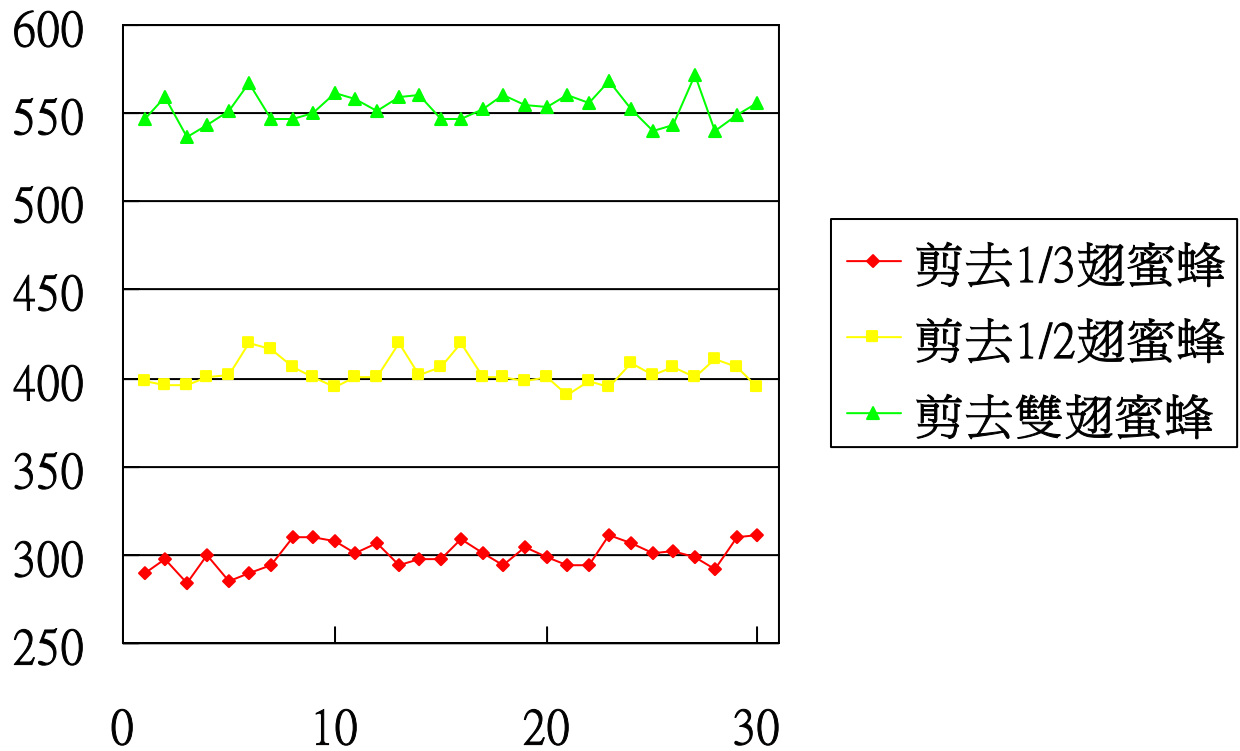


圖 7：義大利蜂翅膀與頻率實驗統整

圖中，橫軸代表時間（秒），縱軸代表所相對應的頻率（Hz），紅色是剪去 1/3 翅蜜蜂的發聲頻率，黃色是剪去 1/2 翅蜜蜂的發聲頻率，綠色是剪去雙翅蜜蜂的發聲頻率。

由圖中可以得知，這三種的頻率發聲都很大的差異，而個人將這三種發聲的平均頻率，397.46 Hz、293.47 Hz 及 553.29 Hz，畫在圖上比較，如圖 8。

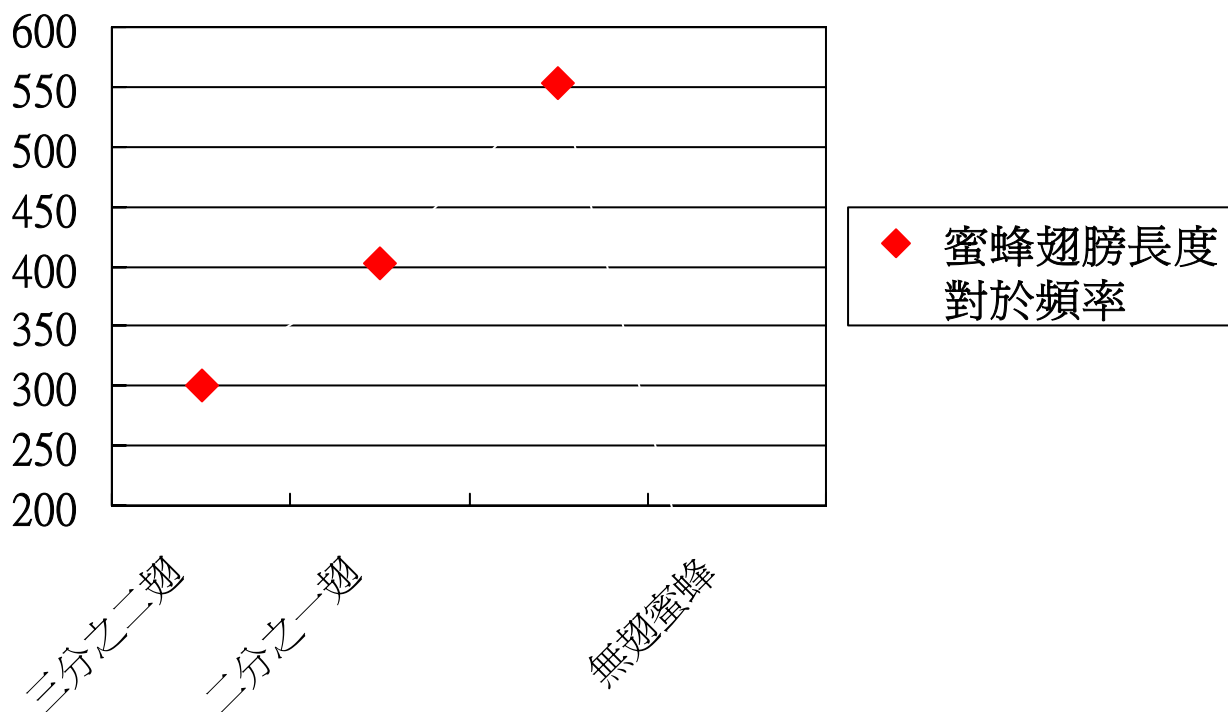


圖 8：蜜蜂不同翅膀狀態發聲平均頻率的比較

圖中，橫軸是所代表平均頻率的樣本實際狀態，縱軸是頻率（Hz），第一個點代表的是三分之二翅蜜蜂的發聲平均頻率，第二個點代表的是二分之一翅蜜蜂的發聲平均頻率，第三個點代表的是無翅蜜蜂的發聲平均頻率。

由圖中可知，三分之一翅蜜蜂和二分之一翅蜜蜂的發聲頻率與翅膀長度成反比，而照此軌跡下去，無翅的蜜蜂發聲頻率應該是無窮大，但是在此卻只有高出 1/2 翅蜜蜂頻率 150Hz，而此可知，無翅蜜蜂的發聲，並不是因為翅膀而來，得知蜜蜂不只一個發聲點。

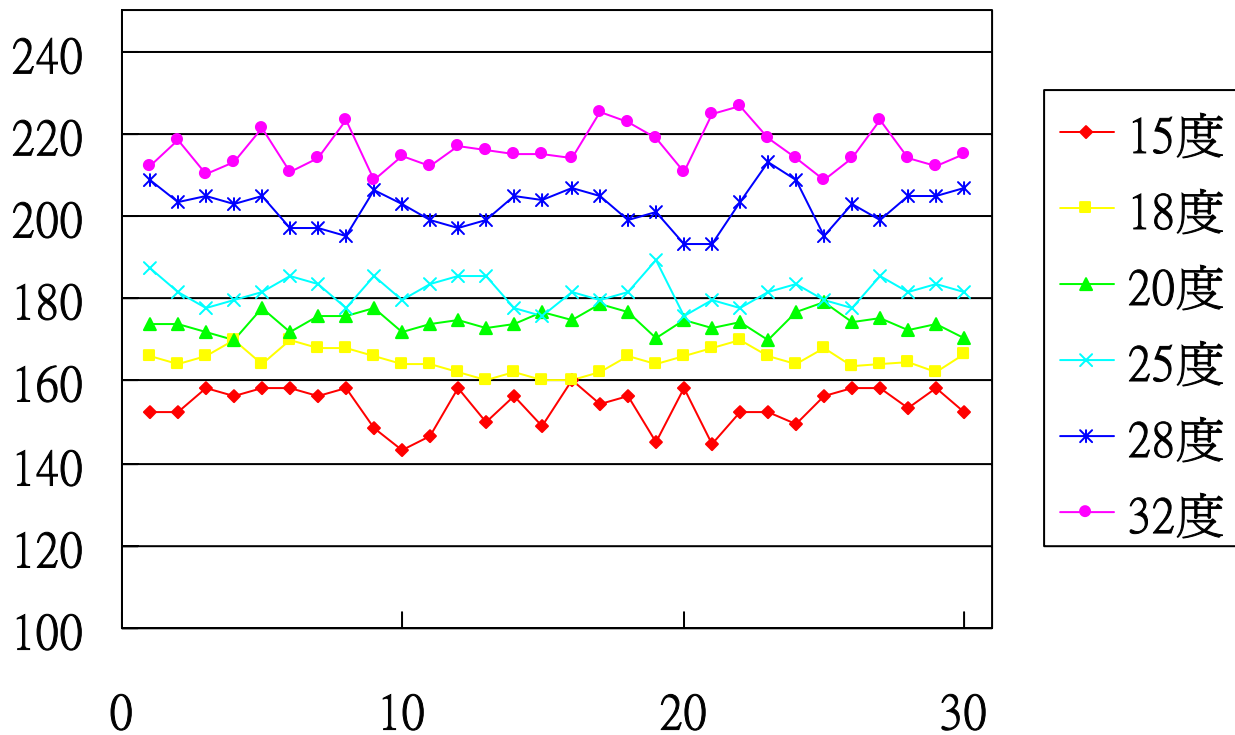


圖 9：蜜蜂在不同溫度下測量的頻率統整

圖中，橫軸代表時間（秒），縱軸代表所相對應的頻率（Hz），紅色代表 15°C 蜜蜂的發聲頻率，黃色代表 18°C 蜜蜂的發聲頻率，綠色代表 20°C 蜜蜂的發聲頻率，藍綠色代表 25°C 蜜蜂的發聲頻率，藍色代表 28°C 蜜蜂的發聲頻率，紫紅色帶表 32°C 蜜蜂的發聲頻率。

由圖可知，每一種溫度的頻率都不太相同，而個人將這些頻率算出平均，15°C 152.34Hz、18°C 165.04Hz、20°C 174.189Hz、25°C 184.57Hz、28°C 206.13Hz、30°C 215.175Hz，畫出折線圖相互比較，如圖 10。

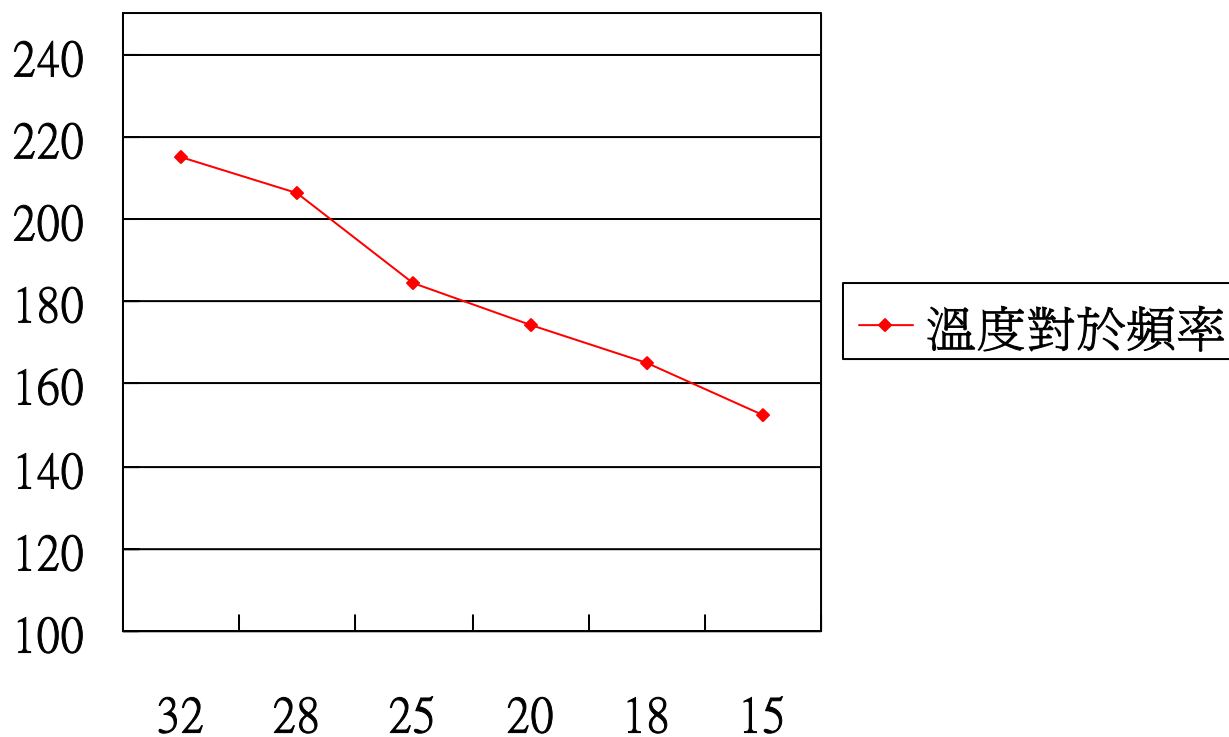


圖 10：不同溫度蜜蜂發聲平均頻率的比較

圖中，橫軸是溫度 (°C)，縱軸是平均頻率 (Hz)，紅色線是各溫度下的平均頻率的點聯成的曲線圖。

由圖可知，在一定的溫度範圍之下，蜜蜂的發聲頻率隨著溫度而改變，溫度高則頻率高，溫度低則頻率低。

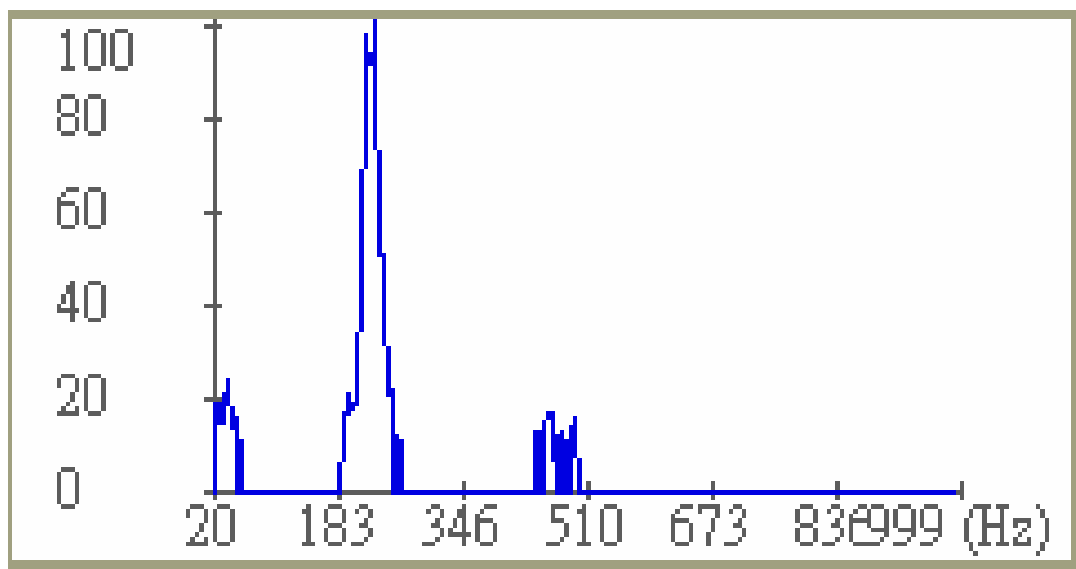


圖 11：Voice sync 程式分析一群蜜蜂的頻率分布圖

圖中橫軸是頻率 (Hz)，縱軸是所佔的比率 (%)，圖中有很明顯的兩個頻率帶，一個高峰。正是與蜜蜂的飛行狀態與正常狀態吻合，正常狀態 206.5Hz、飛行狀態 391.98Hz，可得知蜜蜂的翅膀可發出兩種不同的頻率。



圖 12：正常狀態義大利蜂、剪去前翅義大利蜂、剪去後翅義大利蜂在窩口

圖中右邊兩隻蜜蜂為正常狀態的義大利蜂與剪去後翅義大利蜂，而左邊是剪去前翅的義大利蜂，發現差別並不大，許久，三隻受測蜜蜂皆進入蜂巢內。得知這幾種蜜蜂不會受到本身狀態而對回巢有任何影響。



圖 13：剪去三分之一翅義大利蜂和正常狀態蜜蜂在窩口

圖中離蜂窩最遠的那隻蜜蜂是剪去三分之一翅的蜜蜂，其他兩隻一隻是正常狀態的蜜蜂、另一隻則是蜂巢裡的蜜蜂，許久，正常狀態蜜蜂進入蜂巢，剪去三分之一翅蜜蜂被排擠在蜂巢外。

由圖可知，剪去三分之一翅的蜜蜂是被排擠的，得知剪去三分隻一翅的蜜蜂並沒有辦法進入蜂巢，其可能是因為頻率不同而無法溝通造成的。



圖 14：無翅蜜蜂及剪去二分之一翅蜜蜂

圖中最左邊的是無翅蜜蜂，而蜂窩口前想進入蜂窩的則是剪去二分之一翅蜜蜂，蜂窩口內的是本身蜂窩內部的警戒蜂。許久，無翅蜜蜂仍在蜂窩外，而剪去二分之一翅蜜蜂則被警戒蜂攻擊。

由圖可知，剪去二分之一翅蜜蜂想要進入蜂窩內，但是是被警戒蜂阻攔甚至攻擊的，而無翅蜜蜂根本無法靠近蜂窩口。由於這兩種蜜蜂的發聲頻率都與正常狀態蜜蜂不同，得知頻率是蜜蜂辨別同種的依據。

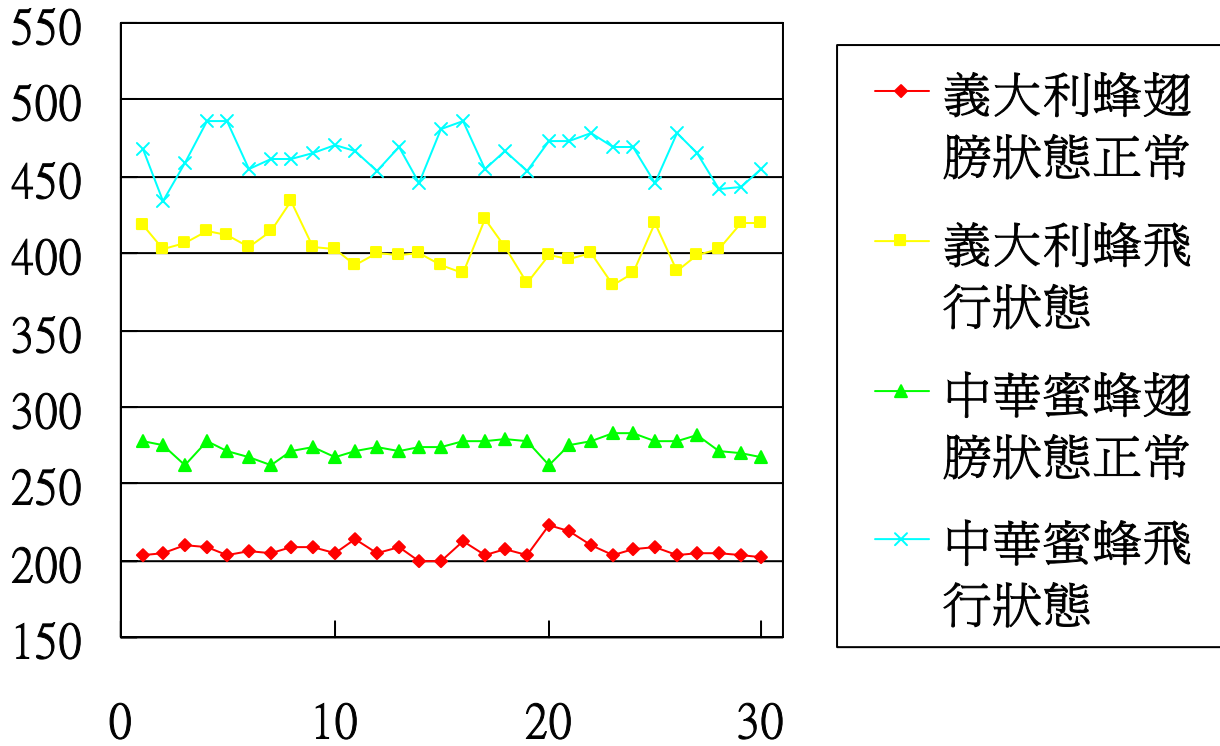


圖 15：義大利蜂與中華蜜蜂在兩種情況下的頻率統整

圖中，橫軸代表時間（秒），縱軸代表所相對應的頻率（Hz），紅色是正常狀態的義大利蜂發聲頻率，黃色是飛行狀態的義大利蜂發聲頻率，綠色是正常狀態的中華蜜蜂發聲頻率，藍綠色是飛行狀態的中華蜜蜂發聲頻率。很明顯的每一種狀態的頻率都有所不同。

由圖可知，中華蜜蜂的頻率都較義大利蜂高，個人將平均出來的頻率，正常狀態義大利蜂 206.61Hz、正常狀態的中華蜜蜂 276.36Hz、飛行狀態的義大利蜂 410.15Hz、飛行狀態的中華蜜蜂 461.25Hz，製成圖 15，

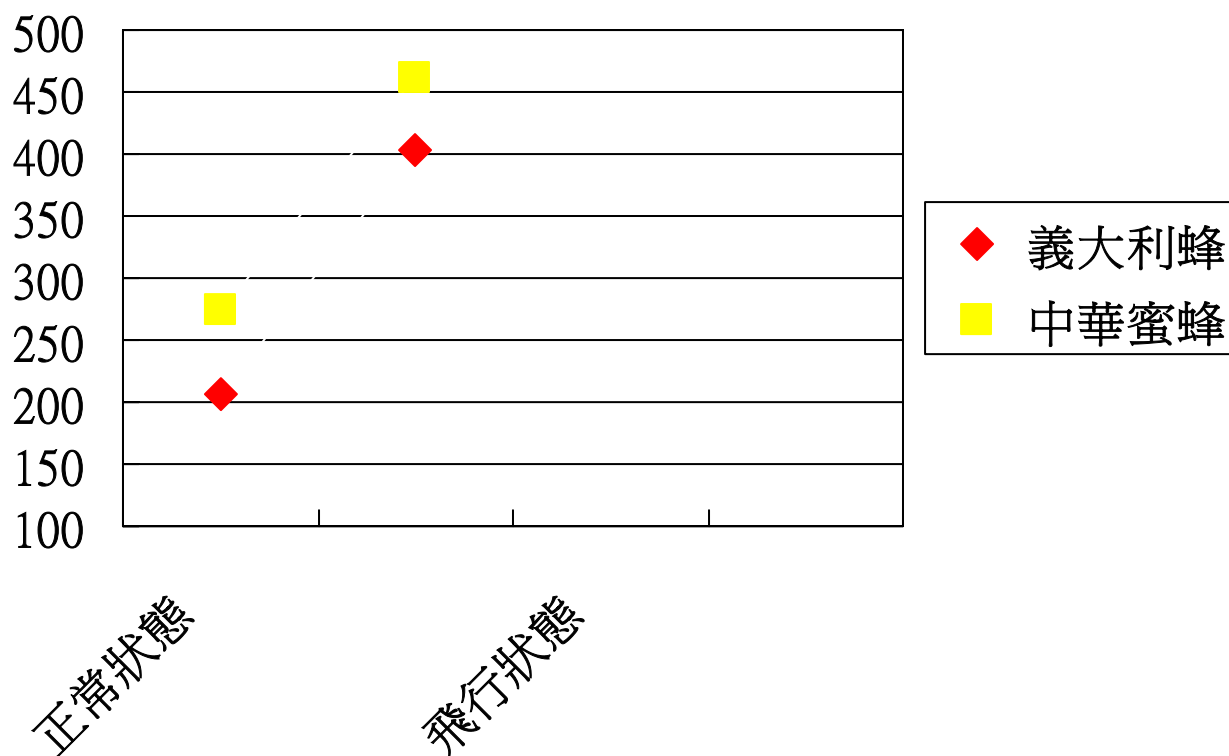


圖 16：義大利蜂與中華蜜蜂平均頻率的比較

圖中橫軸是蜜蜂所處的狀態，縱軸是頻率（Hz），紅色是代表義大利蜂，黃色是代表中華蜜蜂。

由圖可知，不管在正常或飛行的狀態中，義大利蜂的頻率都較中華蜜蜂的頻率低上 70Hz，得知此實驗的結果並不因為蜂種的不同而有所影響。



圖 17：中華蜜蜂窩口圖（朝內）



圖 18：義大利蜂窩口圖（朝外）

評語

本作品利用自製頻譜儀，研究蜜蜂的發聲機制。作者有相當好的設計，但對研究假設提出及結果的解釋需進一步的改善。