

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 生物科

030306

噪音對斑胸草雀求偶行為的影響

學校名稱：屏東縣立中正國民中學

作者：  國二 林竑丞  國二 陳詠欽  國二 陳鼎紘	指導老師：  簡秉逸  許哲愷
---	-----------------------------

關鍵詞：斑胸草雀、求偶行為、噪音

## 摘要

我們希望探討擾人的噪音是否也會干擾鳥類求偶鳴唱和行為。我們以無噪音、十字路口噪音和冷氣機室外機噪音，測試三對斑胸草雀，分析牠們鳴唱和行為的變化。結果發現，斑胸草雀在無噪音時，雄鳥鳴唱前會有棲木移動加定點轉身的行為，鳴唱過程中雌鳥會減少東張西望行為。每隻雄鳥的鳴唱句子包括開頭固定的音節，以及接續重複的音節（組），並因個體而異。在噪音影響下，斑胸草雀鳴唱的平均頻率會上升，且拉高最低頻率，鳴唱的平均音量會下降，且拉低最低音量；鳴唱句子的平均秒數、平均音節數、音節類型、音節組合會改變，不完整句數會增加；鳴唱過程中雄鳥和雌鳥的行為頻度和順序也會改變，尤其是交通噪音影響較大。

## 壹、研究動機

上理化課時提及噪音會干擾談話，嚴重會造成聽力受損<sup>[1]</sup>，如果我們生活中的噪音會對我們談話造成影響，那生物課本提到利用聲音溝通的動物<sup>[2]</sup>，例如同樣和我們生活在都市環境的鳥類，是否也會被噪音干擾他們的談話？同學家位於二線道的馬路旁，在頂樓養了不少斑胸草雀和其他鳥類，往來車輛或其他噪音是否影響到牠們的溝通，讓我們想一探究竟。

斑胸草雀(*Taeniopygia guttata*)，英文名 Zebra Finches，屬雀形目梅花雀科，主要分佈於澳大利亞和印尼東部島嶼以草原、灌木、荒漠為主的開闊地帶，其鳴聲方面很多顯著的特點，使牠成為重要的鳴聲的研究模式動物<sup>[3-4]</sup>。這些特性剛好符合我們的實驗需求，因此我們決定使用斑胸草雀作為我們的研究對象，來探討噪音對鳥類鳴唱的影響。

都市噪音包括鄰里噪音（住宅區噪音）、文教區噪音、醫院噪音、娛樂休閒噪音等，其中住宅區噪音中，空調和冰箱是對人們產生較大噪音干擾的生活設備<sup>[5]</sup>。由於同學家的鳥養在室外，噪音來源主要就是空調室外機及交通噪音，於是我們決定採用這兩類噪音來探討其對斑胸草雀的影響。

鳥類，尤其是鳴禽，主要透過鳴聲(vocalization)進行通訊，鳴聲可分為鳴叫（call，或稱叫聲）和鳴唱（song，或稱歌聲）兩類，鳴叫通常是指短促而簡單的鳴聲，與生俱來，雌雄

個體都會鳴叫，多用在特定場合，如乞食、預警、求救等；鳴唱是繁殖期的雄鳥所發出相對較長、較複雜的鳴聲，主要用以保衛領域、吸引配偶。鳴叫的形成主要傾向先天的作用，而鳴唱則是學習而來，因此我們認為周圍環境的聲音，應該對雄鳥的求偶鳴唱有較大的影響<sup>[4, 6, 7]</sup>。噪音會對鳥類鳴聲的頻率、振幅、鳴唱時間造成影響<sup>[7]</sup>，但鳴唱中的複雜結構是否會因環境噪音影響而有所改變，甚至進一步影響其鳴唱求偶的效果，卻沒有特別討論，因此噪音如何影響到鳴唱的物理特徵（音量、頻率）和鳴唱結構是我們想要了解的。此外，鳥類在求偶鳴唱時常會有伴隨特定動作，我們也想利用此次實驗探討噪音是否會影響求偶動作。

## 貳、研究目的

本研究以斑胸草雀為研究對象，探討噪音是否會影響鳥類求偶鳴唱和行為，針對上述研究問題，本研究的研究目的包括：

- 一、觀察斑胸草雀在無噪音下的求偶行為。
- 二、探討常見都市噪音對斑胸草雀求偶行為的影響。

## 參、研究設備及器材

### 一、實驗生物

斑胸草雀為梅花雀科草雀屬鳥類。頭部及背部呈灰色（另外有白色及駝色變種），嘴基的兩側及兩眼下方，均有黑色的羽紋，眼先為白色，嘴多為深紅色，尾羽較短，多為黑色，常被長的尾上覆羽所遮蓋，尾羽並有較規則的白色橫紋，故又稱斑馬雀（圖 1~4）。斑胸草雀壽命約 7~10 年，出生 3 個月後開始鳴唱求偶，通常要至 5 個月後才能成功繁殖（表 1）。

表 1. 斑胸草雀雄鳥、雌鳥、幼鳥特徵比較<sup>[3]</sup>

特徵	雄鳥	雌鳥	幼鳥
頰斑	有橙紅色的頰斑	無橙紅色的頰斑	無橙紅色的頰斑
喉至上胸	具有波狀黑紋	無波狀黑紋	無波狀黑紋
胸下部兩側及兩脅	紅褐色有小白圓點	無紅褐色及白色圓點	無紅褐色及白色圓點
體羽	灰色	灰色	灰色
頭部的羽毛	灰色	灰色	灰色
嘴	深紅色	深紅色	黑色



圖 1.雄鳥



圖 2.雌鳥



圖 3.白色變種雌鳥



圖 4.駝色變種雌鳥

本研究實驗對象來源為寵物店購得並飼養於家中鳥籠的雌雄個體。研究初期選擇 5 個月~1 歲的斑胸草雀雄雌各 3 隻進行初步測試，代號分別為雄 A~C、雌 A~C，其中雄 A 有鳴唱並交配成功的經驗（老手），雄 B 正處於學習鳴唱階段但未有交配經驗（新手），雄 C 與雄 B 年齡相近，但不會鳴唱（生手）。雌 A 有交配產卵經驗，雌 B 和雌 C 則沒有交配產卵經驗。

測試環境為研究者家中房間，開始時將雄鳥和雌鳥分別放入第一代實驗紙箱兩端，並以紙板隔離，適應 10 分鐘後移開紙板使其碰面，並開始錄音錄影紀錄 5 分鐘。觀察者於實驗過程中退至觀察窗之外的區域，以減少干擾。實驗組別由雄鳥和雌鳥交叉配對，共配對 9 組進行實驗，實驗結果如表 2。我們發現無噪音狀況下，雄鳥中僅雄 A 表現鳴唱行為，且只對雌 A、雌 C 鳴唱，因此我們決定研究採用有交配經驗並有配對行為的雄雌鳥，較能成功表現求偶鳴唱。本研究採用在原先飼養鴿舍中固定成對活動的斑胸草雀，並確認雌鳥腹中沒有待產的蛋後，挑選三對作為正式實驗對象，其基本資料如圖 5~圖 10。

表 2.初步測試各組雄雌鳥鳴唱時間總計（秒）

	雌 A	雌 B	雌 C
雄 A	86	0	70
雄 B	0	0	0
雄 C	0	0	0



圖 5.第一對之雄鳥。灰羽，年齡一歲，有繁殖經驗。



圖 6.第二對之雄鳥。駝羽，年齡 8 個月，有繁殖經驗。



圖 7.第三對之雄鳥。灰羽，年齡一歲，有繁殖經驗。



圖 8.第一對之雌鳥。灰羽，年齡一歲，有繁殖經驗。



圖 9.第二對之雄鳥。白羽，年齡一歲，有繁殖經驗。



圖 10.第三對之雄鳥。駝羽，年齡 10 個月，有繁殖經驗。

## 二、飼養方法

平時飼養環境是住宅頂樓室外鴿舍改造的開放式鳥籠（圖 11~12），採自然日照週期，氣溫變化亦同，冬天夜晚或寒流等較冷的時期會另外以保溫燈照射使其保暖。每天餵食脫殼小米及飲用水，每三天餵食帶殼小米及加那利子，每週一次以水盤盛裝自來水供其清洗。

進行實驗前一週將實驗個體移至實驗房間內，將其飼養於與實驗用紙箱類似的預備紙箱（有人活動時箱內音量約 49dB）中繼續飼養，使其適應環境一週，再進行實驗。



圖 11.飼養環境（開放式鳥籠）



圖 12.飼養環境（開放式鳥籠）

## 三、實驗及紀錄器材軟體

（一）實驗裝置：以紙箱自製觀察箱（圖 13、圖 14），並根據初步測試結果，改良出第二代實驗裝置（圖 15），以加大箱內活動空間，並提供食物、水、巢箱、棲木，

模擬原生活鴿舍。

(二) 紀錄器材：錄音筆 (SONY ICD-UX560F)、手機 (zenfone 4 selfie pro)、指向型麥克風、分貝計 APP (聲級計)、網路攝影機 (羅技 C525)。

(三) 噪音播放器材：藍芽喇叭。

(四) 聲音分析軟體： Audacity v2.3.1、Wavesurfer。



圖 13.第一代實驗觀察箱



圖 14.第一代實驗觀察箱內部裝置

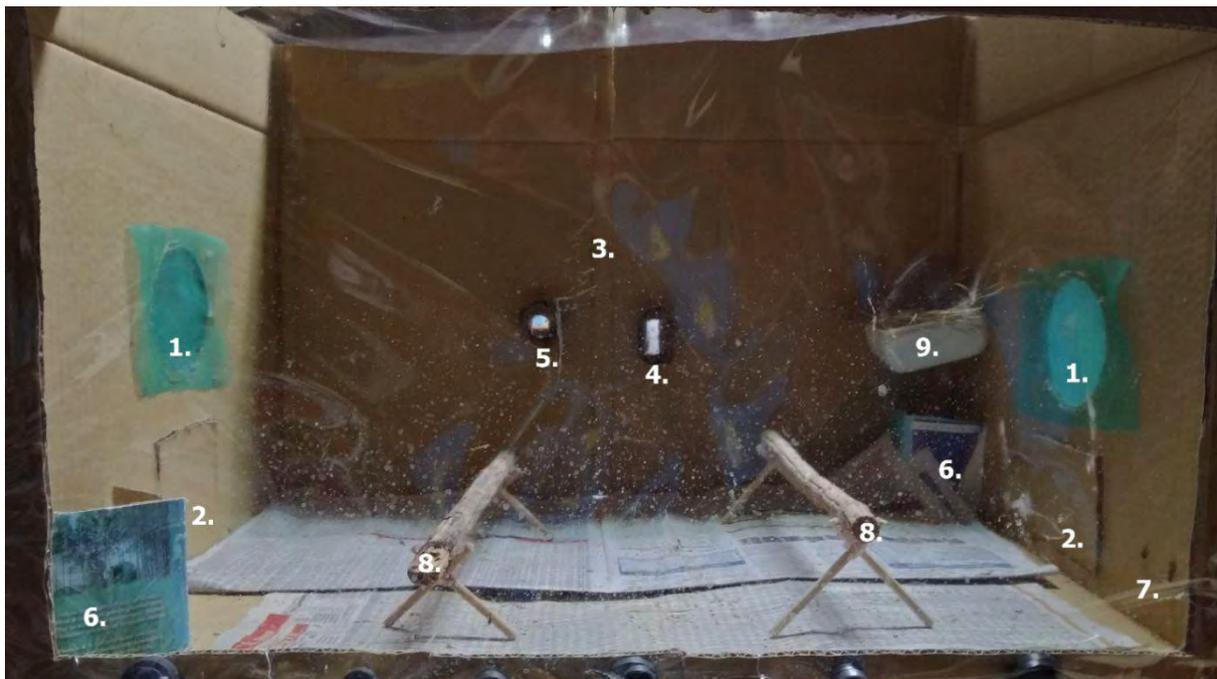


圖 15.第二代實驗觀察箱。代號：1-通氣孔、2-斑胸草雀出入口、3-隔板置入孔、4-錄音筆置入口、5-指向型麥克風置入口、6-藍芽喇叭隱藏區、7-飼料吊掛口、8-棲木、9-鳥巢。

## 肆、研究過程與方法

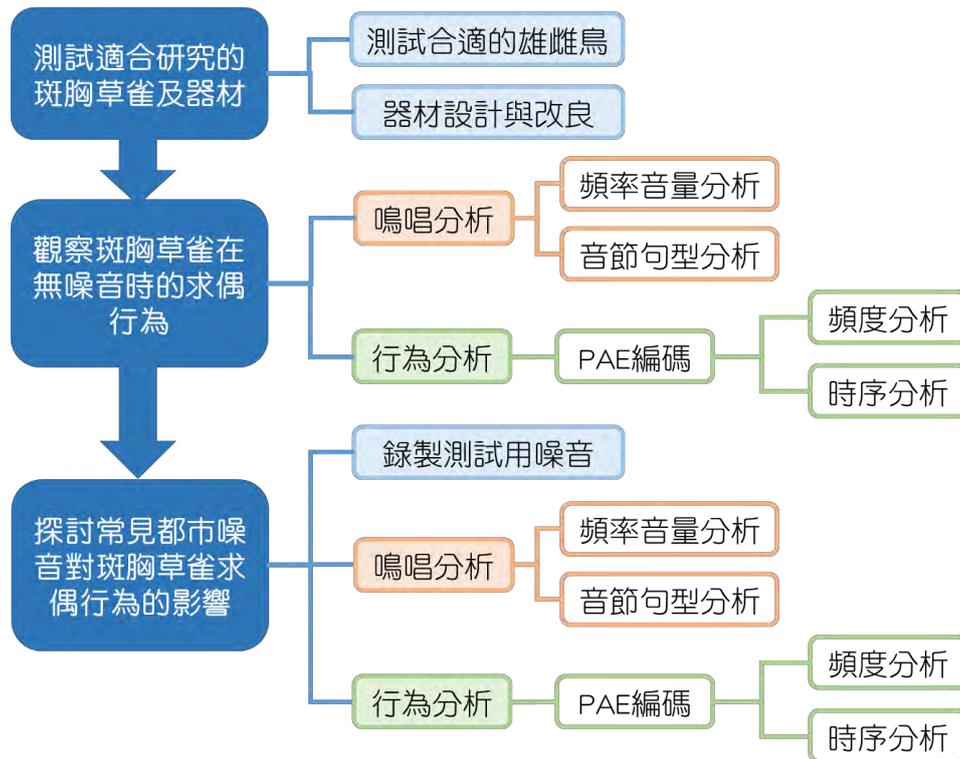


圖 16.實驗設計圖

### 一、觀察斑胸草雀在無噪音下的求偶行為

實驗開始時將成對的雄雌鳥分別放入實驗紙箱兩端，並以紙板隔離，適應 10 分鐘後輕輕移開紙板使其碰面，並使用手機於觀察箱正面錄影，連接指向型麥克風對準雄鳥錄音，並使用錄音筆同步錄音、網路攝影機同步錄影，以減少錄影錄音死角問題。觀察者於實驗過程中會退至觀察窗之外的區域，以減少干擾。錄影時間不限，以能收錄雄鳥鳴唱片段為目的，根據實驗結果一般抽開隔離紙板後約 1~5 分鐘即有鳴唱行為出現。

#### (一) 鳴唱分析

我們先利用 Audacity 軟體將錄好的音檔去噪，再將聲音檔匯入 Wavesurfer 軟體轉換成聲譜圖(spectrogram)<sup>[8、9]</sup>，並根據尚華（2008）提到的定義<sup>[10]</sup>，將聲譜圖內的圖形分為音素、音節、句子，其定義如下，示意圖如圖 17：

- 1.音素(note/element)：在聲譜圖上表現為一連續曲線結構，是最小的聲音單位。
- 2.音節(syllable/element-group)：固定組合在一起的音節，並在一個句子中重複出現。
- 3.句子(song/verse)：為鳴唱系列中包含音素或音節的連續段落，句子與句子之間通常由空白的暫停所分隔 (>2 秒)，通常直接被稱為鳴唱。

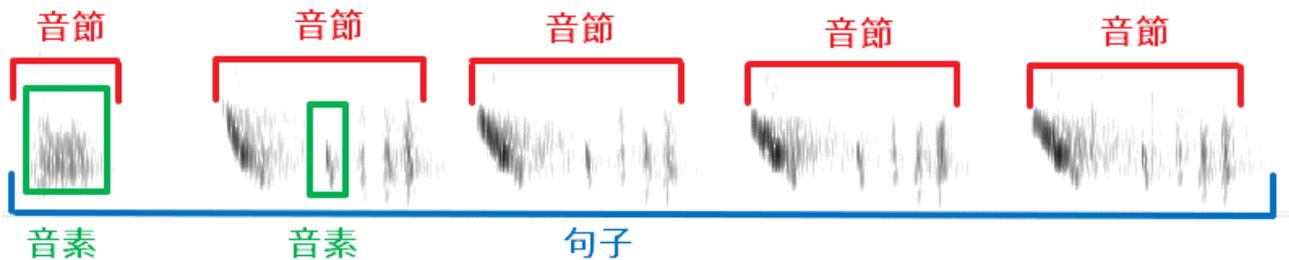


圖 17. 鳴唱分析示例

將各音節按聲譜圖形差異加以命名，若圖形相似則聽音檔輔助判斷。將各鳴唱片段分析標示後，進行兩項分析<sup>[11]</sup>：

- (1)基本分析：句子持續時間、句子內的音節組成、句子內的音節數、句子的最低頻率、最高頻率、最低分貝、最高分貝，並換算每句平均秒數、每句平均音節數。
- (2)句型分析：音節類型與音節在句子中的排列順序。

## (二) 行為分析

1. 影片中雄鳥經常連續唱出許多句子後，間隔一段時間再唱，我們將句子間隔不超過一分的句子組合起來，作為一個分析片段（句子組），並多取前後各 30 秒的影片，分析鳴唱前、中、後的動作片段。
2. 編碼方式：我們根據影片，先將斑胸草雀的行為拆解成姿勢(P)、動作(A)、環境(E)三種要素<sup>[12]</sup>（如表 3~表 5），然後利用這些要素去紀錄並分類斑胸草雀的行為，得到斑胸草雀在求偶鳴唱過程的行為編碼共 8 種（表 6），動作圖解詳見圖 18~圖 25。

表 3. 斑胸草雀姿勢編碼。姿勢的定義為較長時間身體軀幹維持穩定狀態。

姿勢	描述	編碼
站	雙腳直立承重，軀幹保持不動	P1
俯身	軀幹壓低，足部與站差異不大	P2
伸展	軀幹直立、足部伸直	P3

表 4. 斑胸草雀動作編碼。動作的定義為短時間內，草雀身體部份骨骼和肌肉群的運動，使身體部份結構發生運動。

部位	動作描述	編碼	部位	動作描述	編碼
頭部	抬頭	A1	羽毛	蓬鬆	A11
	低頭	A2	足部	向前跳	A12
	左轉	A3	軀幹部	向右傾	A13
	右轉	A4		向左傾	A14
	後轉	A5		轉身	A15
	頭左傾	A6	尾部	尾上揚	A16
	頭右傾	A7	翅部	舉左翅	A17
喙部	啄	A8		舉右翅	A18
頭頸部	震動	A9		拍翅	A19
	挺胸	A10			

表 5. 斑胸草雀環境編碼。環境是指非生物性的箱中空間及生物性的異性。

環境	動作描述	編碼
地面	實驗空間紙質底面	E1
棲木	棲息用木桿	E2
異性	不同性別的斑胸草雀	E3

表 6. 斑胸草雀行為編碼。行為是姿勢和動作的結合，並在特定的環境中發生，具有時序性

行為編號	行為名稱	行為者	姿勢代碼	動作代碼	環境代碼
1	理羽	雄、雌	P1、P2、P3	A2、A3、A4、A5、A6、A7、A8、A9、A10、A11、A16、A18	E1、E2、E3
2	定點轉身	雄、雌	P1、P2	A6、A7、A13、A14、A15	E1、E2、E3
3	棲木移動	雄、雌	P1、P2	A1、A2、A4、A12、A19	E1、E2、E3
4	東張西望	雄、雌	P1、P2、P3	A1、A2、A3、A4、A5、A8、A12、A15	E1、E2、E3
5	互看	雄、雌	P1	A3、A4	E1、E2、E3
6	爬上雌鳥	雄	P1、P2	A12	E1、E3
7	追逐雌鳥	雄	P1、P2	A10、A12	E1、E3
8	保持距離	雌	P1、P2	A12	E1、E2、E3

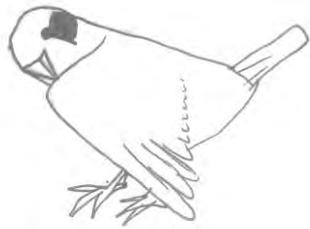


圖 18.理羽行為

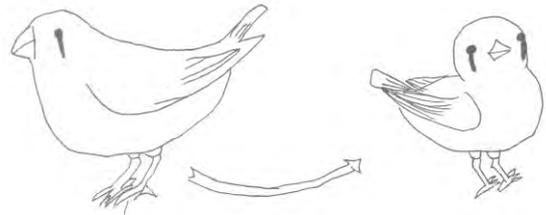


圖 19.定點轉身行為

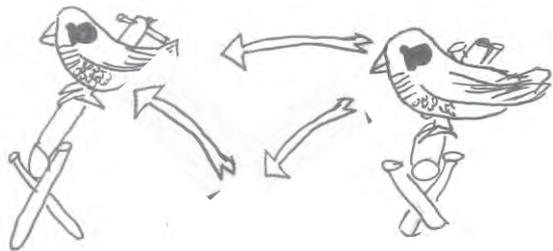


圖 20.棲木移動行為



圖 21.東張西望行為

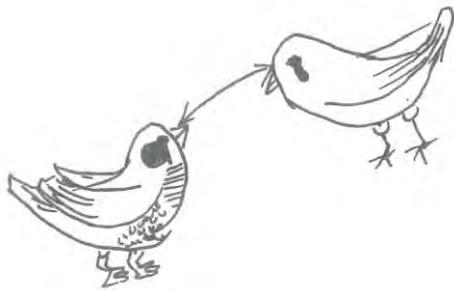


圖 22.互看行為



圖 23.爬上雌鳥行為

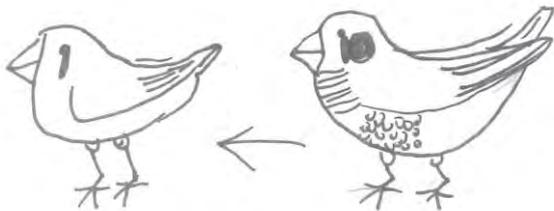


圖 24.追逐雌鳥行為

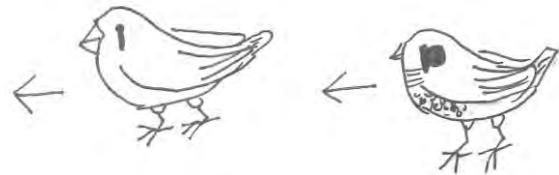


圖 25.保持距離行為

## 二、探討常見都市噪音對斑胸草雀求偶行為的影響

(一) 環境噪音錄製：本研究錄製的交通噪音來源為學校旁四線道馬路，地點為十字路口，錄製時間為 2019/5/22 下午四點，因時近下班下課時間，交通流量較大。冷氣機噪音來源為同學家陽台室外機（以下簡稱冷氣機），以室內機設定降溫 3 度為條件啟動冷氣，錄製時間為 2019/5/22 晚上九點。利用錄音筆收錄 5 分鐘片段，共錄製 3 次，過程中每分鐘測量一次音量（分貝），並以 Audacity 軟體分析錄音檔中的頻率，計算平均音量和平均頻率（結果如表 7），作為實驗用噪音來源和播放音量依據。

表 7.實驗用噪音基本資料

噪音來源	平均音量(dB)	平均頻率(Hz)
十字路口	63.1 ± 3.0	8829.3 ± 138.8
冷氣機室外機	54.3 ± 1.0	8710.0 ± 206.2

(二) 噪音播放實驗：實驗進行時，利用藍芽喇叭播放噪音檔，播放音量以實驗箱中央達到噪音檔平均音量為準。實驗開始時將成對的雄雌鳥分別放入實驗紙箱兩端，並以紙板隔離，適應 10 分鐘後輕輕移開紙板使其碰面，並開始播放噪音檔 5 分鐘。使用手機於觀察箱

正面錄影，連接指向型麥克風對準雄鳥錄音，另外以同時以錄音筆同步錄音、網路攝影機同步錄影，以減少錄影錄音死角問題。觀察者於實驗過程中會退至觀察窗之外的區域，以減少干擾。第一對雄雌鳥進行完一次實驗後會進行休息，直到第二、三對各做完一次實驗，才讓第一對再進行實驗，過程中每對至少休息 30 分鐘，以避免草雀疲勞及受噪音影響太久。

(三) 結果分析：進行鳴唱分析和行為分析。

## 伍、研究結果

### 一、觀察斑胸草雀在無噪音下的求偶行為

#### (一) 鳴唱分析

1. **基本分析**：根據鳴唱過程的總秒數和句子數，在無噪音狀態下的三對雄鳥結果如表

8。鳴唱的每句平均秒數為 2~2.4 秒，但每句的平均音節數不同，可以看出第三對鳴唱的速度較快，其次為第二對和第一對。平均頻率為 9097.6Hz~9370.8Hz，音量 59.2dB~61.4 dB，差異較小。

表 8.無噪音下三對雄鳥鳴唱基本資料

	時數(秒)	句子數	每句平均秒數(秒)	每句平均音節數(個)
第一對	22	11	2.0	5.2
第二對	75	35	2.1	10.1
第三對	61	25	2.4	12.0

表 9.無噪音下三對雄鳥鳴唱頻率與音量

	最低頻率平均(Hz)	最高頻率平均(Hz)	最低音量平均(dB)	最高音量平均(dB)	平均頻率(Hz)	平均音量(dB)
第一對	599.6±129.9	17744.4±371	41.9±5.5	81.6±3.6	9172.0±214.3	61.4±2.6
第二對	638.2±156	18103.5±611	40.8±4	80.2±5	9370.8±277.5	60.5±2.6
第三對	580.7±171	17614.5±239	36.2±2	82.2±5	9097.6±140	59.2±3

## 2. 句型分析

(1)第一對：無噪音狀態下的第一對雄鳥鳴唱中包括 3 種音節類型（圖 26）。我們認為 A<sub>1</sub> 型音節為完整句子的開頭，可接 B<sub>1</sub> 型音節構成基本句子，而 C<sub>1</sub> 型音節多穿插在句子內，因此所構成的句型可分為下列四種，其中第 1、2、3 種皆為完整句，第 4 種屬於不完整句。

①基本句型：A<sub>1</sub> 型音節+B<sub>1</sub> 型音節（可重複），如圖 27。

②組合句型：由數個基本句型組成一句，如圖 28。

③變化句型：基本句型或組合句型穿插 C<sub>1</sub> 型音節，如圖 29。

④不完整句型：句子開頭非 A<sub>1</sub> 型音節、D<sub>1</sub> 型音節後未接 B<sub>1</sub> 型或 C<sub>1</sub> 型音節，但未出現。

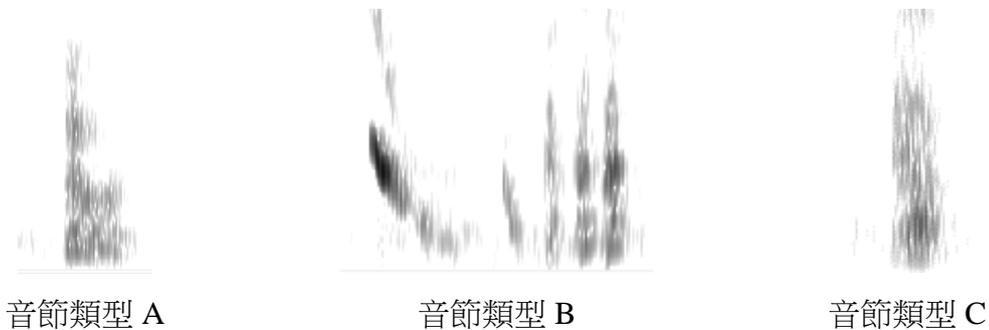


圖 26.第一對雄鳥在無噪音下的音節類型

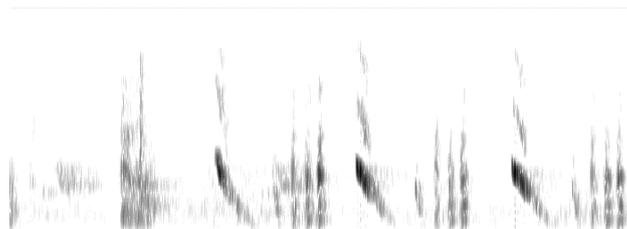


圖 27.基本句(6:40-6:42 A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>B<sub>1</sub>B<sub>1</sub>)



圖 28.組合句（16:04~16:08 A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>B<sub>1</sub>B<sub>1</sub>B<sub>1</sub>B<sub>1</sub>A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>B<sub>1</sub>）

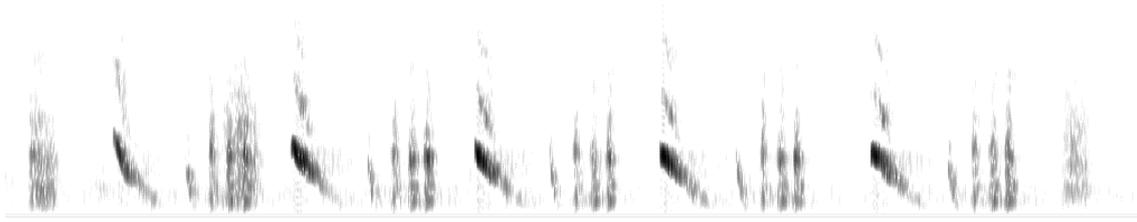


圖 29.變化句 (14:56-14:59  $A_1B_1B_1B_1B_1C_1$ )

(2)第二對：無噪音狀態下的第二對雄鳥鳴唱中包括 4 種音節類型 (圖 30)。我們認為  $D_2$  型音節為完整句子的開頭，之後可接  $A_2B_2C_2$  型音節構成基本句子，而  $C$  型音節多穿插在句子內，因此所構成的句型可分為下列四種，其中第 1、2、3 種皆為完整句，第 4 種屬於不完整句。

- ①基本句型： $D_2$  型音節 +  $A_2B_2C_2$  型音節 (可重複)，如圖 31。
- ②組合句型：由數個基本句型組成一句，如圖 32。
- ③變化句型：基本句型或組合句型穿插非  $A_2B_2C_2$  型音節，如圖 33。
- ④不完整句型：句子開頭非  $D_2$  型音節、 $D_2$  型音節後未接  $A_2B_2C_2$  型音節組，但未出現。

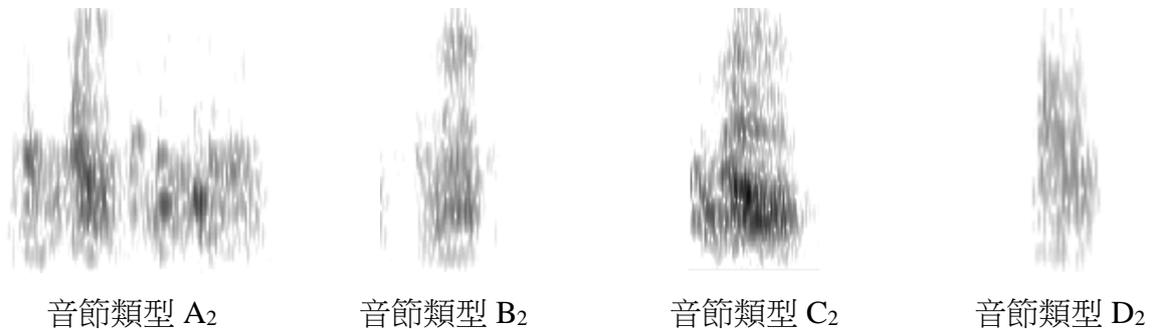


圖 30.第二對雄鳥在無噪音下的音節類型

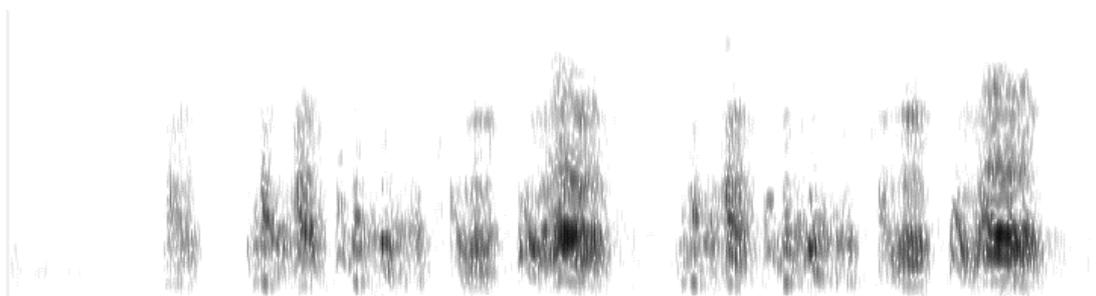


圖 31.基本句 (23:20-23:22  $D_2A_2B_2C_2A_2B_2C_2$ )



圖 32.組合句 (27:41~27:43  $D_2A_2B_2C_2 D_2A_2B_2C_2$ )

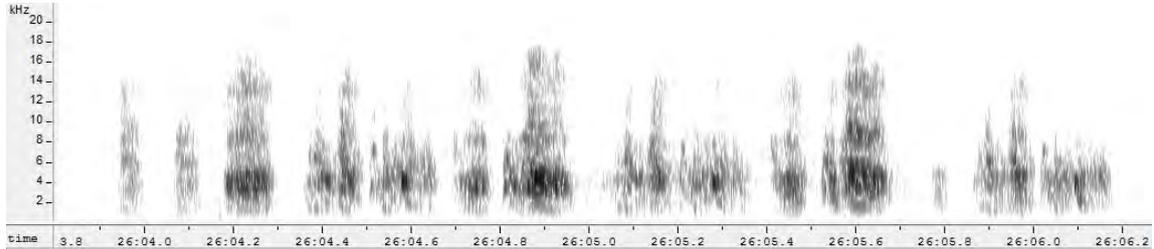


圖 33.變化句 (26:04-26:06  $D_2D_2C_2A_2B_2C_2A_2B_2C_2A_2$ )

(3)第三對：無噪音狀態下的第三對雄鳥鳴唱中包括 4 種音節類型 (圖 34)。我們認為  $D_3A_3$  型音節為完整句子的開頭，之後可接  $B_3C_3A_3$  型音節構成基本句子，因此所構成的句型可分為下列四種，其中第 1、2、3 種皆為完整句，第 4 種屬於不完整句。

- ①基本句型： $D_3A_3$  型音節 +  $B_3C_3A_3$  型音節組 (可重複)，如圖 35。
- ②組合句型：由數個基本句型組成一句，如圖 36。
- ③變化句型：基本句型或組合句型穿插非  $B_3C_3A_3$  型音節組，如圖 37。
- ④不完整句型：句子開頭非  $D_3A_3$  型音節、 $D_3A_3$  型音節後未接  $B_3C_3A_3$  型音節組，但未出現。



音節類型  $A_3$



音節類型  $B_3$



音節類型  $C_3$



音節類型  $D_3$

圖 34.第三對雄鳥在無噪音下的音節類型

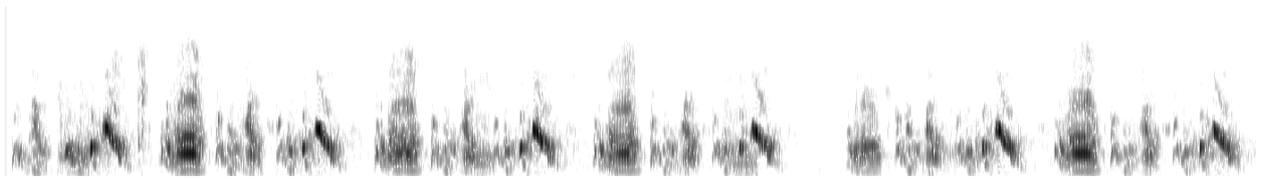


圖 35.基本句(6:00-6:03 D<sub>3</sub>A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub> A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub> A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub> A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub> A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub> A<sub>3</sub>)

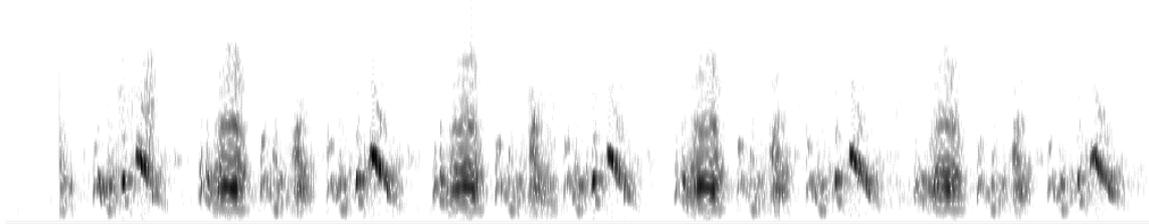


圖 36.組合句 ( 5:24-5:27 D<sub>3</sub>A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>A<sub>3</sub>D<sub>3</sub>A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>A<sub>3</sub>)



圖 37.變化句(6:13-6:17 D<sub>3</sub>A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>A<sub>3</sub>A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>D<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>A<sub>3</sub>)

## (二) 行為分析

1. **頻度分析**：取各動作分析片段計算各行為出現頻度，結果如圖 38~39。可以看出每對雄雌鳥偏好的行為不同，如第一對雄雌鳥皆較偏好理羽行為，第二對雄雌鳥則偏好棲木移動。

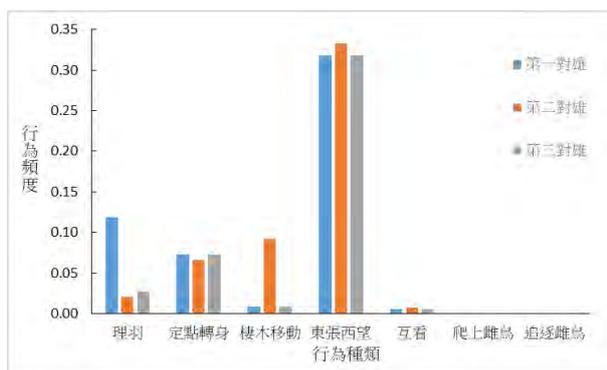


圖 38.無噪音三對雄鳥的行為頻度分析

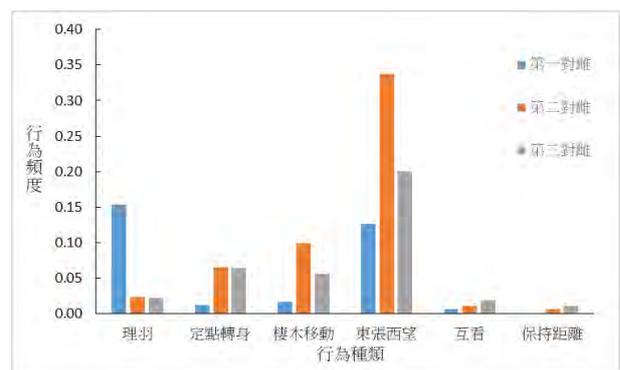


圖 39.無噪音三對雌鳥的行為頻度分析

2. **時序分析**：

(1) 第一對：由圖 40 中可以看出

**鳴唱前**：雄鳥有頻繁理羽行為，也有較多東張西望行為，開始鳴唱前出現定點轉身和棲木移動的行為。雌鳥有頻繁理羽行為，也有較多東張西望行為。

**鳴唱中**：開始鳴唱時，雄鳥東張西望和理羽行為中斷，之後又出現理羽行為。雌鳥東張西望行為中斷並逐漸減少，理羽行為中斷又重新開始。有四段鳴唱中出現互看行為。

**鳴唱後**：雄鳥理羽行為減少，雌鳥東張西望行為消失。

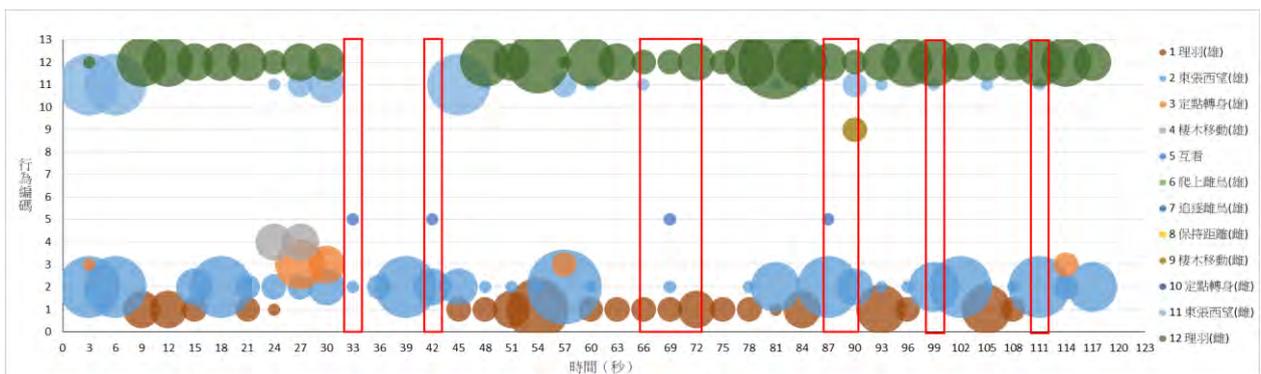


圖 40.無噪音第一對行為時序圖（影片 14:20~16:14）。縱軸為各行為編碼代號，每個時間點上出現的各色圓形，代表當時有出現該編碼的行為，行為的次數愈多，圓形直徑就愈大。紅色框的範圍代表有出現鳴唱。以下行為時序圖皆同，後略。

(2) 第二對：由圖 41 中可以看出

**鳴唱前**：雄鳥有頻繁東張西望行為，開始鳴唱前出現定點轉身和棲木移動的行為。雌鳥只有東張西望行為。

**鳴唱中**：鳴唱過程中，雄鳥東張西望行為減少，偶爾出現理羽行為，鳴唱片段較密集時處，伴隨棲木移動和定點轉身行為。雌鳥東張西望行為減少。

**鳴唱後**：雄鳥東張西望行為恢復較頻繁，雌鳥東張西望行為恢復較頻繁。

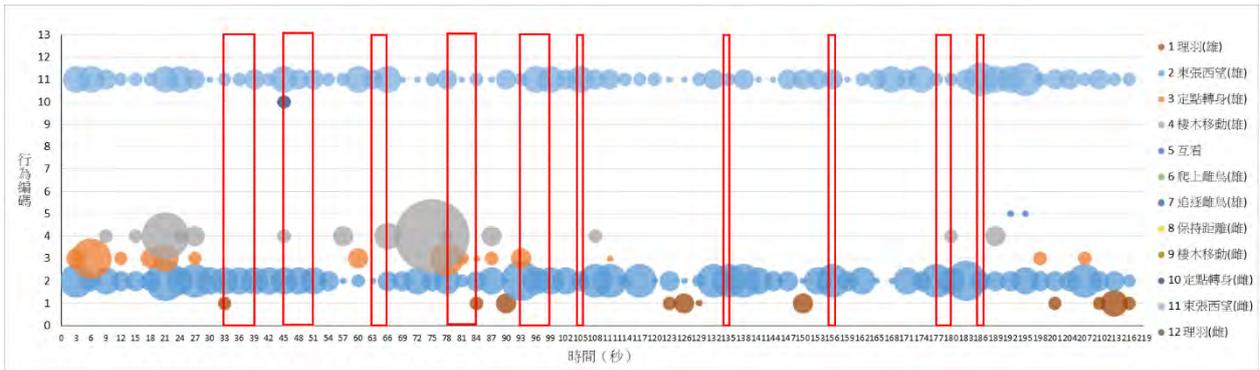


圖 41.無噪音第二對行為時序圖（影片 29:20~32:53）。

(3) 第三對：由圖 42 中可以看出

**鳴唱前**：雄鳥有頻繁東張西望行為，開始鳴唱前出現定點轉身和棲木移動的行為。雌鳥有東張西望、定點轉身和棲木移動行為。

**鳴唱中**：鳴唱過程中，雄鳥仍維持東張西望行為，鳴唱片段附近出現互看行為，伴隨棲木移動和定點轉身行為。雌鳥東張西望行為減少，仍持續定點轉身和棲木移動行為。

**鳴唱後**：雄鳥出現理羽行為，雌鳥出現理羽行為。

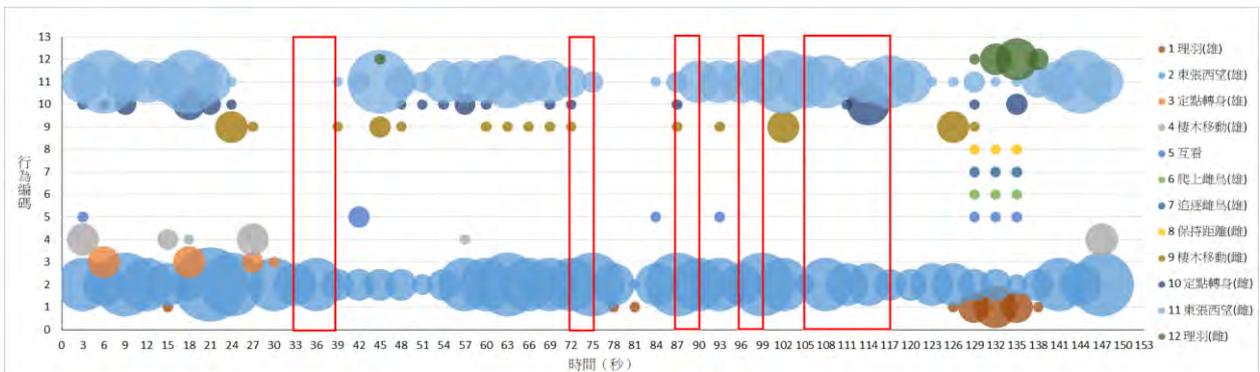


圖 42.無噪音第三對行為時序圖（影片 05:53~08:18）。

**小結**：雄鳥在鳴唱前會出現棲木移動後再定點轉身的行為，類似求偶鳴唱前的動作。雄鳥在鳴唱時，雌鳥常停止東張西望行為，應是在聆聽雄鳥鳴唱。

## 二、探討常見都市噪音對斑胸草雀求偶行為的影響

### (一) 鳴唱分析

#### 1. 基本分析

(1)第一對：播放 2 種噪音時，每句平均秒數、每句平均音節數皆增加，也就代表播放噪音時，第一對雄鳥鳴唱的句子長度皆增加（圖 43~44）。

由圖 45~46 來看，播放 2 種噪音時，平均頻率增加，其中十字路口的最低頻率範圍會上升；平均音量漸少，音量最低範圍下降。

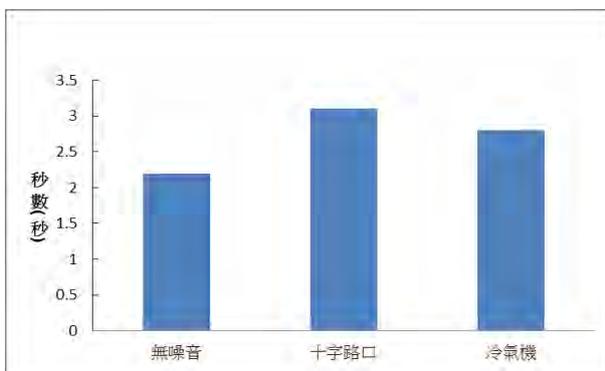


圖 43.第一對雄鳥鳴唱每句平均秒數比較

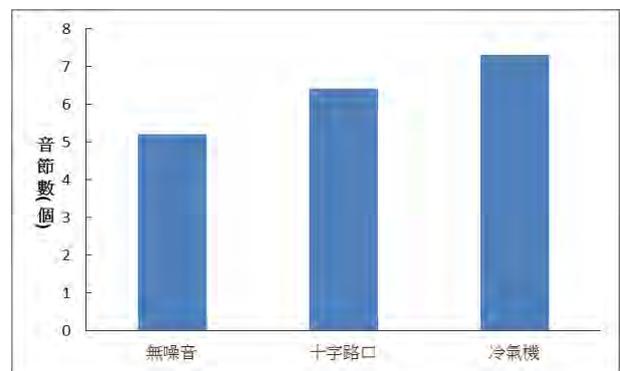


圖 44.第一對雄鳥鳴唱每句平均音節數比較

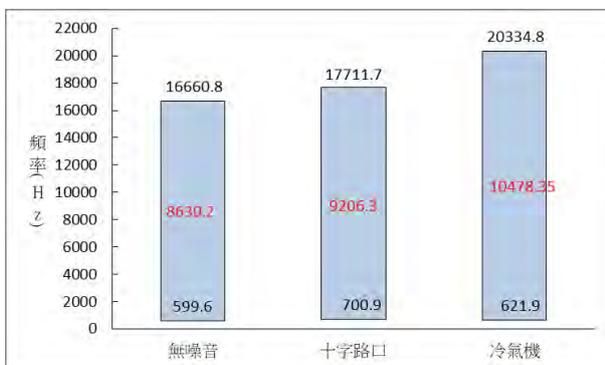


圖 45.第一對雄鳥鳴唱頻率範圍比較

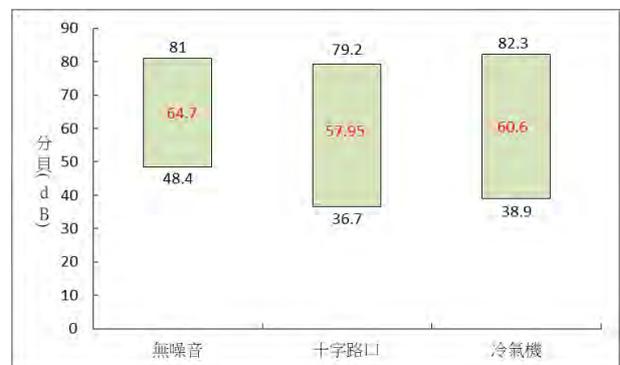


圖 46.第一對雄鳥鳴唱音量範圍比較

(2)第二對：播放十字路口噪音時，每句平均秒數、每句平均音節數皆減少，也就代表播放十字路口噪音時，第二對雄鳥鳴唱的句子長度皆減少，播放冷氣機噪音時每句平均秒數增加，每句平均音節數變化不大（圖 47~48）。

由圖 49~50 來看，播放噪音時平均頻率增加，其中十字路口的頻率最低範圍上升，冷氣

機的頻率最低範圍下降；播放噪音時平均音量減少，兩者的音量最低範圍皆下降。

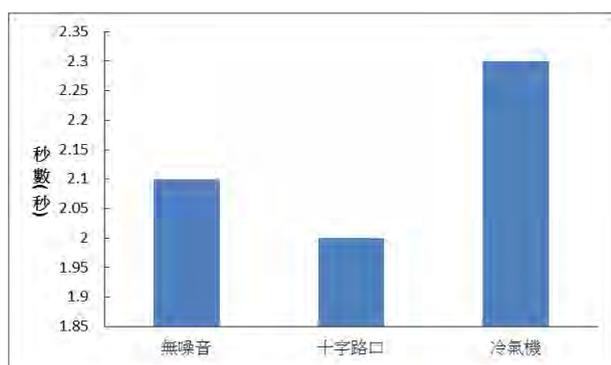


圖 47.第二對雄鳥鳴唱每句平均秒數比較

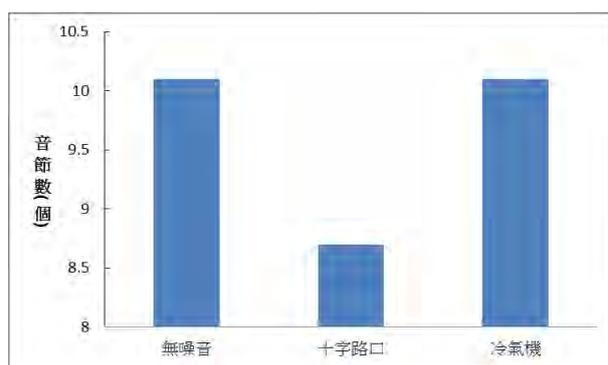


圖 48.第二對雄鳥鳴唱每句平均音節數比較



圖 49.第二對雄鳥鳴唱頻率範圍比較

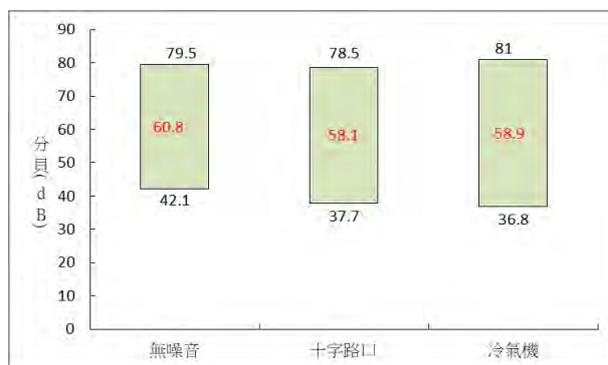


圖 50.第二對雄鳥鳴唱音量範圍比較

(3)第三對：播放十字路口噪音時，每句平均秒數、每句平均音節數皆減少，也就代表播放十字路口噪音時，第三對雄鳥鳴唱的句子長度減少。播放冷氣機噪音時，變化較小（圖 51~52）。

由圖 53~54 來看，播放噪音時平均頻率增加，其中十字路口的頻率最低範圍上升，冷氣機的頻率最低範圍下降；播放噪音時平均音量增加，兩者的音量最低範圍皆下降。

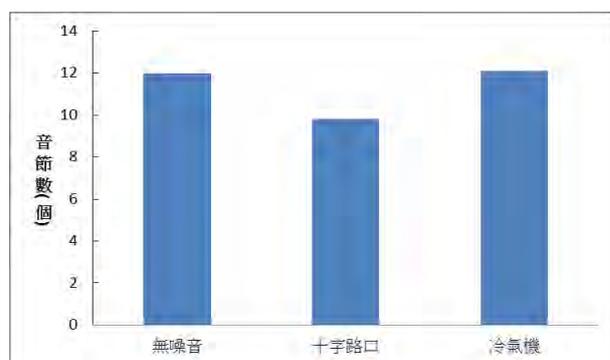
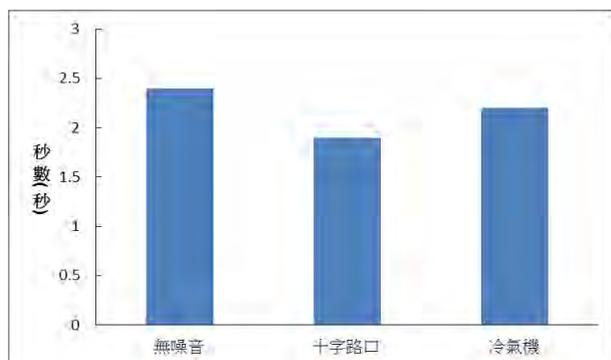


圖 51.第三對雄鳥鳴唱每句平均秒數比較

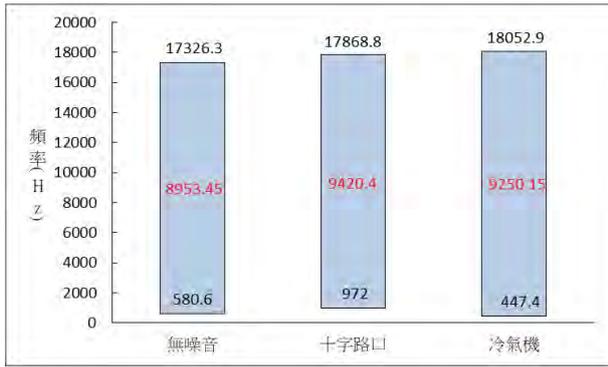


圖 53.第三對雄鳥鳴唱頻率範圍比較



圖 52 第三對雄鳥鳴唱每句平均音節數比較

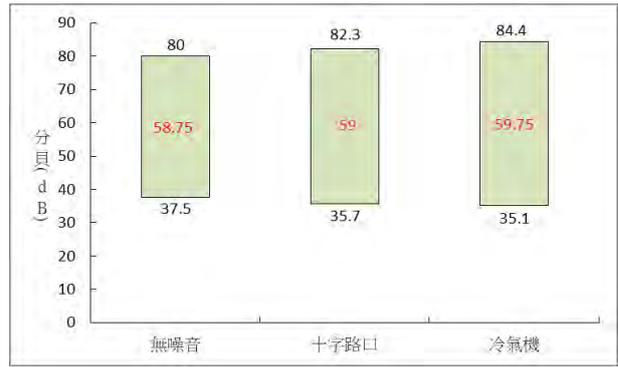


圖 54.第三對雄鳥鳴唱音量範圍比較



## 2.句型分析

(1)第一對：播放噪音前後均為完整句型，不受噪音影響（圖 55）。

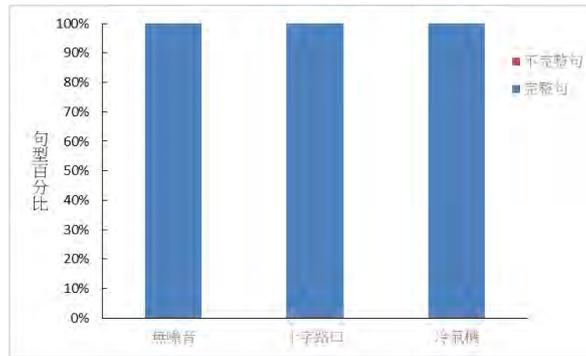


圖 55. 第一對雄鳥鳴唱句型比較

(2)第二對：在十字路口噪音下，不完整句比例增加（圖 56）。D<sub>2</sub> 型音節消失，在 A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub> 型音節組前取而代之出現的是 E<sub>2</sub> 型音節（圖 57），構成新的基本句型 E<sub>2</sub> A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>（圖 58）。

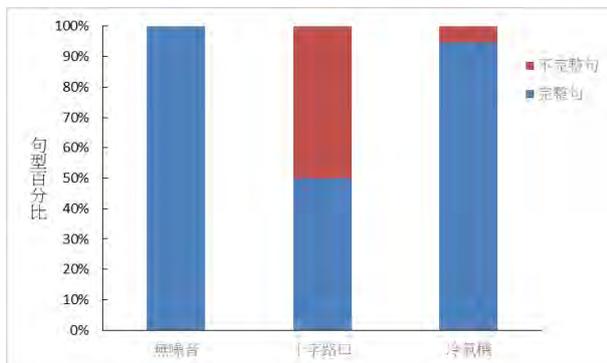


圖 56.第二對雄鳥鳴唱句型比較



圖 57.第二對雄鳥鳴唱特殊音節比較（左：無噪音 D<sub>2</sub>，右：十字路口 E<sub>2</sub>）

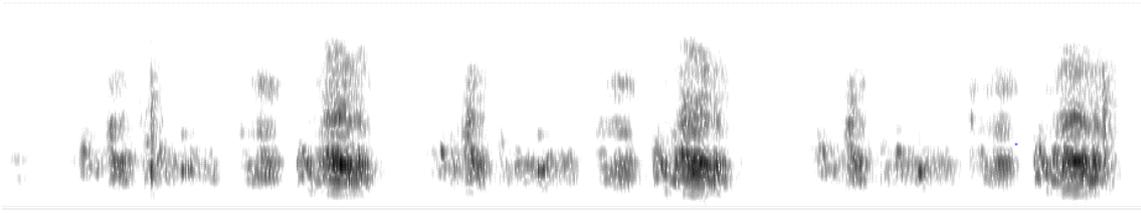


圖 58.第二對雄鳥鳴唱基本句型（十字路口， $E_2 A_2 B_2 C_2 A_2 B_2 C_2$ ）

(3)第三對：在十字路口噪音下，不完整句比例增加（圖 59）。原基本句型為  $D_3 A_3 + B_3 C_3 A_3$  型，在播放噪音時出現新型音節  $E_3$ （圖 60），其中十字路口噪音組基本句型變成  $E_3 A_3 + C_3 D_3 A_3$  型（如圖 61）。冷氣機噪音組變成  $E_3 A_3 + B_3 D_3 A_3$  型（如圖 62），較接近原基本句型。

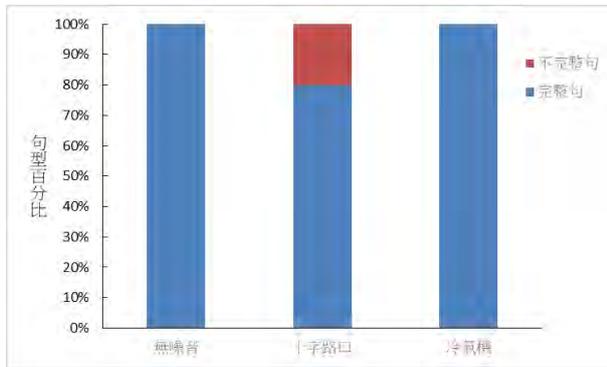


圖 59.第三對雄鳥鳴唱句型比較

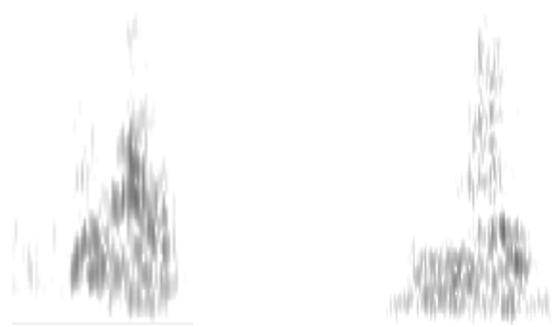


圖 60.第三對雄鳥鳴唱特殊音節比較（左：無噪音  $D_3$ ，右：十字路口  $E_3$ ）

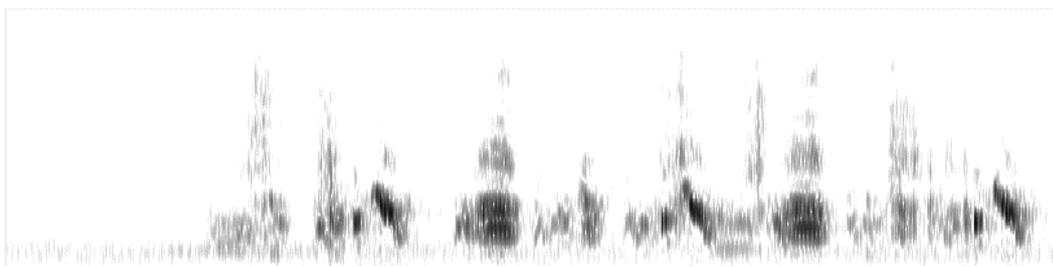


圖 61.第三對雄鳥鳴唱基本句型（十字路口， $E_3 A_3 C_3 D_3 A_3 C_3 D_3 A_3$ ）

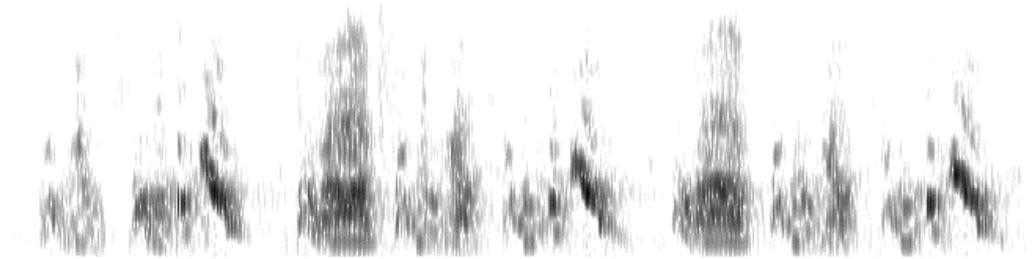


圖 62.第三對雄鳥鳴唱基本句型（冷氣機， $E_3A_3B_3D_3A_3B_3D_3A_3$ ）

**小結**：十字路口噪音比起冷氣機噪音，更能影響斑胸草雀的鳴唱句型。

## （二）行為分析

### 1. 頻度分析：

(1)第一對：以雄鳥來看（圖 63），噪音會造成雄鳥各行為頻度下降，經常表現的理羽行為也是如此，其中冷氣機噪音源造成的下降更多。以雌鳥來看（圖 64），噪音會造成雌鳥多數行為頻度下降，經常表現的理羽行為也是如此，但在十字路口噪音下，定點轉身和東張西望的行為頻度卻是上升。

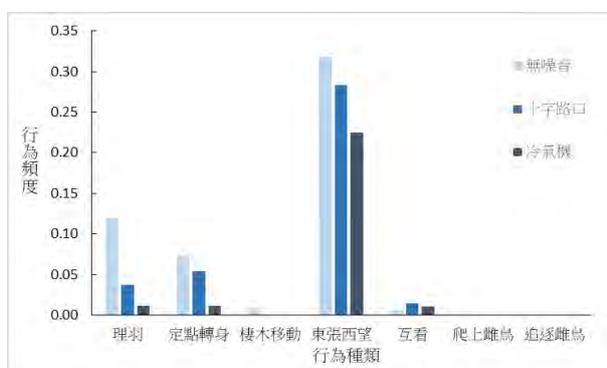


圖 63.第一對雄鳥的行為頻度變化

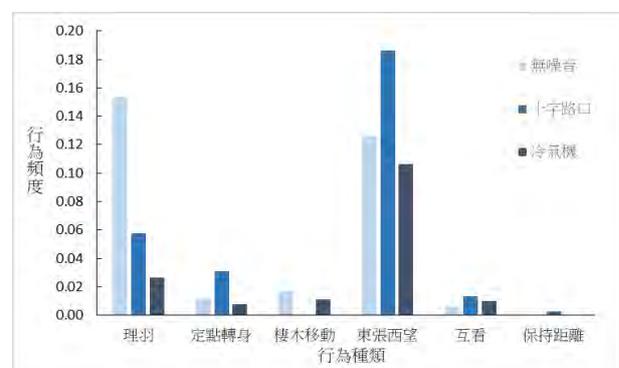


圖 64.第一對雌鳥的行為頻度變化

(2)第二對：以雄鳥來看（圖 65），十字路口噪音會造成雄鳥各行為頻度下降，經常表現的棲木移動行為也是如此，而在冷氣機噪音下，定點轉身和東張西望的行為頻度卻是上升。以雌鳥來看（圖 66），十字路口噪音會造成雌鳥多數行為頻度下降，經常表現的棲木移動行為也是如此，但在冷氣機噪音下，東張西望的行為頻度卻是上升。

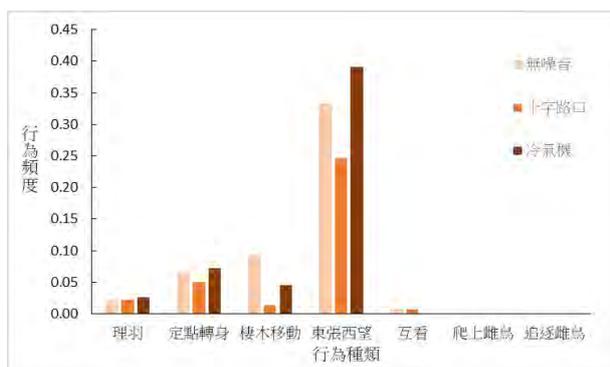


圖 65.第二對雄鳥的行為頻度變化

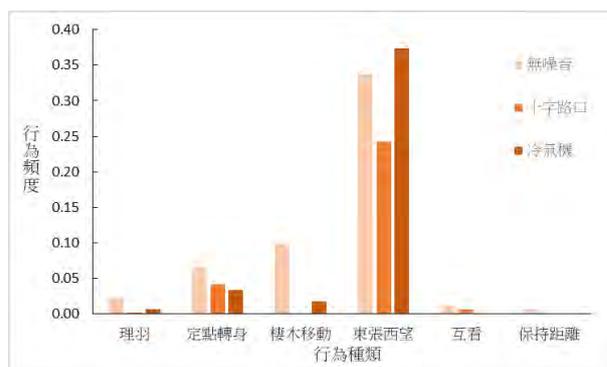


圖 66.第二對雌鳥的行為頻度變化

(3)第三對：以雄鳥來看（圖 67），噪音會造成雄鳥多數行為頻度上升，在冷氣機噪音下，定點轉身、棲木移動和東張西望的行為頻度上升較多。以雌鳥來看（圖 68），噪音會造成雌鳥多數行為頻度上升，定點轉身、棲木移動和東張西望的行為頻度上升較多，尤其是十字路口噪音。

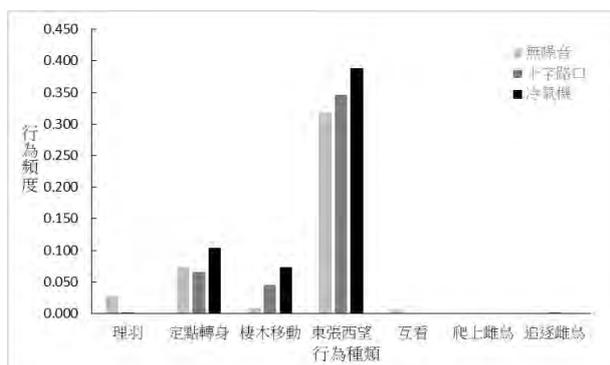


圖 67.第三對雄鳥的行為頻度變化

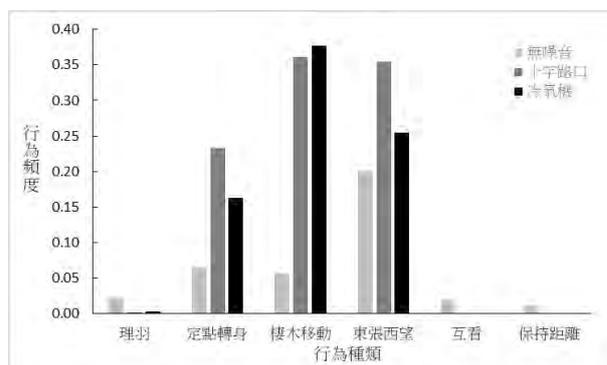


圖 68.第三對雌鳥的行為頻度變化

**小結**：由行為頻度來看，噪音對不同個體的影響程度不同。以雄鳥來看，第一、二對的習慣行為頻度會下降，在求偶鳴唱前會表現的棲木移動和定點轉身行為頻度下降。以雌鳥來看，雌鳥的東張西望行為頻度會增加，與無噪音時求偶鳴唱過程中會減少東張西望行為剛好相反。

## 2. **時序分析**：

(1)第一對：由圖 69、圖 70 來看，雄雌鳥理羽行為減少，十字路口噪音影響下在鳴唱過程

中雄鳥有較多定點轉身，但沒有伴隨棲木移動，也就是和無噪音時開始鳴唱的常有動作不同。雄鳥鳴唱期間，雌鳥東張西望行為會減少。

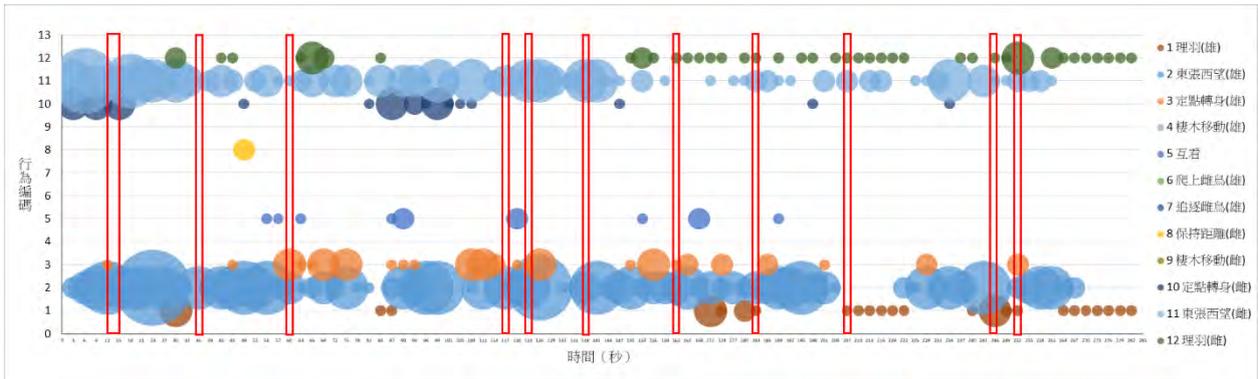


圖 69.十字路口第一對行為時序圖（影片 5:14~9:53）。

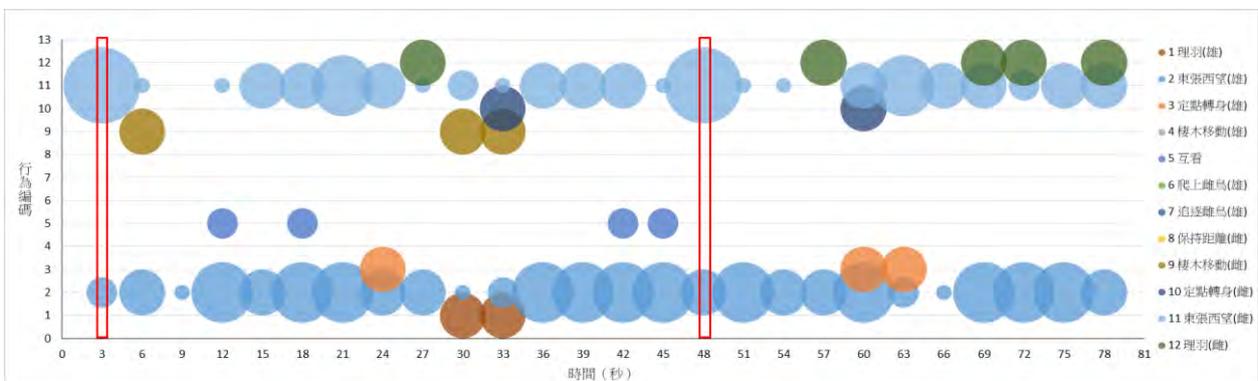


圖 70.冷氣機第一對行為時序圖（影片 5:27~6:42）。

(2)第二對：在圖 71、圖 72 中會發現十字路口噪音影響下，第二對雄雌鳥在定點轉身的動作上同時出現、彼此呼應的次數增加，鳴唱過程中雌鳥東張西望的次數有較少。

在冷氣機噪音影響下，雄鳥鳴唱過程中有伴隨較多棲木移動加定點轉身的求偶鳴唱前動作，但雌鳥東張西望行為也較多。

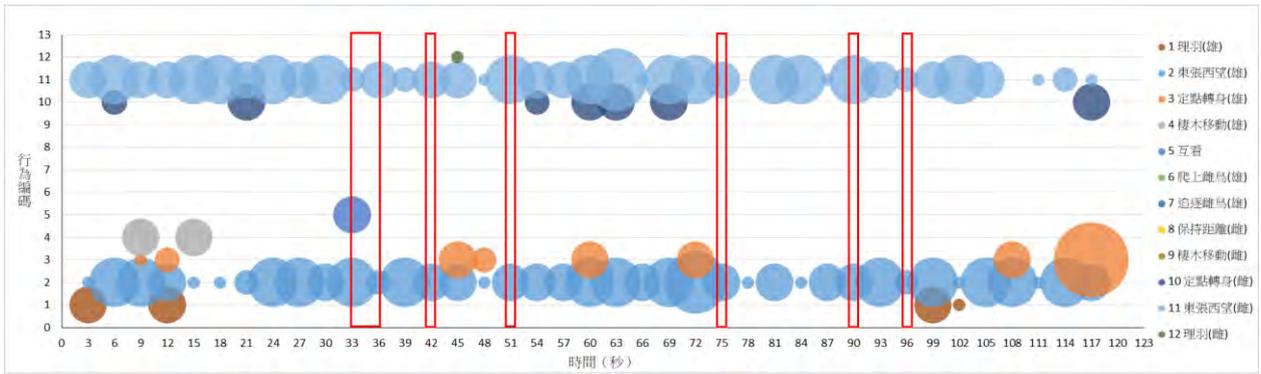


圖 71. 十字路口第二對行為時序圖 (影片 8:12~10:06)。

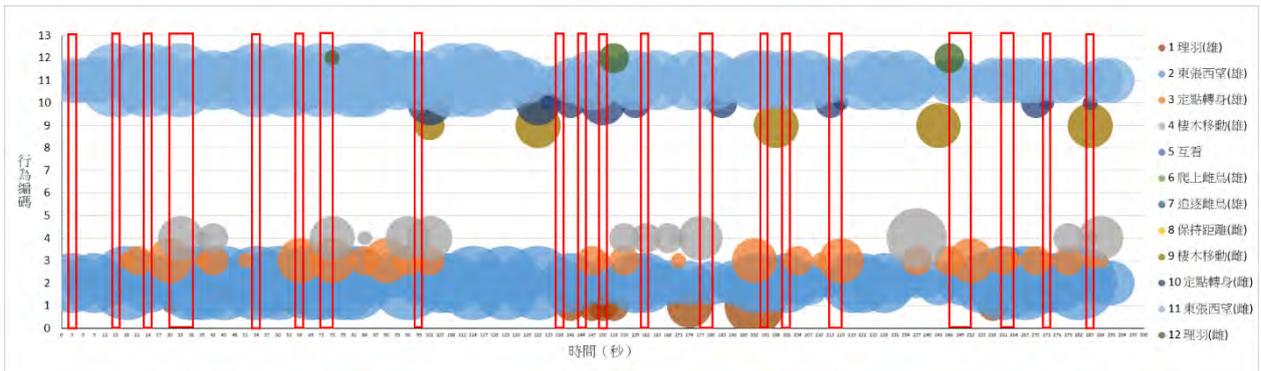


圖 72. 冷氣機第二對行為時序圖 (影片 5:27~10:15)。

(3)第三對：在圖 73、圖 74 中會發現第三對雌鳥的棲木移動和定點轉身次數較無噪音多，但在雄鳥鳴唱時雌鳥東張西望次數便會減少，代表雌鳥能聽到雄鳥鳴唱（特別是在冷氣機噪音下），雄鳥的棲木移動和定點轉身次數增加甚多，尤其是在鳴唱開始前。

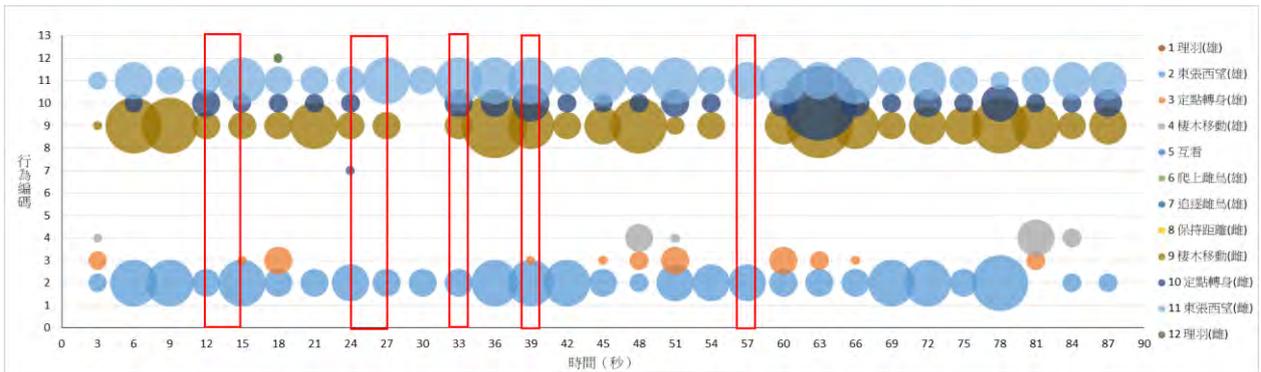


圖 73. 十字路口第三對行為時序圖 (影片 5:26~6:50)。

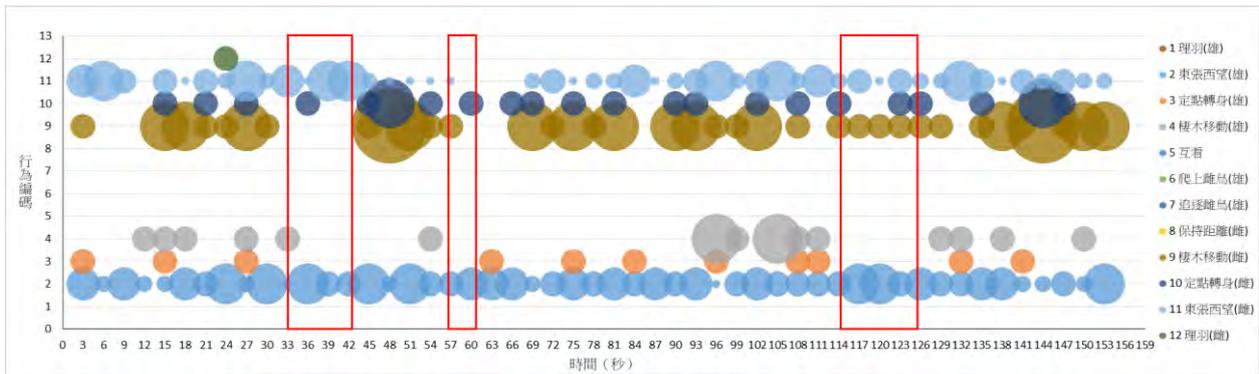


圖 74.冷氣機第三對行為時序圖（影片 29:20~32:53）。

## 陸、討論

### 一、觀察斑胸草雀在無噪音下的求偶行為

鳥類鳴唱主要有兩個功能，一是在生殖季時吸引配偶，另一是宣告領域的擁有權<sup>[12]</sup>。以宣告領域的功能來看，鳴唱句子的結構相對重要。謝寶森（2018）提及繡眼畫眉的鳴唱句分為哨音段及和音段，其中哨音段在同一隻鳥鳴唱的歌曲中，音節數及音節次序常固定不變，且音節組合（音節類別、音節數及次序）在不同區域有很大的不同，可作為區域方言的辨識依據，而和音段可作為同種的辨識<sup>[12]</sup>。本研究中雖未發現斑胸草雀的鳴唱聲中有哨音段和合音段的差別，但在音節組合上有特定模式，每個句子也有固定開頭的音節和後面變化的重複音節（組），而且隨著個體不同而有差異，但是每個開頭的固定音節是否有區域方言辨識的功能並不確定，如果真的有辨識的功能存在，而噪音的存在又會影響這些音節時，是否會進一步影響其生存和求偶，便值得深入探討。

以鳴唱的另一功能吸引配偶來看，可以觀察雌鳥的反應來確認鳴唱的效果，此外雄鳥的求偶動作也是吸引配偶的條件之一。從行為的時序分析中，我們發現雌鳥在雄鳥鳴唱過程中會減少東張西望的行為，可能代表雄鳥的鳴唱有一定的吸引力，這可以作為鳴唱是否仍保有功能的指標之一，另外我們發現在求偶鳴唱前會出現棲木移動加定點轉向的行為出現，從時間點來看，推測有可能是求偶鳴唱前的某種展示行為，雖然目前觀察到移動和轉向的過程並沒有一致性，但可以將這兩種行為的組合，當作雄鳥是否真的要開始求偶鳴唱的指標。

## 二、探討常見都市噪音對斑胸草雀求偶行為的影響

我們將各實驗的結果彙整分析，結果如表 10：

表 10.噪音對斑胸草雀求偶行為的影響分析總表

分析類別	分析項目	噪音對實驗對象造成的影響			分析結果
		第一對	第二對	第三對	
鳴唱基本分析	頻率	1.平均頻率增加 2.十字路口的最低頻率範圍會上升	1.平均頻率增加 2.十字路口的最低頻率範圍會上升 3.冷氣機的最低範圍下降	1.平均頻率增加 2.十字路口的最低頻率範圍會上升 3.冷氣機的最低範圍下降	1.噪音會造成鳴唱的平均頻率增加 2.十字路口噪音會造成鳴唱的最低頻率範圍上升
	音量	1.平均音量減少 2.音量最低範圍下降	1.平均音量減少 2.音量最低範圍下降	1.平均音量減少 2.音量最低範圍下降	1.平均音量減少 2.音量最低範圍下降
	每句平均秒數	增加	十字路口：減少	十字路口：減少	因個體而有差異，其中十字路口影響較大
	每句平均音節數	增加	十字路口：減少	十字路口：減少	因個體而有差異，其中十字路口影響較大
鳴唱句型分析	句型	均為完整句型，不受噪音影響	十字路口：不完整句比例增加。	十字路口：不完整句比例增加。	十字路口影響較大
	音節	不變	1.D <sub>2</sub> 型音節消失，改成 E <sub>2</sub> 2. 原基本句型 D <sub>2</sub> A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub> ，更改為 E <sub>2</sub> A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	1.出現新音節 E <sub>3</sub> 2.原基本句型 D <sub>3</sub> A <sub>3</sub> + B <sub>3</sub> C <sub>3</sub> A <sub>3</sub> 十字路口更改為 E <sub>3</sub> A <sub>3</sub> + C <sub>3</sub> D <sub>3</sub> A <sub>3</sub> 冷氣機更改為 E <sub>3</sub> A <sub>3</sub> + B <sub>3</sub> D <sub>3</sub> A <sub>3</sub>	十字路口改變的音節數量、位置較多

表 10.噪音對斑胸草雀求偶行為的影響分析總表（續）

分析類別	分析項目	噪音對實驗對象造成的影響			分析結果
		第一對	第二對	第三對	
行為分析	行為頻度	<p><b>雄鳥</b>各行為頻度下降，其中 <u>冷氣機</u>：下降更多</p> <p><b>雌鳥</b>多數行為頻度下降，其中 <u>十字路口</u>：定點轉身和東張西望增加</p>	<p><b>雄鳥</b>各行為頻度下降，其中 <u>十字路口</u>：定點轉身和東張西望增加 <u>冷氣機</u>：定點轉身和東張西望增加</p> <p><b>雌鳥</b>多數行為頻度下降，其中 <u>冷氣機</u>：東張西望增加</p>	<p><b>雄鳥</b>多數行為頻度上升，其中 <u>冷氣機</u>：定點轉身、棲木移動和東張西望增加</p> <p><b>雌鳥</b>多數行為頻度上升，其中 <u>十字路口</u>：定點轉身、棲木移動和東張西望增加較多</p>	<p>1.噪音造成的影響因個體而異</p> <p>2. 噪音會造成多數行為頻度下降</p> <p>3. 噪音會造成東張西望頻度上升，其次是定點轉身</p>
	時序變化	<p><b>雄鳥</b>鳴唱期間，雌鳥東張西望行為會減少</p>	<p><u>十字路口</u>：雄雌鳥在定點轉身行為上有彼此呼應。 在雄鳥鳴唱時雌鳥東張西望的次數會較少 <u>冷氣機</u>：棲木移動加定點轉身的求偶鳴唱前動作有較多，但雌鳥東張西望行為也較多</p>	<p><u>十字路口</u>：雌鳥的棲木移動和定點轉身次數較無噪音多 <u>冷氣機</u>：雌鳥的棲木移動和定點轉身次數較無噪音多 在雄鳥鳴唱時雌鳥東張西望的次數會較少 雄鳥的棲木移動和定點轉身次數增加甚多，尤其是在鳴唱開始前</p>	<p>1. 噪音造成的影響因個體而異</p> <p>2.冷氣機的噪音下，雄鳥棲木移動加定點轉身的求偶鳴唱前動作有較多</p>

根據表 7 和表 8，兩種噪音頻率與音量皆低於三對雄鳥的鳴唱頻率和音量，我們從頻率音量的變化來看，面對噪音時，鳴唱的平均頻率會提高，且提高最低頻率，鳴唱的平均音量

會下降，且拉低最低音量，代表斑胸草雀在面對環境中較低頻的噪音時會以提高頻率的方式應對，面對較低音量的噪音也會降低音量。由於人類對於較高頻的聲音較為敏感，也就是同樣的聲音強度對於人類的聽覺而言，高頻音的響度較大，因此在一定頻率範圍，提高聲音的頻率可以提高聲音的響度與傳遞效果<sup>[13]</sup>，我們推測斑胸草雀可能和人類的聽覺感受類似，會以較高頻率改變鳴唱而達到鳴唱效果，至於為何不直接提高音量，我們推測可能與發聲構造有關，提高音量可能會較耗能，不過這些假說仍需要進一步實驗驗證。

在鳴唱的句型分析中我們可以發現，十字路口的交通噪音較可能減少鳴唱句子的秒數和音節數，而且也會造成音節的改變和排列順序，我們推測可能是冷氣機室外機的聲音來源主要是壓縮機和風扇，變化不大，但交通噪音包括不同大小速度的車輛所產生的聲音，變化較大，因此比較可能會和斑胸草雀的鳴唱有重疊干擾，造成斑胸草雀必須變化自己的鳴唱結構，但這是否會影響求偶過程，仍須看行為表現。

在求偶鳴唱時的行為變化來看，噪音會影響斑胸草雀特定的行為頻度，但有個體上的差異。從句型音節改變比較大的第三對來看，相較於冷氣機噪音的影響，雌鳥在十字路口噪音下，當雄鳥鳴唱時，雌鳥東張西望的行為並沒有減少，也就是雌鳥比較不會停下來聽雄鳥鳴唱，這究竟是因為雄鳥的句子改變所致，還是噪音本身干擾了雌鳥的聽覺，還須進一步測試。此外，雄鳥的棲木移動加定點轉身行為也比較少，有可能是十字路口噪音造成的影響。

我們也觀察到，冷氣機的噪音會讓第二、三對雄鳥較能表現棲木移動加定點轉身的鳴唱起始行為，鳴唱句數和長度雖然減少，但鳴唱的不完整句比例小於十字路口，看似反而能刺激雄鳥更頻繁展現求偶鳴唱行為。推測原因除了十字路口噪音的性質比較能破壞斑胸草雀鳴唱結構之外，也可能是因為原飼養環境（樓頂開放式鳥籠）旁有鄰居的冷氣機室外機所致，因為播放冷氣機噪音反而讓他們更像是身處原飼養環境，更能頻繁進行求偶鳴唱。

## 柒、結論

- 一、斑胸草雀在無噪音的狀況下，雄鳥鳴唱前會有棲木移動加定點轉身的行為，雄鳥鳴唱過程中，雌鳥會減少東張西望行為。每隻雄鳥的鳴唱句子結構包括開頭固定的音節，以及接續重複的音節（組），音節的內容和順序會因個體而有差異。
- 二、在較低頻率和音量的噪音影響下，斑胸草雀鳴唱的平均頻率會提高，且拉高最低頻率，鳴唱的平均音量會下降，且拉低最低音量。
- 三、噪音也會造成鳴唱句子的平均秒數、平均音節數、音節類型、音節組合改變，不完整句數增加，尤其是交通噪音影響較大。
- 四、在噪音影響下，鳴唱過程中雄鳥和雌鳥的行為頻度和順序也會改變。

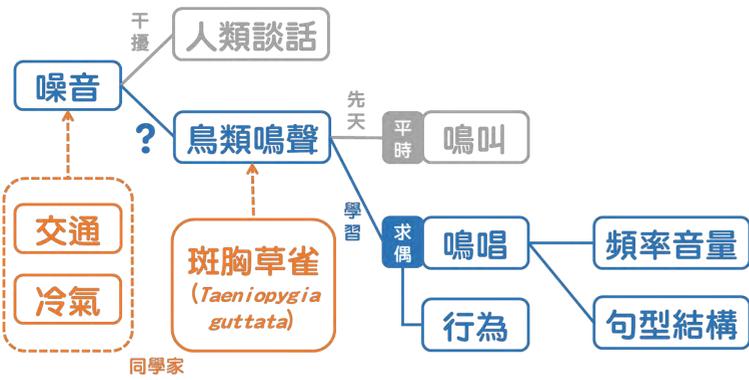
## 捌、參考資料及其他

- [1]李明芳 等（2018）。*國民中學自然與生活科技第三冊*。臺南市：翰林。
- [2]朱芳琳 等（2017）。*國民中學自然與生活科技第一冊*。臺南市：翰林。
- [3]沈信華、晏安厚、張默（2005）。斑胸草雀繁殖行為的研究，*野生動物雜誌*，26(6)，7-8。
- [4]龐加賓、劉錦毅、吳岷。(2008)。斑胸草雀的鳴聲學習。*生物學通報*，43，4-6。
- [5]劉嘉俊、盧博堅（2019）。*噪音控制與防制*。台北市：滄海。
- [6]尚華、張雁雲（2009）。鳥類鳴聲研究，*生物學通報*，44，11-13。
- [7]季婷、張雁雲（2011）。環境噪音對鳥類鳴聲的影響及鳥類的適應對策。*生態學雜誌*，30(4)，831-836。
- [8]李東風、耿慧（2005）。聲譜分析軟體 Wavesurfer 在鳥類鳴聲分析中的應用。*遼寧師範大學學報 (自然科學版)*，28(4)，454-456。
- [9]黃亞靈、楊青、蔣純、夏燦璋（2012）。北紅尾鴝鳴唱句子內結構分化及利用其鳴唱識別個體，*動物學研究*，33(3)，249-254。
- [10]尚華、周智鑫、王甯、張雁雲（2008）。黃腹山雀的鳴唱特徵分析。*動物學研究*，29(3)，277-284。
- [11]張振群、穀德海、王姣姣、侯建華（2016）。籠養黑鸛求偶行為譜及其 PAE 編碼。*河北大學學報*，36，300-306。
- [12]謝寶森（2018）。看懂鳥類的方言。*科學發展*，551，42-44。
- [13]韓軼才、薑仕仁、丁平（2004）。環境雜訊對臨安和阜陽兩地白頭鴨鳴聲頻率的影響。*動物學研究*，25(2)，122-126。

## 【評語】 030306

此研究實驗性精神充足，假說可接受，在生物材料部份，則應說明使用的數量，每組試驗的重複數目，以了解此研究設計的方式與可信度。實驗結果發現在噪音影響下，斑胸草雀的鳴唱與求偶行為會有改變，研究方法有系統地運用科學儀器與軟體量化與分析斑胸草雀的鳴唱和求偶行為，實驗設計能妥善運用上課所學，學以致用並詳加觀察和試驗。鳥類的求偶行為變因眾多而複雜，較難控制，可能需要釐清四季時節、早午晚時間、飽食飢餓、熟識生疏等影響。不過因為樣本數只有三對斑胸草雀，建議仍須進行長時間的觀察，且資料仍需進行統整並建議進行統計運算。而要定義求偶鳴唱的模式，是否應與其他狀態模式做比較(單獨一公或單獨一母/兩公/兩母)，的觀賞鳥做為研究題材，前測部分宜確認對於聲音的適應性。

# 壹、研究動機



# 貳、研究目的

本研究以斑胸草雀為研究對象，探討噪音是否會影響鳥類求偶鳴唱和行為，針對上述研究問題，本研究的目的包括：

- 一、觀察斑胸草雀在無噪音下的求偶行為。
- 二、探討常見都市噪音對斑胸草雀求偶行為的影響。

# 參、研究設備及器材

## 一 實驗生物及飼養方法

斑胸草雀為梅花雀科草雀屬鳥類。頭部及背部呈灰色（另外有白色及駝色變種），嘴基的兩側及兩眼下，均有黑色的羽紋，眼先為白色，嘴多為深紅色，尾羽較短，多為黑色，常被長的尾上覆羽所遮蓋，尾羽並有較規則的白色橫紋，故又稱斑馬雀。



本研究實驗對象來源為寵物店購得並飼養於家中鳥籠的雌雄個體。平時飼養環境是住宅頂樓室外鴿舍改造的開放式鳥籠（圖11、圖12），採自然日照週期，氣溫變化亦同，冬天夜晚或寒流等較冷的時期會另外以保溫燈照射使其保暖。每天餵食脫殼小米及飲用水，每三天餵食帶殼小米及加那利子，每週一次以水盤盛裝自來水供其清洗。

進行實驗前一週將實驗個體移至實驗房間內，將其飼養於與實驗用紙箱類似的預備紙箱（有人活動時箱內音量約49dB）中繼續飼養，使其適應環境一週，再進行實驗。



## 研究初期

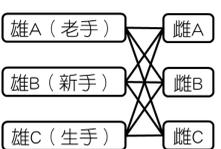


表 2. 初步測試各組雌雄鳴唱時間總計（秒）

	雌 A	雌 B	雌 C
雄 A	86	0	70
雄 B	0	0	0
雄 C	0	0	0



## 正式研究

## 二 實驗及紀錄器材軟體

- (一) 實驗裝置：以紙箱自製觀察箱（圖13、14），並根據測試結果，加大箱內活動空間，提供食物、水、巢箱、棲木，模擬原生活空間，並改良播音、收音、錄影方式，做出第二代實驗裝置（圖15）。
- (二) 紀錄器材：錄音筆（SONY ICD-UX560F）、手機（zenfone 4 selfie pro）、指向型麥克風、分貝計APP（聲級計）、網路攝影機（羅技C525）。
- (三) 噪音播放器材：藍芽喇叭。
- (四) 聲音分析軟體：Audacity v2.3.1、Wavesurfer。

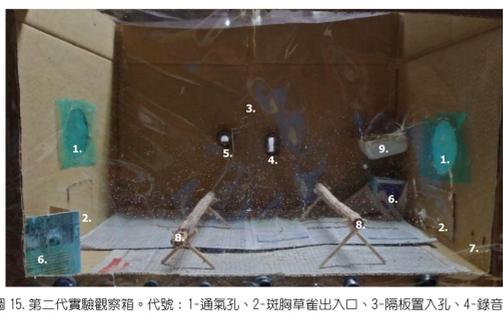


圖 15. 第二代實驗觀察箱。代號：1-通氣孔、2-斑胸草雀出入口、3-隔板置入口、4-錄音筆置入口、5-指向型麥克風置入口、6-藍芽喇叭隱藏區、7-飼料吊掛口、8-棲木、9-鳥巢。

# 肆、研究過程與方法

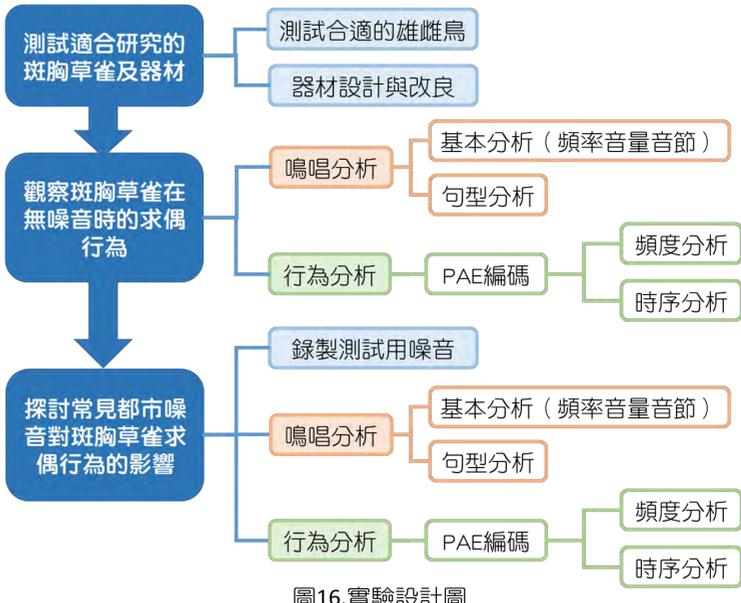
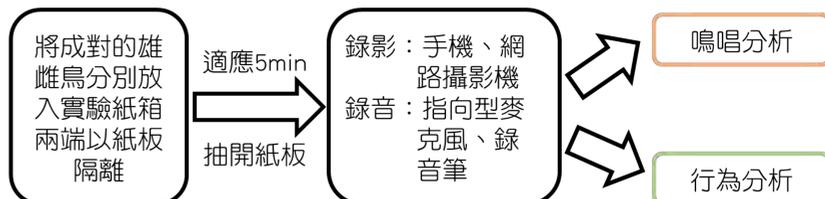


圖16. 實驗設計圖

## 一 觀察斑胸草雀在無噪音下的求偶行為



### (一) 鳴唱分析



根據肖華(2008)提到的定義，將聲譜圖內的圖形分為音素、音節、句子，其定義如下：

- 音素(note/element)：在聲譜圖上表現為一連續曲線結構，是最小的聲音單位。
- 音節(syllable/element-group)：固定組合在一起的音素，並在一個句子中重複出現。
- 句子(song/verse)：為鳴唱系列中包含音素或音節的連續段落，句子與句子之間通常由空白的暫停所分隔（>2秒），通常直接被稱為鳴唱。

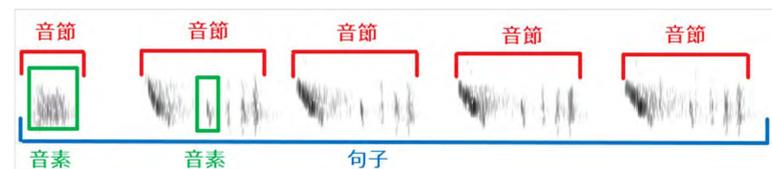


圖17. 鳴唱分析示例

### (二) 行為分析



表 6. 斑胸草雀行為編碼。行為是姿勢和動作的結合，並在特定的環境中發生，具有時序性

行為編號	行為名稱	行為者	姿勢代碼	動作代碼	環境代碼
1	理羽	雄、雌	P1、P2、P3	A2、A3、A4、A5、A6、A7、A8、A9、A10、A11、A16、A18	E1、E2、E3
2	定點轉身	雄、雌	P1、P2	A6、A7、A13、A14、A15	E1、E2、E3
3	棲木移動	雄、雌	P1、P2	A1、A2、A4、A12、A19	E1、E2、E3
4	東張西望	雄、雌	P1、P2、P3	A1、A2、A3、A4、A5、A8、A12、A15	E1、E2、E3
5	互看	雄、雌	P1	A3、A4	E1、E2、E3
6	爬上雌鳥	雄	P1、P2	A12	E1、E3
7	追逐雌鳥	雄	P1、P2	A10、A12	E1、E3
8	保持距離	雌	P1、P2	A12	E1、E2、E3



## 二 探討常見都市噪音對斑胸草雀求偶行為的影響

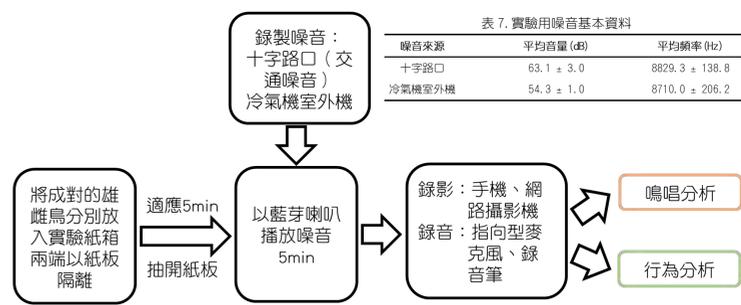


表 7. 實驗用噪音基本資料

噪音來源	平均音量 (dB)	平均頻率 (Hz)
十字路口 (交通噪音)	63.1 ± 3.0	8829.3 ± 138.8
冷氣機室外機	54.3 ± 1.0	8710.0 ± 206.2



# 伍、研究結果

## 一 觀察斑胸草雀在無噪音下的求偶行為

### (一) 鳴唱分析

#### 1. 基本分析

表 8. 無噪音下三對雄鳥鳴唱基本資料

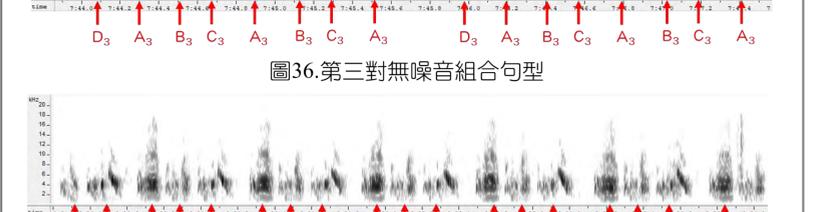
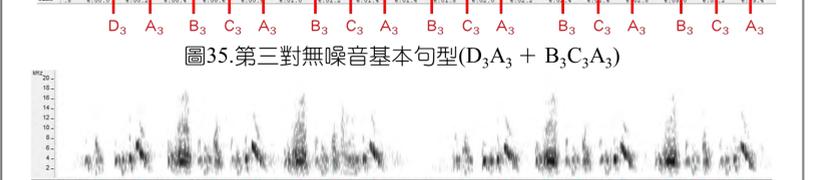
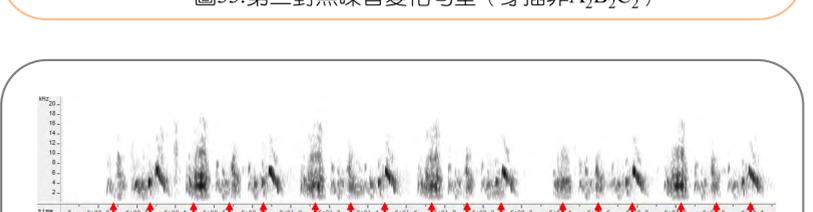
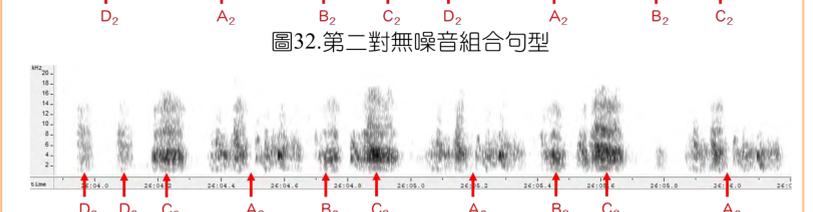
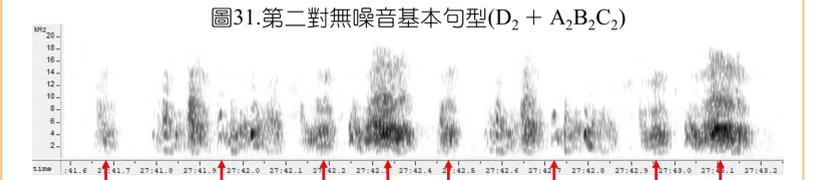
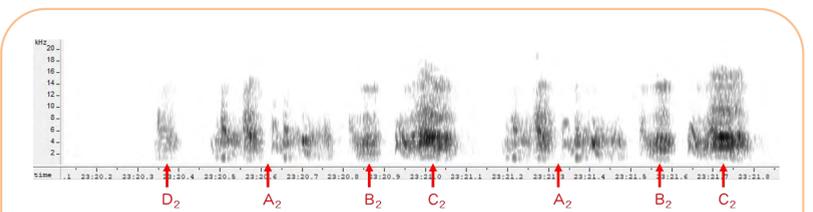
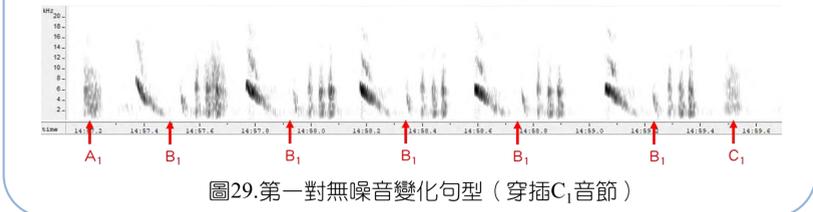
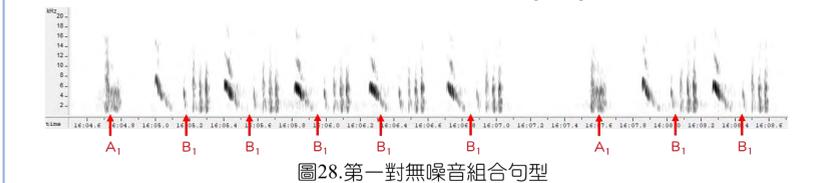
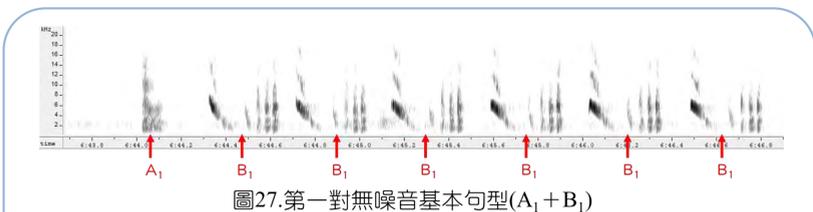
	時數 (秒)	句子數	每句平均秒數 (秒)	每句平均音節數 (個)
第一對	22	11	2.0	5.2
第二對	75	35	2.1	10.1
第三對	61	25	2.4	12.0

表 9. 無噪音下三對雄鳥鳴唱頻率與音量

	最低頻率平均 (Hz)	最高頻率平均 (Hz)	最低音量平均 (dB)	最高音量平均 (dB)	平均頻率 (Hz)	平均音量 (dB)
第一對	599.6±129.9	17744.4±371	41.9±5.5	81.6±3.6	9172.0±214.3	61.4±2.6
第二對	638.2±156	18103.5±611	40.8±4	80.2±5	9370.8±277.5	60.5±2.6
第三對	580.7±171	17614.5±239	36.2±2	82.2±5	9097.6±140	59.2±3

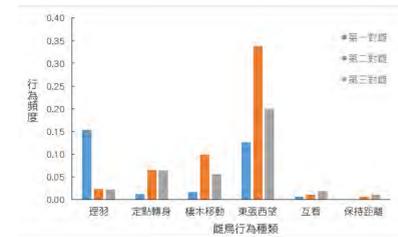
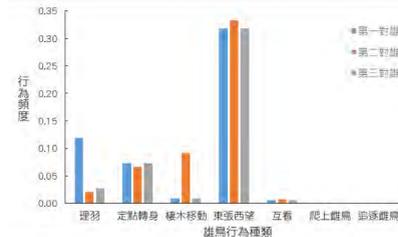
#### 2. 句型分析：雄鳥鳴唱句型可分為下列四種，其中第1、2、3種皆為完整句，第4種為不完整句。

- ①基本句型：句子開頭的特定音節+固定音節(組)
- ②組合句型：由數個基本句型組成一句。
- ③變化句型：基本句型或組合句型中穿插某些音節(組)。
- ④不完整句型：句子開頭非特定音節；句子開頭後非固定音節或音節組。

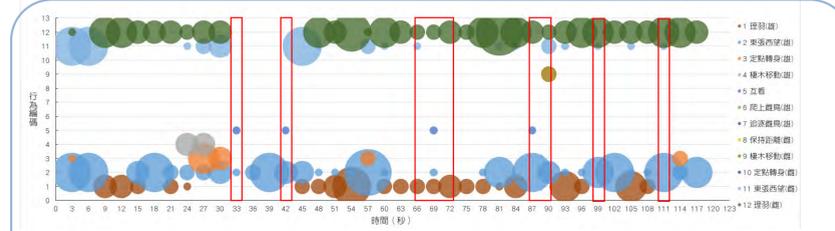


### (二) 行為分析

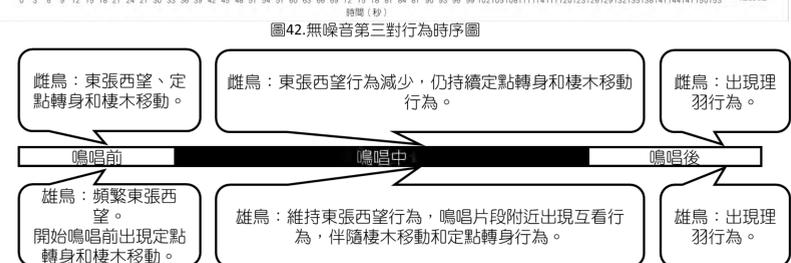
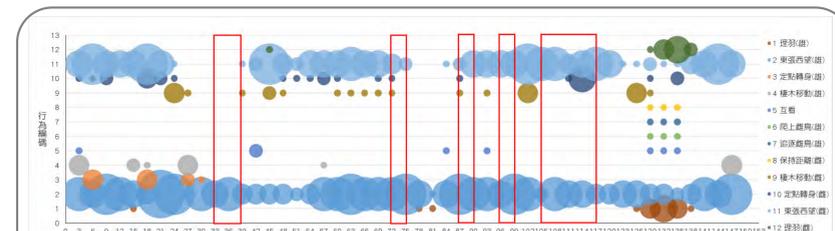
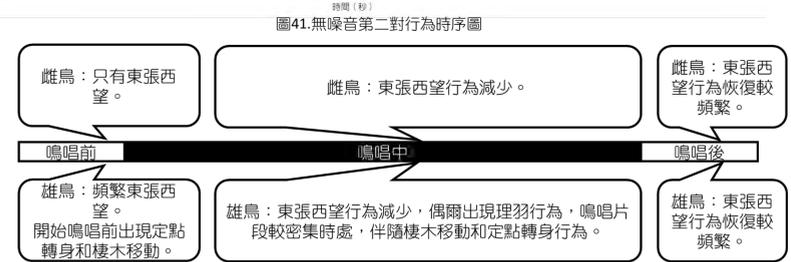
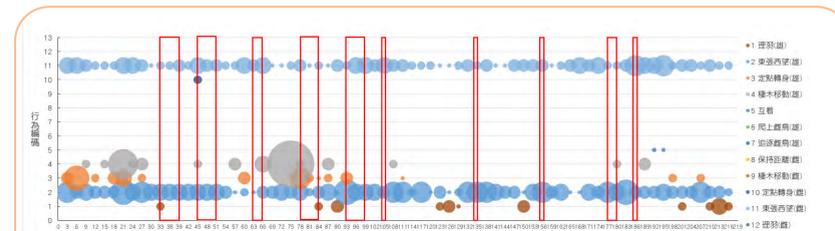
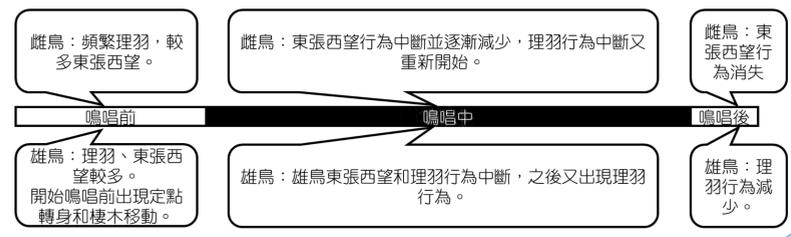
1. 頻度分析：可以看出每對雄雌鳥偏好的行為不同，如第一對雄雌鳥皆較偏好理羽行為，第二對雄雌鳥則偏好棲木移動。



#### 2. 時序分析



縱軸為各行為編碼代號，每個時間點上出現的各色圓形，代表當時有出現該編碼的行為，行為的次數愈多，圓形直徑就愈大。紅色框的範圍代表有出現鳴唱。以下行為時序圖皆同。



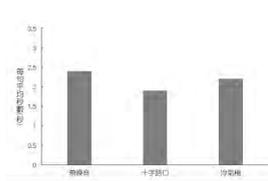
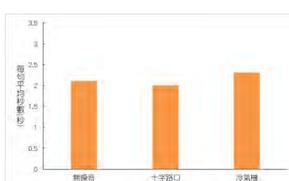
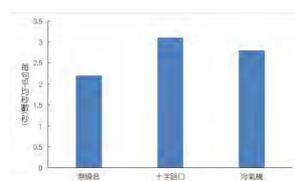
小結：雄鳥在鳴唱前會出現棲木移動後再定點轉身的行為，類似求偶鳴唱前的動作。雄鳥在鳴唱時，雌鳥常停止東張西望行為，應是在聆聽雄鳥鳴唱。

## 二 探討常見都市噪音對斑胸草雀求偶行為的影響

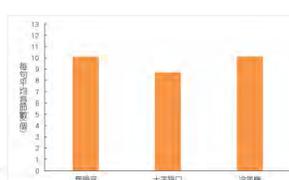
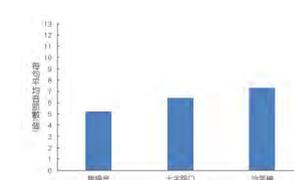
### (一) 鳴唱分析

#### 1. 基本分析

(1) 每句平均秒數：有個體差異，其中十字路口影響較大



(2) 每句平均音節數：有個體差異，其中十字路口影響較大



### (3) 頻率：

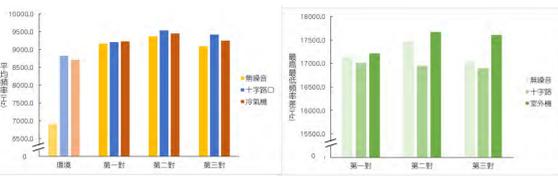


圖75.各環境平均頻率和三對雄鳥在不同環境的鳴唱平均頻率。【new】

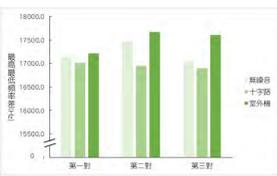


圖77.三對雄鳥在不同環境的最高最低鳴唱頻率差。【new】

環境頻率：噪音環境

> 無噪音環境

鳴唱頻率：噪音鳴唱

> 無噪音鳴唱

鳴唱頻率範圍：十字路口鳴唱 < 無噪音鳴唱，冷氣機鳴唱 > 無噪音鳴唱

### (4) 音量：

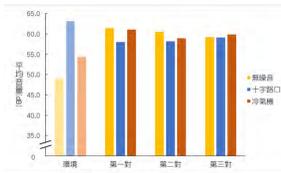


圖76.各環境平均音量和三對雄鳥在不同環境的鳴唱平均音量。【new】

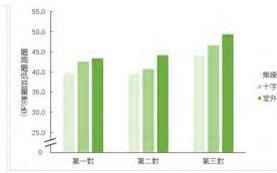


圖78.三對雄鳥在不同環境的最高最低鳴唱音量差。【new】

環境音量：噪音環境

> 無噪音環境。

鳴唱音量：噪音鳴唱 < 無噪音鳴唱（第三對冷氣機 > 無噪音）

鳴唱音量範圍：噪音鳴唱 > 無噪音鳴唱

## 2. 句型分析：在十字路口噪音下，第二、三對的不完整句比例增加較多，鳴唱句子開頭的音節改變。

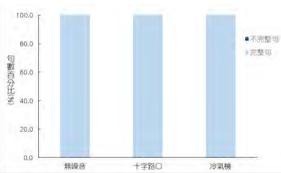


圖55.第一對雄鳥鳴唱句型比較。

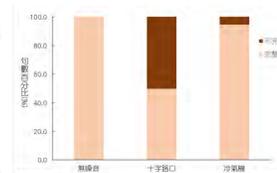


圖56.第二對雄鳥鳴唱句型比較。

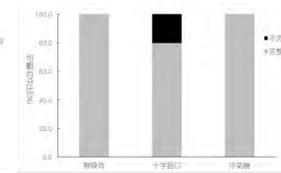


圖59.第三對雄鳥鳴唱句型比較。

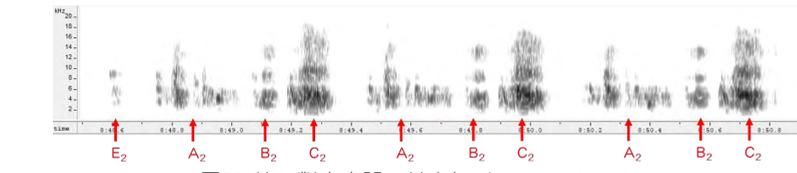


圖58.第二對十字路口基本句型(E<sub>2</sub> + A<sub>2</sub> B<sub>2</sub> C<sub>2</sub>)

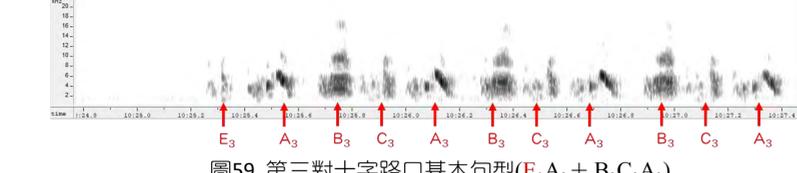


圖59.第三對十字路口基本句型(E<sub>3</sub> A<sub>3</sub> + B<sub>3</sub> C<sub>3</sub> A<sub>3</sub>)

## (二) 行為分析

### 1. 頻度分析：噪音對不同個體的行為頻度影響程度不同。第一、二對的習慣行為頻度會下降。

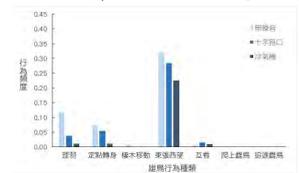


圖63.第一對雄鳥的行為頻度變化

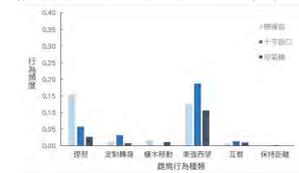


圖64.第一對雌鳥的行為頻度變化

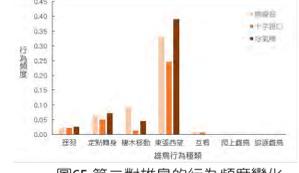


圖65.第二對雄鳥的行為頻度變化

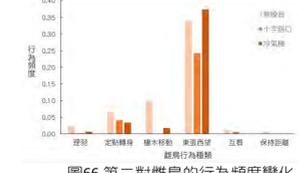


圖66.第二對雌鳥的行為頻度變化

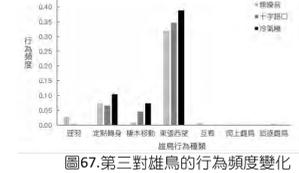


圖67.第三對雄鳥的行為頻度變化

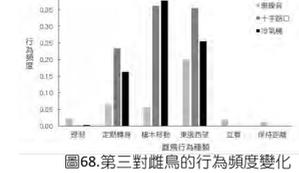


圖68.第三對雌鳥的行為頻度變化

### 2. 時序分析：

雌鳥減少東張西望：第一對較明顯，第二對有減少但不明顯，第三對定點轉身和棲木移動類似東張西望意義。  
雄鳥棲木移動加定點轉身：冷氣機下的第二、三對在鳴唱中較明顯。

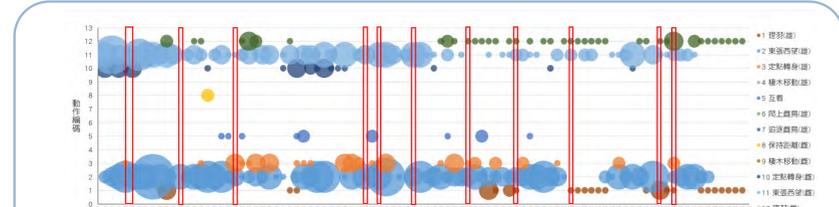


圖69.十字路口第一對行為時序圖

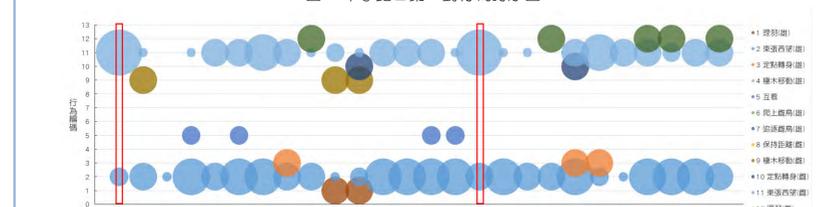


圖70.冷氣機第一對行為時序圖

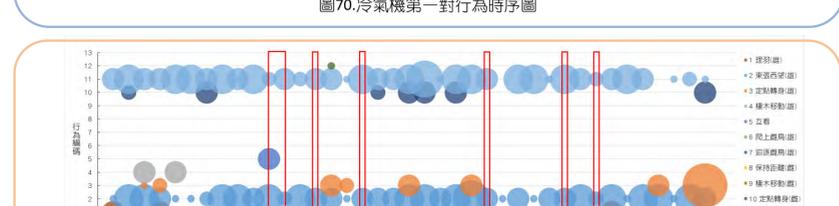


圖71.十字路口第二對行為時序圖

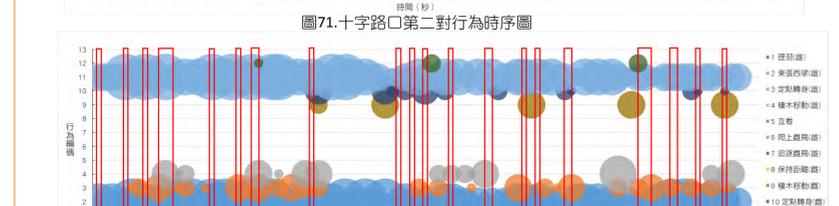


圖72.冷氣機第二對行為時序圖

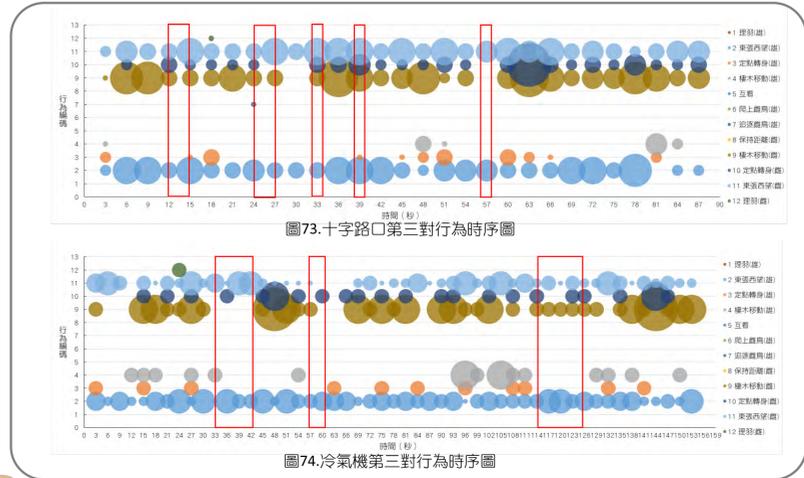


圖73.十字路口第三對行為時序圖



圖74.冷氣機第三對行為時序圖

## 陸、討論

### 一 觀察斑胸草雀在無噪音下的求偶行為

謝寶森(2018)提及繡眼畫眉的鳴唱句分為哨音段及和音段，本研究中雖未發現斑胸草雀的鳴唱聲中有哨音段及和音段的差別，但在音節組合上有特定模式，每個句子也有特定開頭的音節和後面變化的重複音節（組），而且隨著個體不同而有差異，但是每個開頭的固定音節是否有區域方言辨識的功能並不確定，若真的有辨識功能，而噪音的存在又會影響這些音節時，是否會進一步影響其生存和求偶，便值得深入探討。

### 二 探討常見都市噪音對斑胸草雀求偶行為的影響

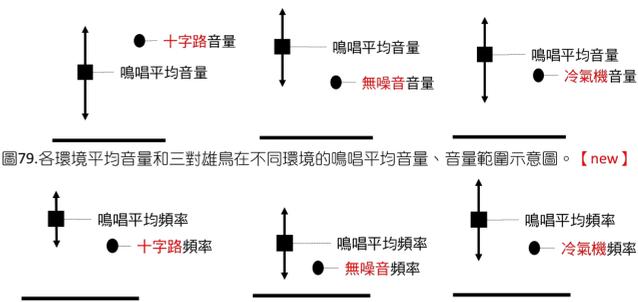


圖79.各環境平均音量和三對雄鳥在不同環境的鳴唱平均音量、音量範圍示意圖。【new】

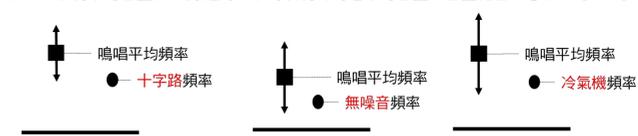


圖80.各環境平均頻率和三對雄鳥在不同環境的鳴唱平均頻率、頻率範圍示意圖。【new】

斑胸草雀面對噪音時，鳴唱的平均頻率會提高。由於人類對於較高頻的聲音較為敏感，因此在一定頻率範圍，提高聲音的頻率可以提高聲音的響度（韓軼才等，2004），我們推測斑胸草雀可能和人類的聽覺感受類似，會以較高頻率改變鳴唱而達到鳴唱效果。此外，有噪音時鳴唱的平均音量下降，但是為什麼十字路口的鳴唱音量反而低於環境音量？雌鳥聽得到嗎？

由雌鳥的行為表現來看，我們認為在十字路口噪音下，雌鳥應該可以聽到雄鳥的鳴唱。從頻率來看，雄鳥鳴唱會高於環境頻率，我們認為提高鳴唱頻率的同時縮小頻率範圍，是因為十字路口環境噪音頻率變化大，無法避開特定頻率，所以縮小頻率範圍，以維持鳴唱頻率為主，而冷氣機的環境噪音頻率比較固定，鳴唱時會拉大頻率範圍，以避開特定頻率干擾。

由每句平均秒數和平均音節數來看，第一對和第二對冷氣機在噪音下每句可以唱得更長，但第二對十字路口和第三對十字路口、冷氣機每句唱得更短，另外在句型部份，第二三對十字路口的不完整句比例較高。綜合上述，我們認為雖然雄鳥會透過改變頻率來因應不同環境噪音，但是噪音確實會影響鳴唱的音節類型、句子長度和結構。

冷氣機噪音下，第二、三對雄鳥在鳴唱中更頻繁表現鳴唱前特定行為，推測播放冷氣機噪音反而讓他們更像是身處原飼養環境，但行為的時間點差異加上音節改變、句子變短、出現不完整句，我們認為冷氣機噪音仍會干擾求偶。

## 柒、結論

- 一、斑胸草雀在無噪音的狀況下，鳴唱的句子結構包括開頭特定的音節，以及接續重複的音節（組），音節的類型和順序會因個體而有差異。雄鳥鳴唱前會有棲木移動加定點轉身的行為；鳴唱中雌鳥會減少東張西望行為。
- 二、常見的都市噪音會造成鳴唱的平均音量下降、平均頻率提高，不同噪音下的鳴唱頻率範圍會有所不同。噪音會造成鳴唱句子的開頭音節類型改變、不完整句數增加，其中十字路口噪音影響較大。
- 三、常見的都市噪音會造成鳴唱過程中雄雌鳥的習慣行為頻度下降，以及行為表現的時序改變。

## 捌、參考資料

肖華、周智鑫、王甯、張雁雲（2008）。黃腹山雀的鳴唱特徵分析。*動物學研究*, 29(3), 277-284。  
張振群、穀德海、王姣姣、侯建華（2016）。籠養黑鵲求偶行為譜及其PAE編碼。*河北大學學報*, 36, 300-306。  
謝寶森（2018）。看懂鳥類的方言。*科學發展*, 551, 42-44。  
韓軼才、薑仕仁、丁平（2004）。環境雜訊對臨安和阜陽兩地白頭鵯鳴聲頻率的影響。*動物學研究*, 25(2), 122-126。