

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組生物(生命科學)科

040717

臺北市立建國高級中學

指導老師姓名

劉翠華

作者姓名

陳奕勳

吳哲榕

中華民國第 44 屆中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：生物科

組 別：高中組

作品名稱：唧唧復唧唧

——蟋蟀的聲音分析與聲音行為探討

關 鍵 詞：數位錄音、聲音分析、聲音行為

編 號：

壹、 摘要

蟋蟀可以藉聲音來區別同種、宣示地盤及吸引異性以完成交配行為等，聲音與行為的關係密不可分。我們以數位錄音筆及電腦軟體分析並比較台灣北部 4 種常見蟋蟀的聲音，結果發現此 4 種蟋蟀的聲音頻率接近，但脈衝數及唧聲長度不同，推測雌蟋蟀應是以此時間特性（如脈衝數、唧聲長度）辨別同種。另一方面，以黑蟋蟀作為研究對象，觀察並繪製出其聲音行為模式，研究結果顯示雄蟋蟀以呼喚聲吸引雌蟋蟀，再轉發求偶聲並進行交配行為。而此行為模式可用來作為之後干擾實驗的對照，以便以各種干擾物干擾，研究蟋蟀的生殖行為受到何種感官影響。結果發現蟋蟀的生殖行為主要受到雄蟋蟀的聲音支配，而雄蟋蟀則以嗅覺辨別雌蟋蟀位置，決定下一步行動，與視覺較無關係。

貳、 研究動機

登山健行時，每到傍晚草叢裡傳來陣陣蟋蟀的叫聲。可是在人耳聽來，各種蟋蟀的音色似乎都非常相像；那雌蟲要如何在如此多的雜音下找到雄蟲呢？基礎生物課本第三章提到個體與族群的關係，說明族群的一個重要功用是有利於生殖，但許多種蟋蟀的生活環境大致相似，同種的蟋蟀如何在與其他種蟋蟀生存環境重疊的情況下，找到自己的同伴呢？而基礎生物課本第四章提到有關生物的演化及適應，蟋蟀的叫聲經由數千萬年的漫長的演化，他的鳴聲內容，是否和牠的親緣關係有關，值得我們探討。另一方面，許多昆蟲書上，都有寫有關蟋蟀的聲音及求偶過程，但對於行為及聲音的敘述往往都不是很完整。拜現代科技所賜，許多數位化的新產品一波波的推出，尤其在聲音方面，數位化的錄放音裝置，不論在體積、錄音品質及聲音修改方面，都比傳統的錄音設備精密許多。以往實驗所需龐大且貴重的聲音分析設備，現在只要一支錄音筆及一套聲音分析軟體就可以解決。我們希望能用新科技對蟋蟀的整套生殖行為做較完整的描述，建立蟋蟀交配的行為模式，並以機械干擾及修改聲音等方式，進一步了解蟋蟀的生殖行為及聲音的意義。

參、 研究目的

- 一、辨別不同種蟋蟀與其聲紋及頻譜的異同。
- 二、建立蟋蟀的生殖行為模式。
- 三、探討蟋蟀的生殖行為主要受何種感官影響。
- 四、探討雌蟋蟀如何辨別同種雄蟋蟀的聲音。

肆、 文獻探討

一、蟋蟀簡介：

蟋蟀在生物分類學上屬於動物界、節肢動物門的昆蟲綱直翅目螞蟥亞目蟋蟀總科。全世界已知的蟋蟀種類估計約有 3,000 種，臺灣地區約有 80 多種，其中又以地棲蟋蟀較為人所熟知。臺灣的地棲蟋蟀，已知有蟋蟀科 36 種，地蟋科 2 屬 11 種，毛翅蟋科 5 種

及蟻蟋科 1 種，共計 53 種。本土蟋蟀的研究方面，台灣大蟋蟀 (*Brachytrupes portentosus*, Licht)、黃斑黑蟋蟀 (*Gryllus bimaculatus* De Geer)、白緣眉紋蟋蟀 (*Teleogryllus mitratus* Burmeister, 1838)、烏頭眉紋蟋蟀 (*Teleogryllus mitratus occipitalis* Serville, 1839) 等，皆有形態學及聲學的研究。(參一)

二、蟋蟀的聲學特徵：

蟋蟀等直翅目昆蟲自二疊紀起，即在地球上靠聲音溝通，聲音成爲現代分類學之重要特徵。雄蟋蟀羽化成熟時會將前翅豎起，由左翅後緣增厚的彈器來刮右翅下方齒狀突起的弦器，當前翅一張一合之際發出聲音。一般來說，蟋蟀發聲的曲目可分爲：呼喚聲音 (calling sound)、求偶聲音 (courtship sound)、求偶中斷聲音 (courtship interruption sound)、交尾後聲音 (post-copulatory sound)、攻擊性聲音 (aggressive sound) 及辨識聲音 (recognition sound)，一般研究多著重在呼喚聲音，生物學家 Fulton 曾強調呼喚聲音是共域種間生殖隔離作用的重要機制。(參二)。

野外蟋蟀是輪流鳴叫的，而雌蟋蟀會被其中最強的顫音吸引，但她只對同種的聲音有反應。她們能分辨出聲音極細微的差異，甚至能辨別出雜交種 A×B 及 B×A 的不同。科學家相信其腦部的神經細胞具有模式產生器 (pattern generator)，且受到遺傳影響，使他們能精準擇偶 (參三)。

此外，雄蟲前翅的翅基有杯狀突起，稱爲漢考克氏腺，會分泌費洛蒙。科學家相信，在雄蟲振動前翅鳴叫的同時，也在周圍散出費洛蒙。(參四)

三、聲音分析

聲學描述的方式，較爲詳盡且明確的爲同時呈現頻譜圖、波型圖及聲紋圖三種。而描述聲學特徵的術語包括

- (一) 時間特性：啣聲 (chirp)：由數個脈衝 (pulse) 組成的一段聲音，兩個脈衝間爲脈衝間隔 (pulse interval) 在兩個啣聲間爲啣聲間隔 (chirp interval)。
- (二) 頻率特性：主頻率 (main frequency) 爲頻譜中能量最強之處，並記錄該頻率範圍爲主頻寬 (main frequency range)

一般的文獻多半限於呼喚叫聲，未提及其他叫聲，而在行爲模式中描述求偶特性，卻未見求偶聲音的描述。(參五)

文獻證實蟋蟀會對特定頻率的聲音產生反應，但此實驗僅限於單一頻率的單音，未有針對脈衝及啣聲等其他聲學上的探討。(參六)

四、疑問

綜合以上各點，蟋蟀的聲音接收與頻率或節奏有關，然而在同一個區域生活的共域種，如：白緣眉紋蟋蟀及烏頭眉紋蟋蟀，其聲音頻率範圍也有重疊處，或許與其頻峰與脈衝比、啣聲長、啣聲間隔不同有關，我們想就此點設計實驗驗證。此外，關於一般研究並未把聲音及行爲做整合探討的問題，我們也想藉由實驗了解彼此間的關聯。

伍、 研究設備與器材

- 一、活體材料：黃斑黑蟋蟀 (*Gryllus bimaculatus* De Geer)、白緣眉紋蟋蟀 (*Teleogryllus mitratus* Burmeister, 1838)、烏頭眉紋蟋蟀 (*Teleogryllus mitratus occipitalis* Serville, 1839)、小扁頭蟋蟀 (*Loxoblemmus equestris* Saussure, 1877)
- 二、飼養器材：塑膠罐 (直徑 9.6 cm、高 12.1 cm)、塑膠瓶 (直徑 1.28 cm、高 4.3 cm)、河沙、高麗菜、狗飼料 (寶路幼犬飼料)、棉花、鑷子、酒精、塑膠飼養觀察箱、水缸、加熱墊。
- 三、實驗器材：錄音筆 (Cenix VR—P280, SAMSUNG BR-1640, SAFA SR-M292F)、數位相機 (Sony DSC—V1)、電腦、聲音處理軟體 Cool Edit2000(於 Toget 下載試用版)、印表機、鏡子、照片、透明塑膠片、不透明塑膠片、玻璃罩、塑膠蟋蟀。



圖一：若蟲飼養裝置 1



圖二：成蟲飼養裝置



圖 (三) 若蟲飼養裝置 2

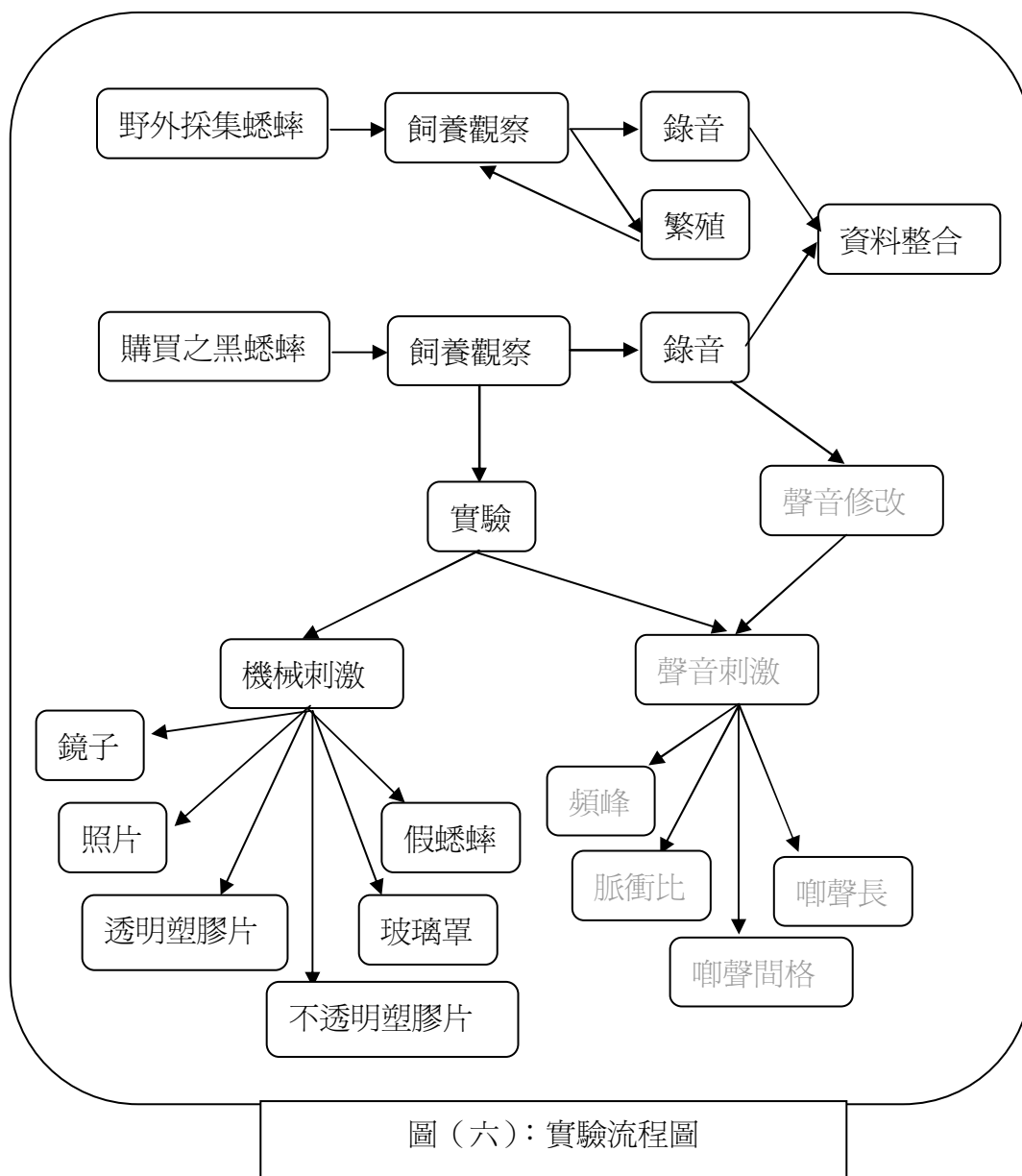


圖 (四) 加熱裝置



圖 (五) 實驗用塑膠盒

陸、 研究過程與方法



一、蟋蟀的取得與飼養

- (一) 蟋蟀來源：購買水族館飼養之餵魚用黑蟋蟀。野外採集烏頭眉紋蟋蟀（台北新莊近郊）、白緣眉紋蟋蟀（台北新莊近郊）、小扁頭蟋蟀（台北新莊近郊、中和近郊、墾丁）
- (二) 蟋蟀飼養：若蟲以群體飼養於水缸及飼養觀察箱內，以寶特瓶蓋及棉花餵水，以幼犬飼料餵食。已有翅芽之老熟若蟲，以直徑 9.6 cm、高 12.1 cm 之塑膠罐單獨飼養，罐底鋪細沙、以小塑膠瓶裝水供水，以幼犬飼料餵食。以自製加熱墊將溫度控制在 20°C~30°C 間。

二、錄音

(一) 呼喚聲音

- 1、隔絕週遭雜音。
- 2、在成熟雄蟲養殖罐內懸掛麥克風，離罐底 8 公分左右，以避免錄音受阻。
- 3、待蟋蟀發出呼喚叫聲時，開始錄音。
- 4、將錄好之聲音剪裁修改並記錄。

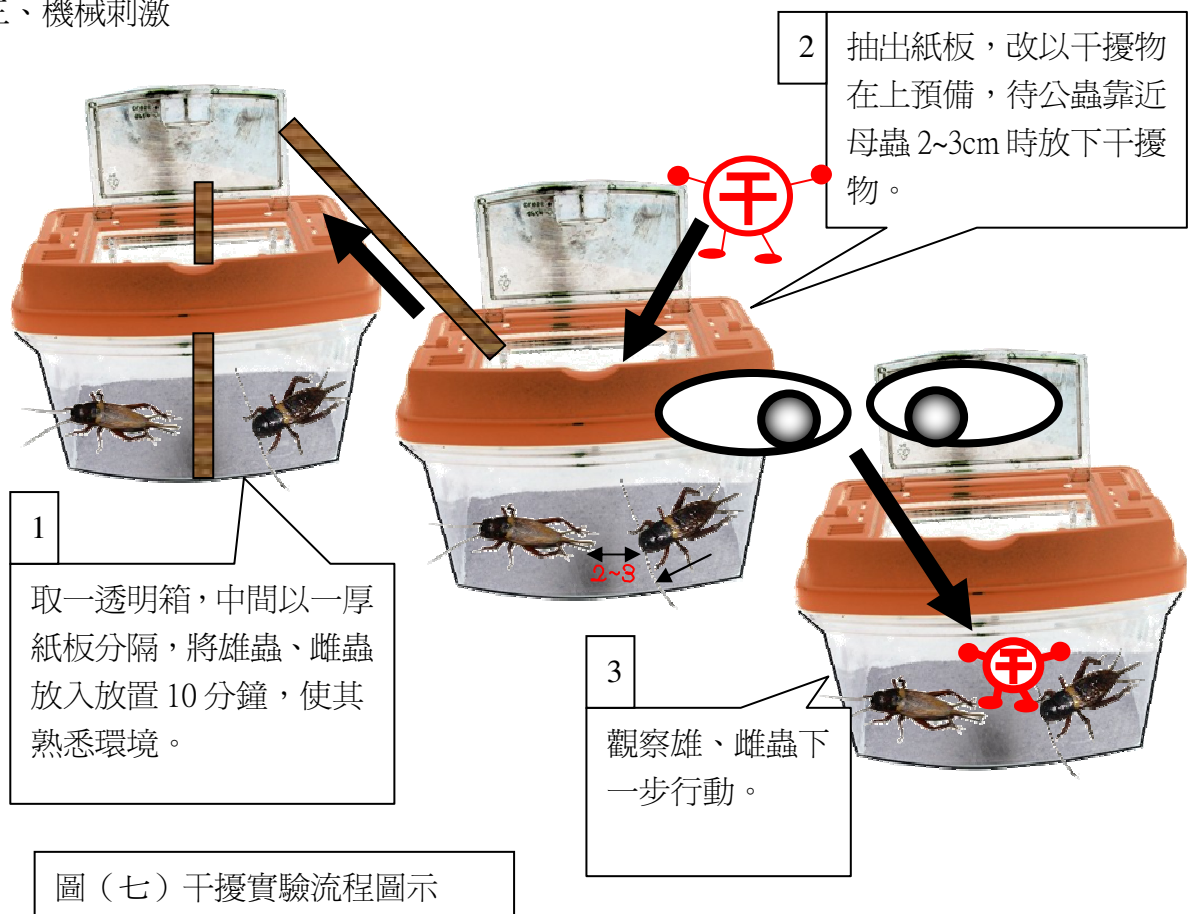
(二) 攻擊叫聲

- 1、隔絕週遭雜音。
- 2、取二成熟雄蟲，放置在同一養殖罐內，中懸掛麥克風，離罐底 8 公分左右以避免聲音受阻。
- 3、待其互相發出攻擊警戒聲時，開始錄音。
- 4、將錄好之聲音剪裁修改並記錄。

(三) 交配叫聲（含求偶、交配中斷、交配結束等）

- 1、隔絕週遭雜音。
- 2、取成熟雄、雌蟲，放置在同一養殖罐內，中懸掛麥克風，離罐底 8 公分左右，在其進行交配時錄音。
- 3、待其互相發出交配叫聲時，開始錄音。
- 4、將錄好之聲音剪裁修改並記錄。

三、機械刺激



(一) 鏡子

- 1、取一透明箱，中間以一厚紙板分隔，先分別將雄蟲、雌蟲放入透明箱之兩端，放置 10 分鐘，使其熟悉環境。
- 2、抽出紙板，改以鏡子在上預備。
- 3、待雄蟲靠近雌蟲 2~3cm 時，放下鏡子（正面朝向雄蟲）。
- 4、隔絕雄、雌蟲，觀察雌、雄蟲行動。

(二) 照片

研究過程同上，改以照片刺激。

(三) 透明塑膠片

研究過程同上，改以透明塑膠片隔絕兩蟋蟀（雄蟲可看見雌蟲，但卻被阻隔，仍聞得到氣味）。

(四) 不透明塑膠片

研究過程同上，改以不透明塑膠片隔絕兩蟋蟀（雄蟲看不見雌蟲，仍聞得到氣味）。

(五) 玻璃罩

1、罩住雄蟲

- (1) 取一透明箱，中間以一厚紙板分隔，分別將雄蟲、雌蟲放入透明箱之兩端，放置 10 分鐘，使其熟悉環境。
- (2) 抽出紙板，改以玻璃罩在雄蟲上預備。
- (3) 待雄蟲發出求偶叫聲，並開始靠近雌蟲，當雌蟲之觸角靠近雄蟲 2~3cm 時，以玻璃罩住。隔絕雄、雌蟲，觀察雌、雄蟲的後續行動。

2、罩住雌蟲

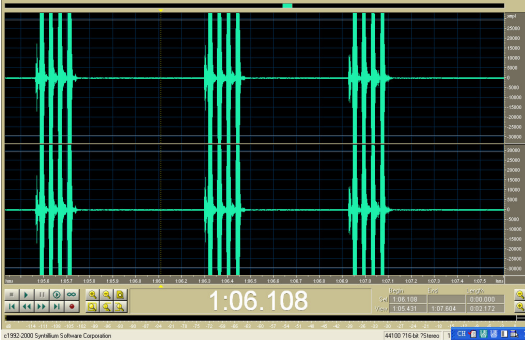

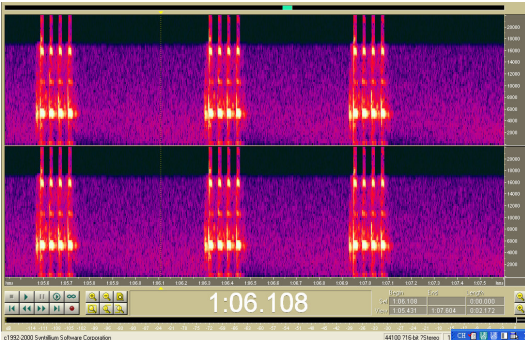
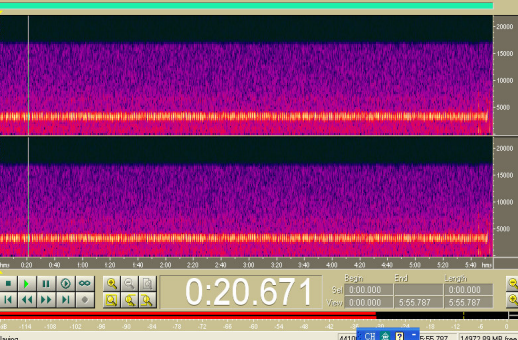
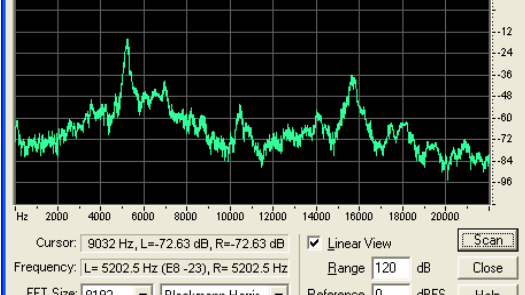
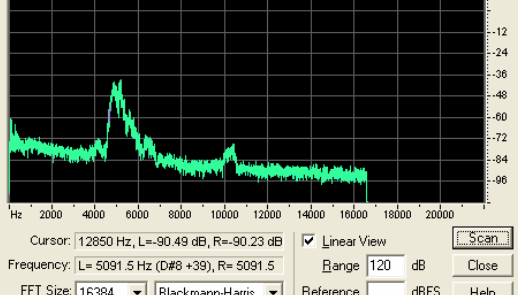
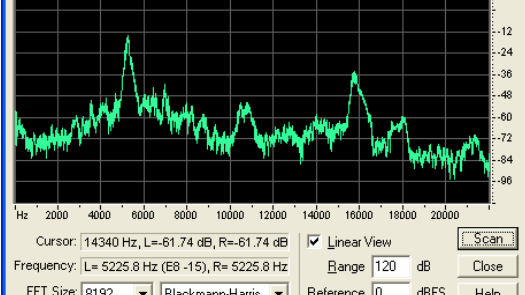
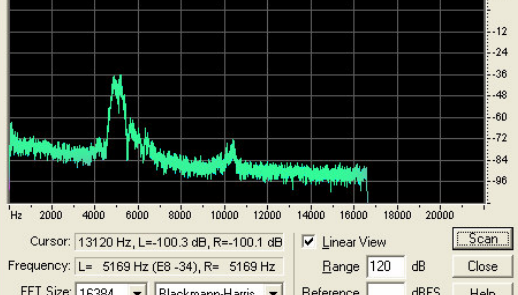
過程同上，改以玻璃罩住雌蟲。

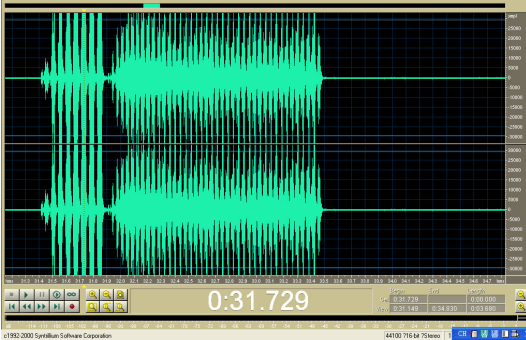

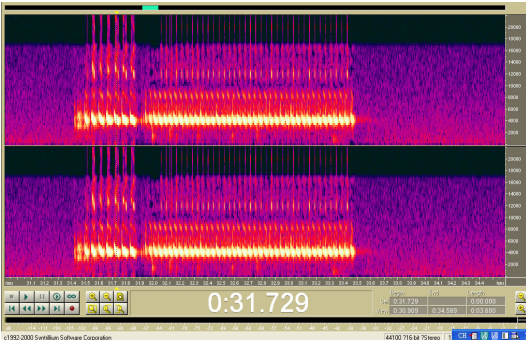
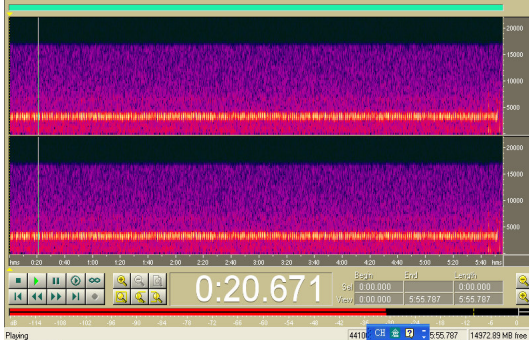
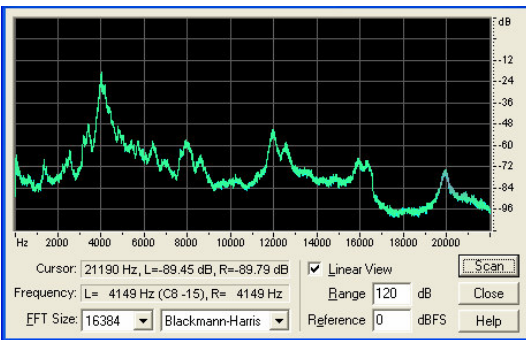
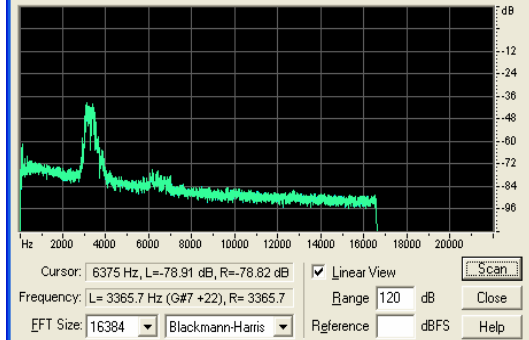
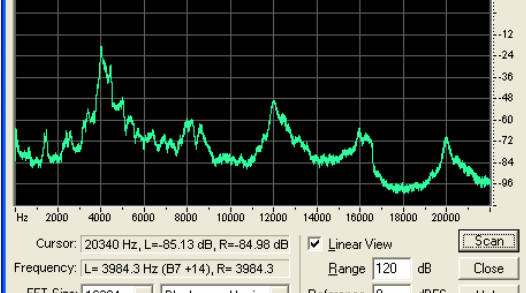
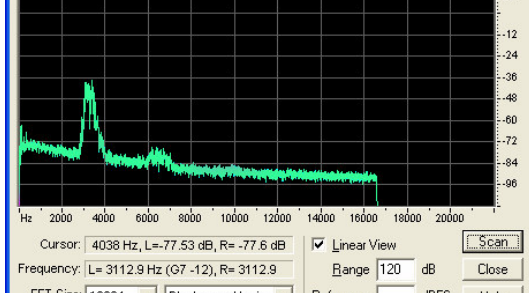
(六) 蟋蟀假體

- 1、準備一蟋蟀假體。
- 2、取一透明箱，中間以一厚紙板分隔，先分別將雄蟲、雌蟲放入透明箱之兩端放置 10 分鐘，使其熟悉環境。
- 3、抽出紙板，改以蟋蟀假體在上預備，待雄蟲發出求偶叫聲，並開始靠近雌蟲。
- 4、在雄蟲之觸角靠近雌蟲 5cm 時，以雌蟋蟀假體取代雌蟲原位，觀察雄蟲下一步行動。

柒、 研究結果

- 一、根據近半年來蟋蟀聲音蒐集及整理的結果，我們已完成黃斑黑蟋蟀、白緣眉紋蟋蟀、烏頭眉紋蟋蟀及小扁頭蟋蟀的聲音分析及比較。如下圖及表格中之比較：

	黑蟋蟀	小扁頭蟋蟀
波形圖	 <p>Waveform of Black Cricket showing three distinct pulses of high-frequency sound. The time marker is 1:06.108.</p>	 <p>Waveform of Small Flat-headed Cricket showing a continuous, dense signal. The time marker is 1:35.200.</p>
聲紋圖	 <p>Spectrogram of Black Cricket showing three distinct pulses of high-frequency sound. The time marker is 1:06.108.</p>	 <p>Spectrogram of Small Flat-headed Cricket showing a continuous, dense signal. The time marker is 0:20.671.</p>
頻譜圖 1	 <p>Spectrum 1 of Black Cricket. The y-axis is dB (-12 to -96) and the x-axis is Hz (0 to 20000). A cursor is at 9032 Hz, L=-72.63 dB, R=-72.63 dB. Frequency range: L=5202.5 Hz (E8 -23), R=5202.5 Hz. EFT Size: 8192, Blackmann-Harris, Reference 0 dBFS.</p>	 <p>Spectrum 1 of Small Flat-headed Cricket. The y-axis is dB (-12 to -96) and the x-axis is Hz (0 to 20000). A cursor is at 12850 Hz, L=-90.49 dB, R=-90.23 dB. Frequency range: L=5091.5 Hz (D#8 +39), R=5091.5 Hz. EFT Size: 16384, Blackmann-Harris, Reference 0 dBFS.</p>
頻譜圖 2	 <p>Spectrum 2 of Black Cricket. The y-axis is dB (-12 to -96) and the x-axis is Hz (0 to 20000). A cursor is at 14340 Hz, L=-61.74 dB, R=-61.74 dB. Frequency range: L=5225.8 Hz (E8 -15), R=5225.8 Hz. EFT Size: 8192, Blackmann-Harris, Reference 0 dBFS.</p>	 <p>Spectrum 2 of Small Flat-headed Cricket. The y-axis is dB (-12 to -96) and the x-axis is Hz (0 to 20000). A cursor is at 13120 Hz, L=-100.3 dB, R=-100.1 dB. Frequency range: L=5169 Hz (E8 -34), R=5169 Hz. EFT Size: 16384, Blackmann-Harris, Reference 0 dBFS.</p>

	烏頭眉紋蟋蟀	白緣眉紋蟋蟀
波形圖	 <p>0:31.729</p>	 <p>1:35.200</p>
聲紋圖	 <p>0:31.729</p>	 <p>0:20.671</p>
頻譜圖 1	 <p>Cursor: 21190 Hz, L=-89.45 dB, R=-89.79 dB Frequency: L= 4149 Hz (C8 -15), R= 4149 Hz EFT Size: 16384 Blackmann-Harris Reference 0 dBFS</p>	 <p>Cursor: 6375 Hz, L=-78.91 dB, R=-78.82 dB Frequency: L= 3365.7 Hz (G#7 +22), R= 3365.7 EFT Size: 16384 Blackmann-Harris Reference 0 dBFS</p>
頻譜圖 2	 <p>Cursor: 20340 Hz, L=-85.13 dB, R=-84.98 dB Frequency: L= 3984.3 Hz (B7 +14), R= 3984.3 EFT Size: 16384 Blackmann-Harris Reference 0 dBFS</p>	 <p>Cursor: 4038 Hz, L=-77.53 dB, R=-77.6 dB Frequency: L= 3112.9 Hz (G7 -12), R= 3112.9 EFT Size: 16384 Blackmann-Harris Reference 0 dBFS</p>

蟋蟀種類	頻率特性			時間特性	
	主頻率範圍 (Hz)	主頻率平均值	第一共振頻率平均值 (Hz)	脈衝數 (個)	唧聲長度 (秒)
黃斑黑蟋蟀	5000~6000	5250	10950	4~7	0.20
烏頭眉紋蟋蟀	3500~5500	4000	8000	6~7個大脈衝接 60~70個小脈衝	2.30
白緣眉紋蟋蟀	2500~3500	3150	約6500左右 (微弱不明顯)	4~6	0.28
小扁頭蟋蟀	4500~6000	5100	10000	1~7	1.00

表 (一)：聲音分析數據整理

圖 (八)：蟋蟀唧聲長度比較圖

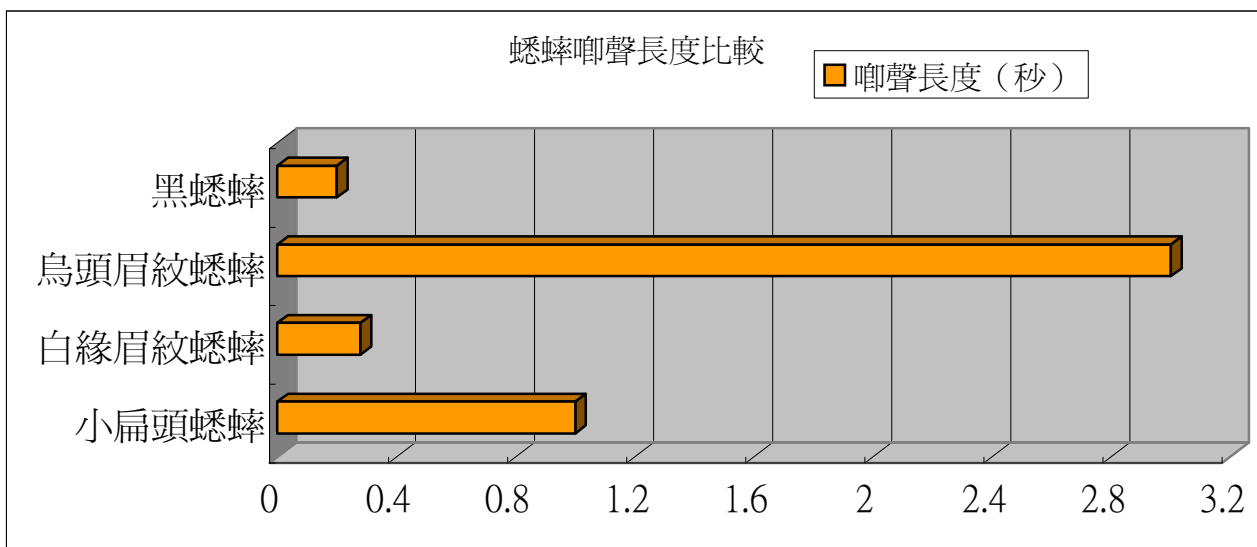


圖 (九)：蟋蟀叫聲脈衝數範圍比較圖

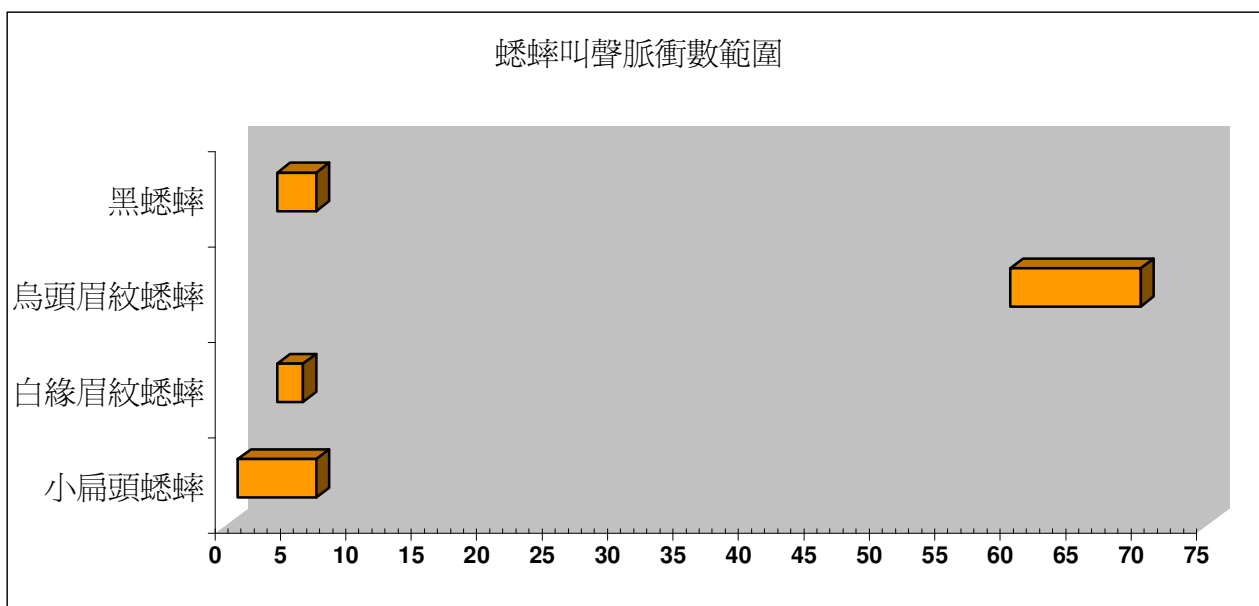


圖 (十): 蟋蟀叫聲主要頻率範圍圖

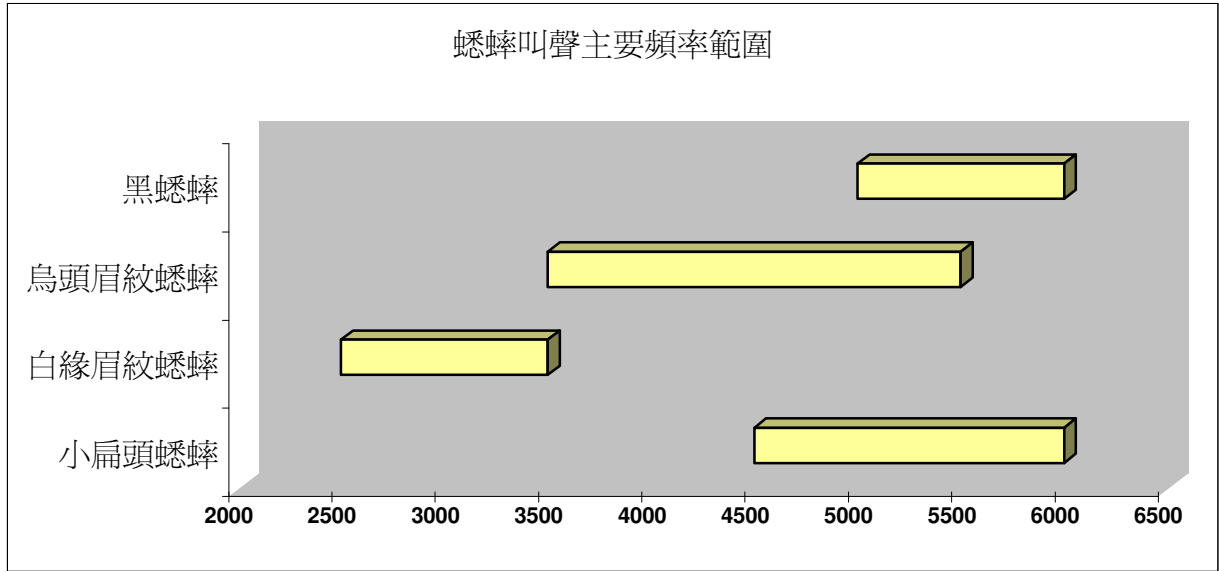
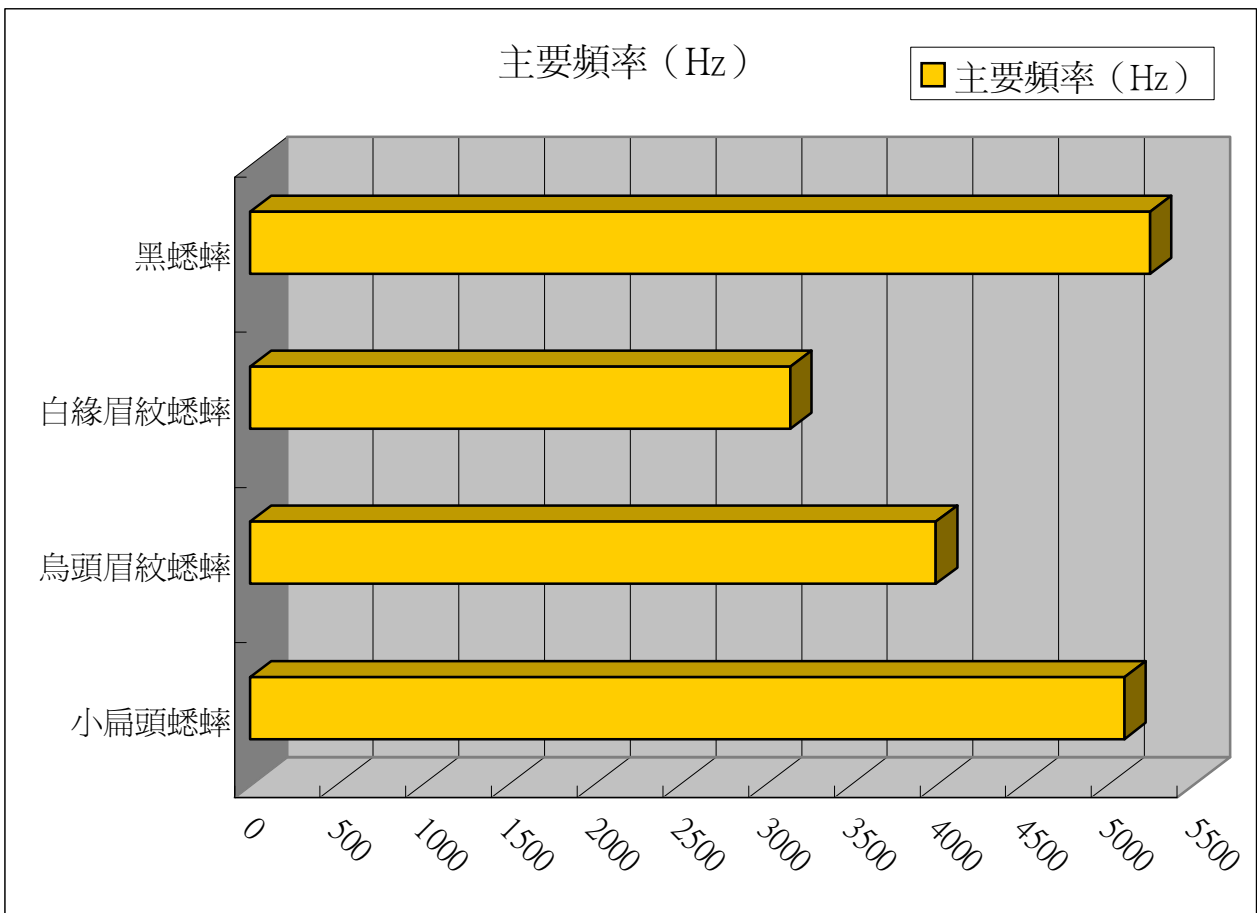
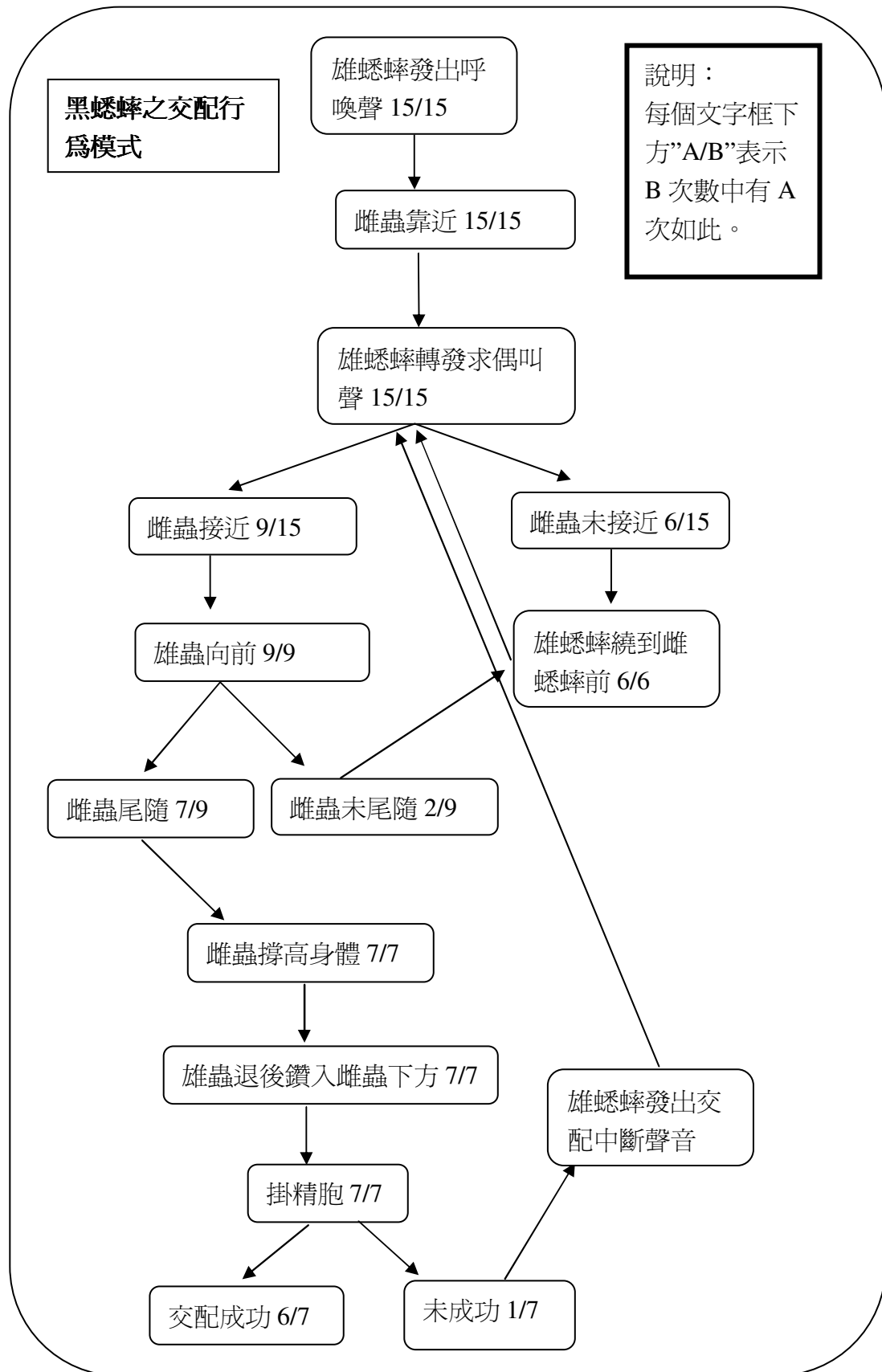


圖 (十一): 蟋蟀叫聲主頻率比較圖



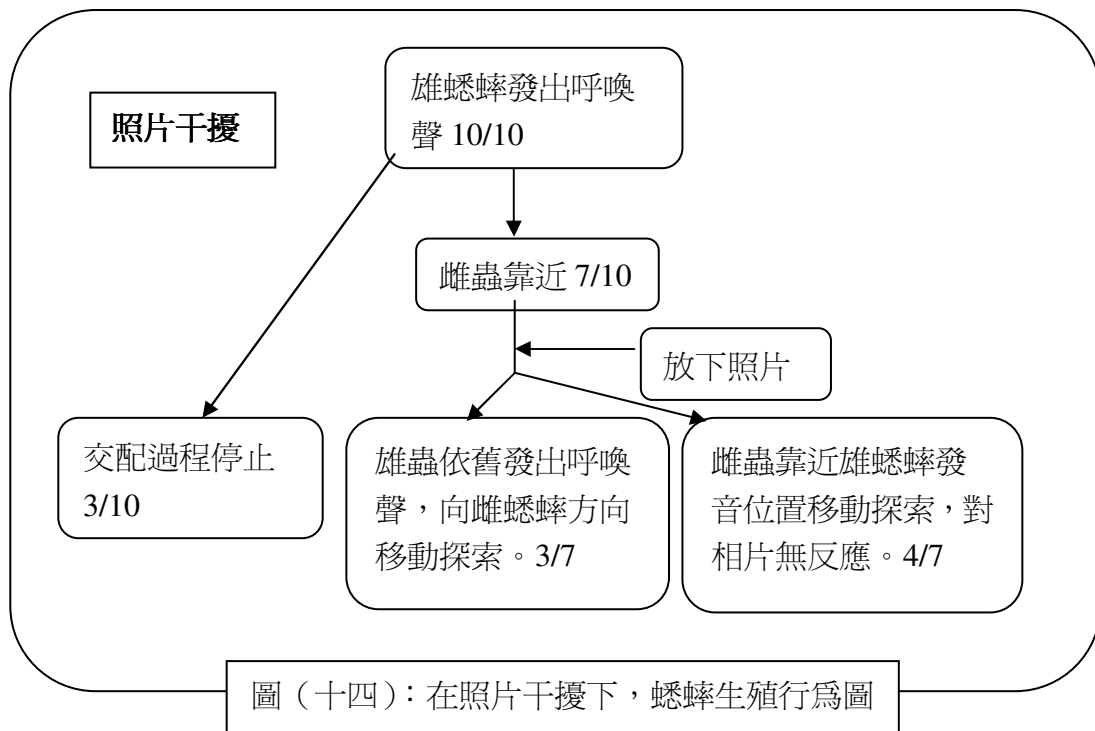
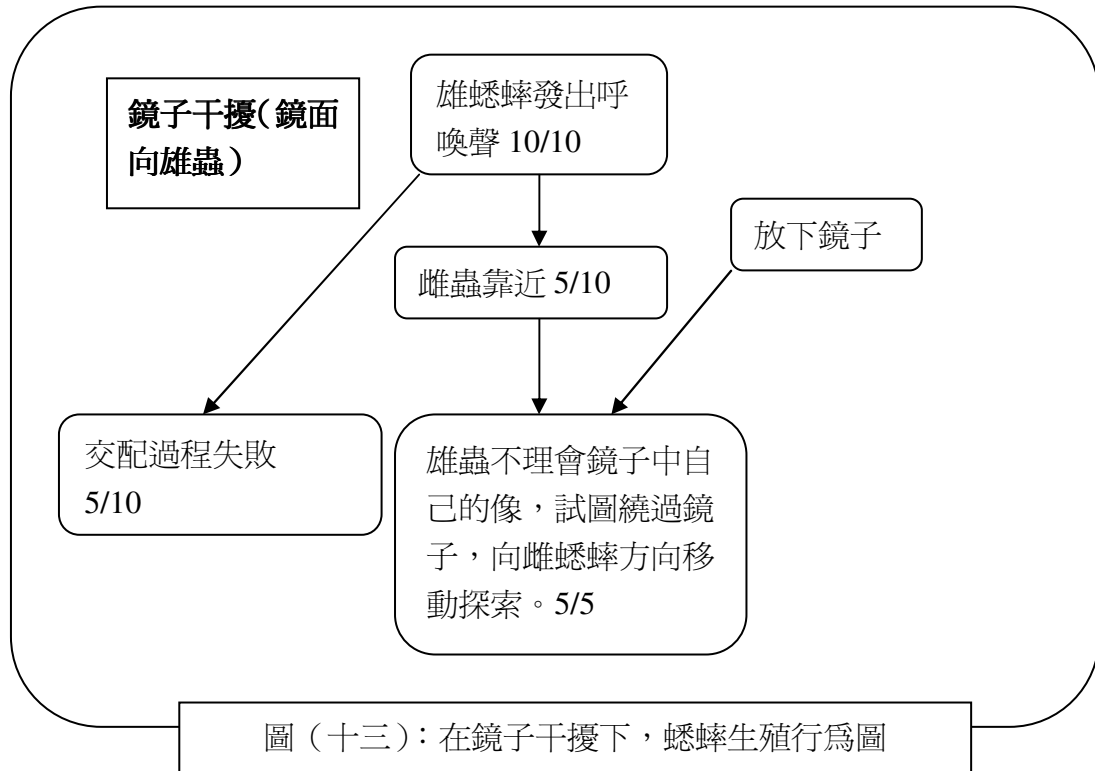
二、蟋蟀交配行為模式：統計黑蟋蟀的在未受干擾下的交配行為，我們歸納出下圖：

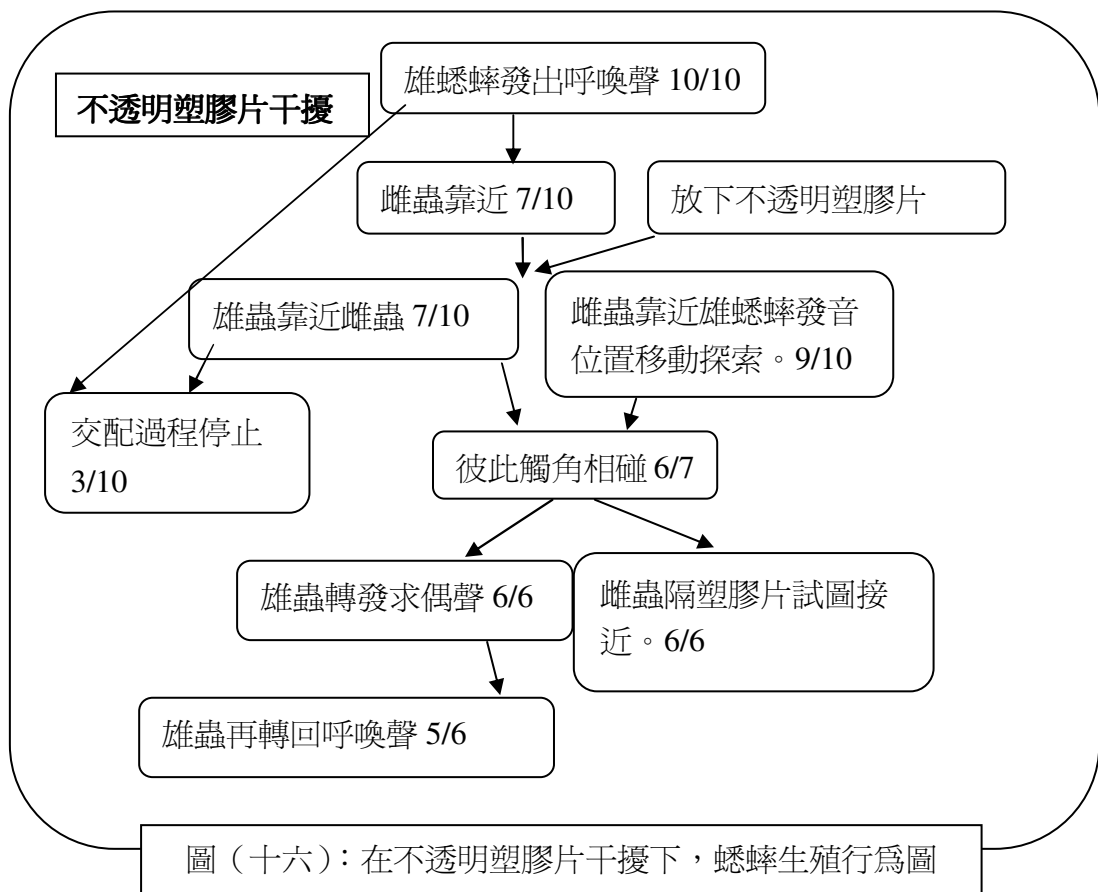
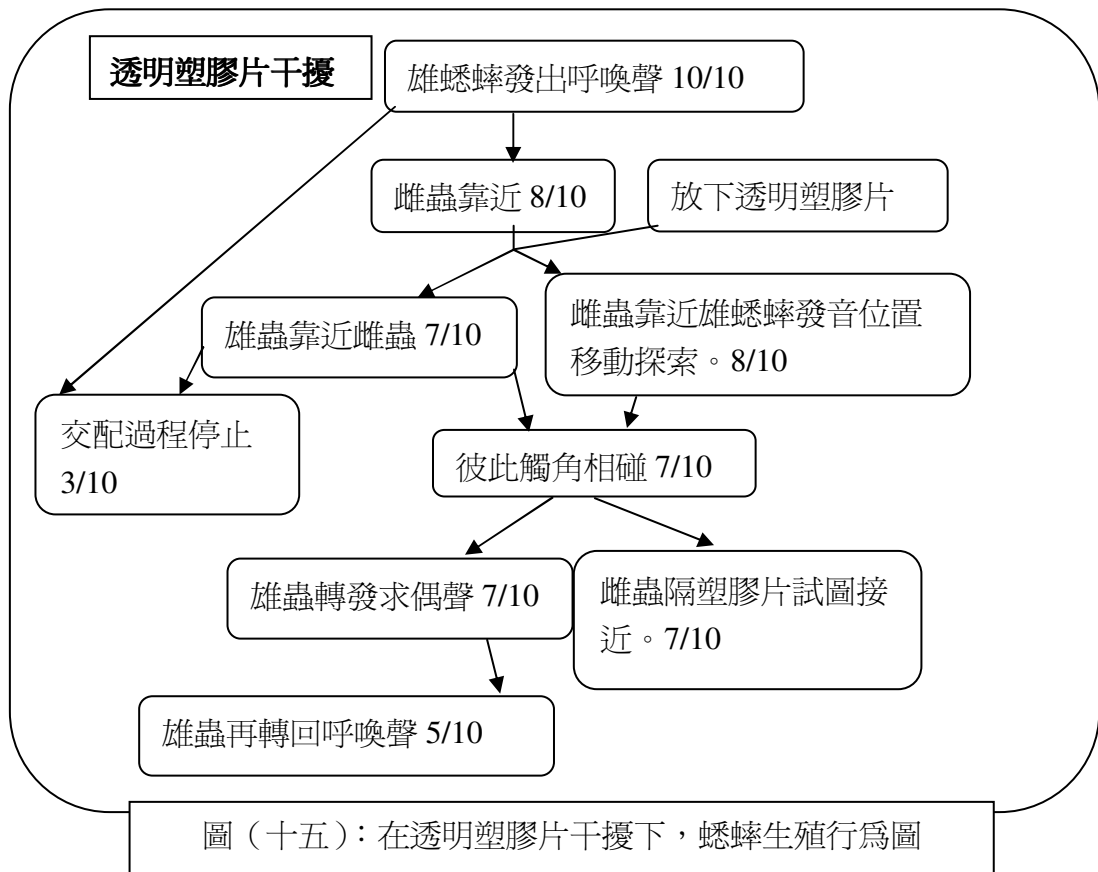


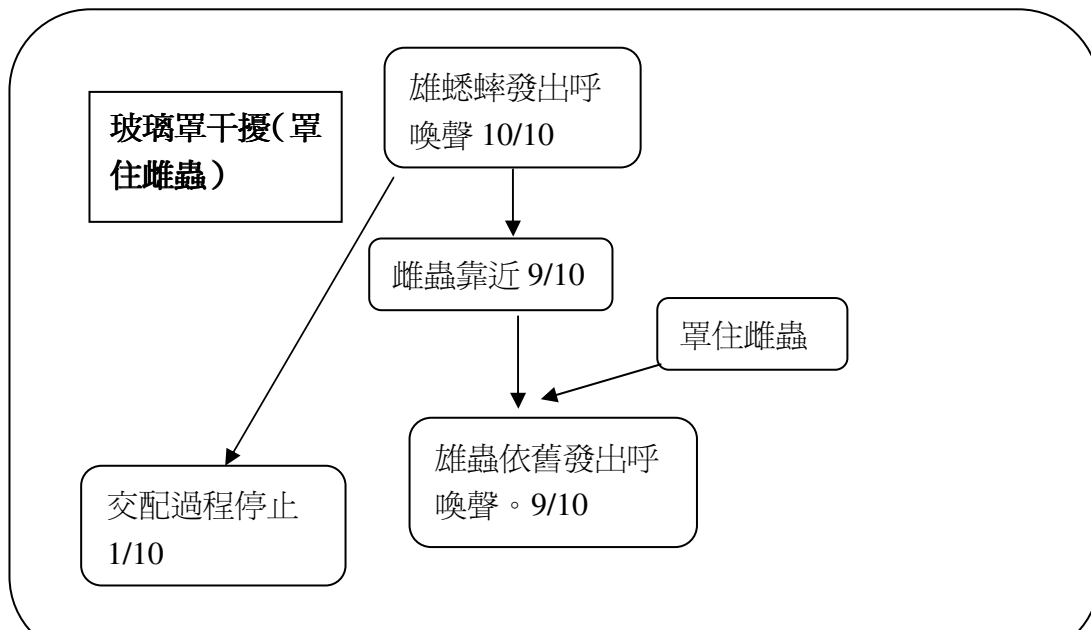
說明：
每個文字框下方“A/B”表示
B 次數中有 A
次如此。

圖（十二）：黑蟋蟀交配行為模式圖

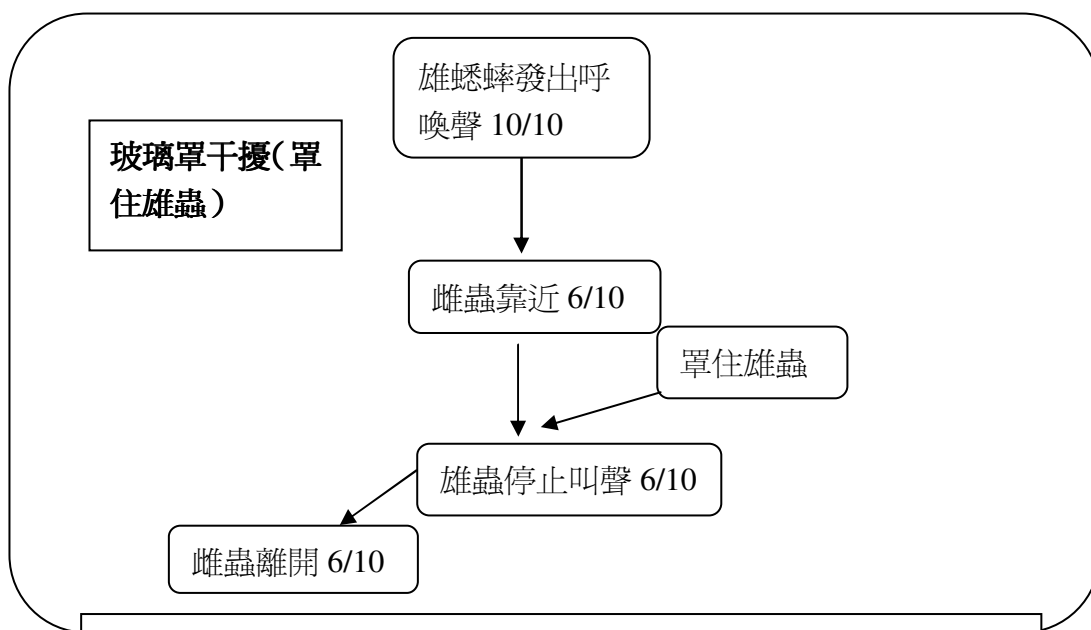
三、機械干擾對蟋蟀生殖行為影響



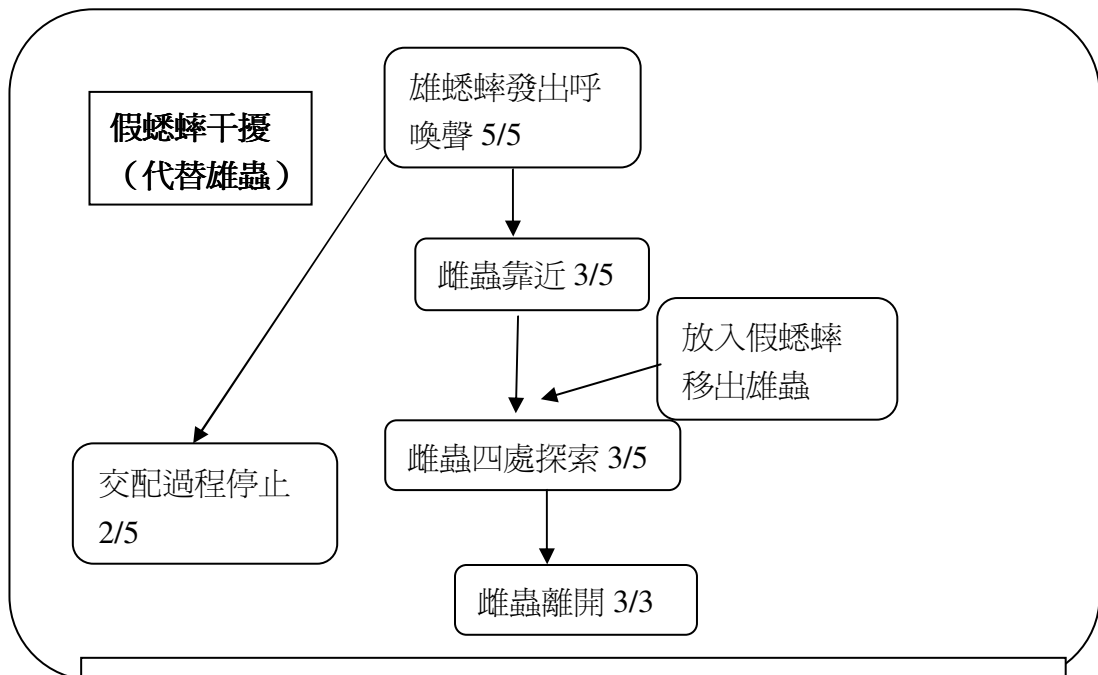




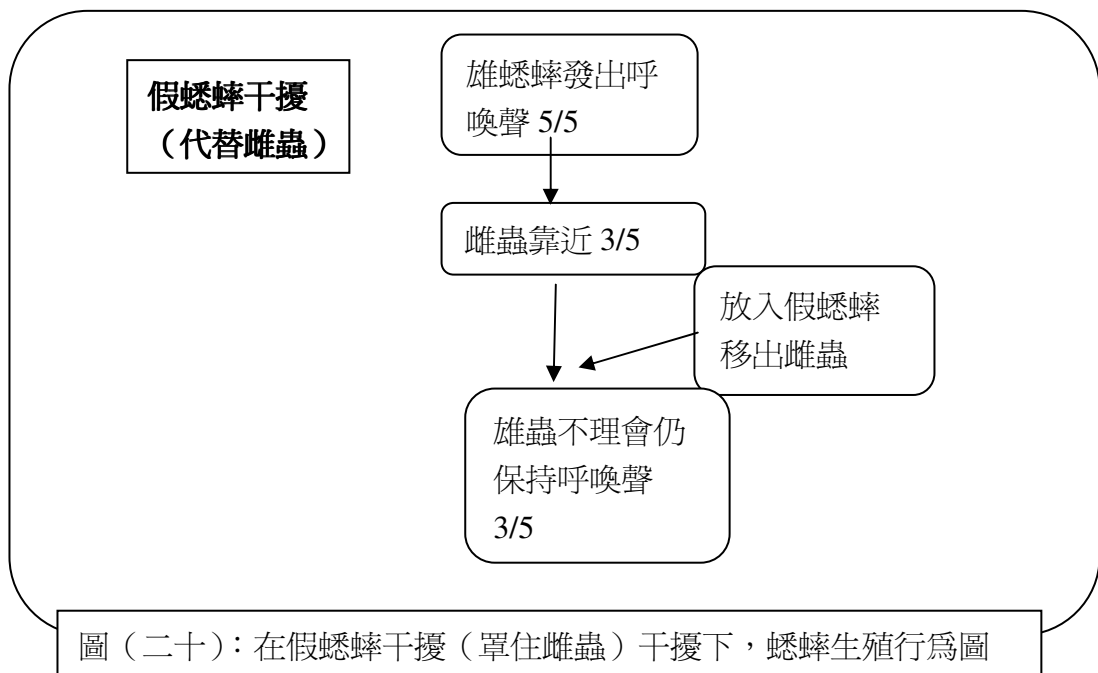
圖(十七): 在玻璃罩干擾(罩住雌蟲)干擾下, 蟋蟀生殖行為圖



圖(十八): 在玻璃罩干擾(罩住雄蟲)干擾下, 蟋蟀生殖行為圖



圖（十九）：在假蟋蟀干擾（罩住雄蟲）干擾下，蟋蟀生殖行為圖



圖（二十）：在假蟋蟀干擾（罩住雌蟲）干擾下，蟋蟀生殖行為圖

捌、 討論

一、聲音與種類間的關係

根據我們的研究結果，四種蟋蟀的頻率範圍接近，頻峰也沒有很大的差異，顯然頻率特性並不是蟋蟀不同種間區別的因素。但反觀時間特性，如脈衝數、唧聲長及脈衝數等，都有許多不同，我們推測蟋蟀彼此是以這種特性區別。

另一方面，我們可以很清楚的由烏頭眉紋蟋蟀及白緣眉紋蟋蟀的分析圖看出差異很大，雖然兩種蟋蟀同屬，且又屬共域種，但彼此的聲音型態卻又如此不同，可能是往同功性發展，並不是以同緣性發展，也可能在兩種蟋蟀演化的過程中，爲了

要在同地域中做出區別，才彼此演化出不同的聲音型態。

總之，以目前看來，若要以蟋蟀聲音之間的區別繪製聲紋分類檢索表，似乎不可行，但蟋蟀叫聲的波形圖依舊可以作為單一種蟋蟀的辨別指標，這和以往前人的鹽研究並沒有衝突。

二、交配行為模式探討

根據圖（十三），雄蟋蟀在交配前會先發出振幅較大的呼喚聲，使雌蟲在遠方就能辨別方向，接近雄蟋蟀。而在雌蟋蟀接近時，雄蟋蟀鳴叫聲轉變為振幅較小的求偶聲，目的是使雌蟋蟀找到確切的位置。其中比較值得注意的地方，是雌蟋蟀在交配前必須在雄蟋蟀的正後方，交配行為才能繼續進行，若不是如此，雄蟋蟀將不斷的走到雌蟋蟀之前，並發出求偶聲，直到雌蟋蟀在其正後方，有時這會花許多時間。但為何非得在正後方不可，從側面接近不行嗎？我們推測應該與昆蟲本身外部構造有關。六隻腳的昆蟲，僅中間軀幹部分與地面分開，若要從身旁擠入，想必不易，而且容易有翻倒之虞。而從蟋蟀的翅膀及外部生殖器構造來看，雄、雌蟋蟀的後翅皆長過腹部許多，如此並不適合以尾對尾方式交配，似乎只有由前後交配較為恰當。

若雌蟋蟀順利到正後方，雄蟋蟀會主動倒退鑽到其下，而其後雌蟋蟀大多保持原狀態，而由雄蟋蟀主動掛上精胞。可以看出，蟋蟀交配的行為為雄蟋蟀主動，而雌蟋蟀只是配合而已。我們推測這與雌蟋蟀的產卵管型態有關。因為雌蟋蟀的產卵管本身要產卵至土中而發展為堅硬、細長，不便彎曲移動，其授精方式必須要由雄蟋蟀將精胞掛到雌蟋蟀的產卵管下，在這種情形下，勢必要由雄蟋蟀主動求偶交配。

三、黑蟋蟀的聲音討論

根據我們的研究結果，黑蟋蟀的呼喚聲、攻擊聲的振幅極大，而求偶聲的振幅較小。我們推測是因為求偶時需將聲音傳遠，必須以高分貝的聲音吸引母蟋蟀；而當母蟋蟀靠近時，改以較小聲的求偶聲，或許較能避免回音混淆方向或是避免天敵接近，確保交配時的安全。另一方面，我們發現黑蟋蟀的呼喚聲及警戒聲大致相似，推測同一種聲音可以兼具兩種功用，在呼喚母蟋蟀時，也同時對鄰近的蟋蟀示威。

然而，比較特別的是，在研究過程中我們並未觀察到黑蟋蟀有求偶結束的叫聲，不知道是因為環境因素還是此為黑蟋蟀特性，有待進一步蒐集資料釐清。

四、黑蟋蟀交配行為討論

（一）視覺方面

另一隻蟲影像、鏡中自己的影像、透明塑膠片阻絕以及不透明塑膠片阻絕，以上四種方法分別是模擬靜止不動的同類，會移動的同類，看得見的另一隻蟲，但中間有阻隔；看不見的另一隻蟲，且中間有阻隔。但是，對於這四種我們看來不一樣的干擾，蟋蟀所表現的反應都一樣——雄蟲將干擾物視為路障，嘗試繞過去尋找雌蟲。造成此結果的原因，應是黑蟋蟀主要活動時間在夜間，使得視覺的重要性降低，在交配行為中，“視覺”對蟋蟀來說，並不是判斷下一步行動或另一隻蟲位置的訊號。

（二）聽覺方面

我們發現，聲音是最重要的訊號，因為不管是任何干擾實驗，雌蟋蟀沒有雄蟋蟀的叫聲，則沒有下一步的動作，所以聽覺是蟋蟀交配所必須。叫聲代表了雄蟋蟀的交配意願，對母蟲也是一種刺激，在沒有叫聲的情形下，即使兩蟋蟀互相靠近，也不會有交配的行為出現。

（三）嗅覺方面

玻璃罩住雄蟲的實驗中，雄蟲確實是停止鳴叫，但我們仍然不能確定雄蟲是被驚動而停止鳴叫，或者是喪失雌蟲氣味的原因而停止。而在玻璃罩住雌蟲的實驗中，當雌蟋蟀靠近雄蟋蟀時，雄蟋蟀持續發出呼喚聲，並未轉成求偶聲。因此，我們更能肯定，氣味是蟋蟀判定異性蟲是否在附近的重要因素。

（四）其他

另外，在實驗中我們發現，雌蟋蟀即使有交配意願，但仍需雄蟋蟀聲音（求偶聲）及動作兩者同時刺激才能進行交配行為，且缺一不可。

玖、 結論

- 一、各種蟋蟀的聲音頻率特性大致相同，且同種間並沒有類似的聲音型態，顯示蟋蟀聲音的發展以同功性為主。
- 二、各種蟋蟀間的波型圖有很大差異，可以由此鑑定蟋蟀種類，但彼此間並無可建立親緣分類表。
- 三、聽覺是蟋蟀交配所必須，也是下一步行為的訊號；雄蟋蟀由呼喚聲轉求偶聲，應是由嗅覺與觸覺的刺激造成；視覺對於蟋蟀來說，不是定位的重要因素。

壹拾、 未來展望

- 一、將已錄製的聲音檔案修改剪接，如：增加脈衝比、增加唧聲長等，對雌蟋蟀播放，藉以觀察雌蟋蟀的反應，了解蟋蟀對於同種聲音辨別的機制。
- 二、以長時間的累積的資料研究聲音變化與族群間的關係。
- 三、確立研究方式，將實驗流程擴大到鳴蟲類的生態行為觀察。

壹拾壹、 參考資料及其他

- 一、楊正澤，1993，台灣蟋蟀亞科（直翅目：蟋蟀科）生物系統分類，國立中興大學研究所博士論文 P.91—100
- 二、楊正澤，1999，蟋蟀聲學特徵分析，國立中央大學昆蟲學系，昆蟲分類及進化研討會專刊：175—197
- 三、Stephen Hart，1998，陳雅茜譯，嚴震東審訂，動物的語言，寰宇出版社出版，P.38、39

- 四、矢島稔，村瀨泰央繪圖，宋碧華譯，不可思議的昆蟲世界，大樹文化出版，1999
- 五、賴啓芳，2000，東方區 *Teleogryllus mitratus*(Burmeister)及 *Teleogryllus occiptalis*(Serville) (Orthoptera Gryllidae) 地理分布、型態學及聲學特性之探討，中興大學昆蟲學系碩士論文，P7、12、13。
- 六、Zen Faulkes and Gerald S. Pollack，2001，Mechanism of Frequency-specific responses of omega neuron 1 in cricket (*Teleogryllus Oceanicus*) : A polysynaptic pathway for song ?
- 七、顏汎昇，1997，台灣鉦蟋科，國立中興大學研究所碩士論文
- 八、V. Givois and G.S. Pollac，2000，Sensory habituation of auditory receptor neurons : Implications for sound localization.
- 九、劉淑惠、楊正澤、莫顯蕎、楊仲圖，1997，Acoustics and taxonomy of Nemobiidae (Orthoptera) from Taiwan，台灣省立博物館半年刊 51 (1) : 55—124
- 十、楊正澤、楊仲圖，1995，Morphology and Male Calling Sound of *Brachytrupes portentosus* (Licht.) (Orthoptera : Gryllidae)，台灣省立博物館半年刊 48 (2) : 1—9

評語

040717 高中組生物科 第三名

唧唧復唧唧—蟋蟀的聲音分析與聲音行為探討

1. 能結合物理分析聲音的方法研究蟋蟀的行為。
2. 實驗材料豐富。
3. 表達能力佳。