

國立臺灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系



碩士論文

School of Forestry & Resource Conservation

College of Bio-Resources & Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

蟬聲對鳥類鳴唱行為的干擾

Cicada Sound Impacts Avian Vocal Behavior

陳奕全

Yi-Chuan Chen

指導教授：丁宗蘇 博士

Advisor: Tzung-Su Ding, Ph.D.

中華民國 106 年 6 月

June 2017

謝辭



首先，感謝從大學就一路指導我的丁宗蘇老師。謝謝老師在研究期間總是不厭其煩地與我一次又一次的討論，每一次的討論都讓我的研究方向、實驗設計到論文撰寫都更加地成熟。謝謝老師讓我走出成為一個研究者的第一步。

感謝研究期間陽明山國家公園管理處提供研究生研究計畫的機會，同意我在國家公園內進行錄音，並在計畫期間提供野外錄音上的建議以及研究經費的支持。感謝農委會林業試驗所的陸聲山老師提供錄音器材的支援，以及特有生物研究保育中心的姚正德老師提供室內實驗的場地以及研究材料。

在研究初期，感謝吳采諭學姊提供各種研究地點上的建議，讓我能夠盡快決定我的研究樣區。感謝柯智仁學長協助稀有鳥音的辨識，讓錄音期間辨識出的鳥類名錄更加完整。感謝王豫煌學長以及林子皓學長提供了我許多聲音資訊處理上的建議，讓我在資料量化上不至於卡關太久。感謝王弼篆學長在我忙於室內實驗時提供另一個研究計畫的人力支援，讓我能安心進行實驗。感謝研究室的林大利學長、黃正宇學長、廖俊傑學長、林穆明學姊、陳彥佑學長、李先祐學弟、尤光平學弟、呂立中學弟、馮孟婕學妹在這兩年提供大大小小的建議，一起讓這篇論文更加完整。

感謝我的父母、姊姊以及書瑜在這兩年來的陪伴、鼓勵以及各種實質上的幫助，讓我能夠心無旁騖地進行實驗、論文撰寫乃至於順利完成口試。最後，感謝蟲鳴鳥叫從不間斷的臺灣山林，願這一份自然的樂章能永不止息。

摘要

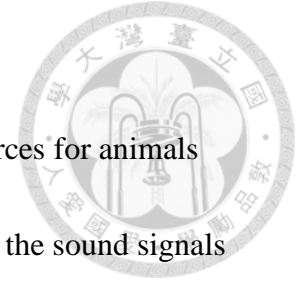


傳輸聲音的時間、空間與音頻範圍，對於用聲音訊號進行溝通的動物而言是一種有限資源。而隨著環境中聲音的增加，聲音訊號互相干擾，造成動物間的聲音競爭。為了減少聲音競爭，共域的發聲動物間常有使用音頻範圍或者發聲時間上的分化。在臺灣的低海拔森林，常可發現鳥類的聲音受到蟬聲嚴重的壓抑。為確認蟬聲是否干擾鳥類的鳴唱行為，以及探討蟬與鳥在聲音競爭上的重要因子，本研究在陽明山國家公園二子坪地區以自動排程錄音機進行錄音，記錄當地鳥類與蟬的叫聲；並透過室內操作實驗，對野生的白頭翁(*Pycnonotus sinensis*)播放不同處理的蟬聲，探討蟬種、蟬聲頻率及音量對鳥類鳴唱行為的影響。野外錄音結果顯示，蟬的聲音確實會干擾鳥類的鳴唱行為；聲音頻率與陽明山暮蟬(*Tanna sozanensis*)愈接近的鳥種，愈容易受到暮蟬的干擾，而不容易與其同時鳴唱。室內實驗顯示，白頭翁在播放陽明山暮蟬叫聲時每分鐘鳴唱次數大幅降低。當暮蟬叫聲的頻率愈接近白頭翁的叫聲，干擾的效果愈明顯。此外，當蟬聲聲音強度高過白頭翁時，白頭翁會減少每分鐘鳴唱次數。本研究證實蟬聲可以會對鳥類的鳴唱行為產生嚴重的干擾，而且頻率重疊程度及音量大小是重要關鍵。如果蟬的叫聲頻率範圍寬廣、音量又大，會使鳥類避免與蟬同時鳴唱，以降低聲音競爭。如果蟬與鳥類的叫聲頻率重疊程度不高，則可能不會造成很大的影響。未來在探討台灣低海拔鳥類的鳴唱行為時，應要考慮蟬與鳥類之間聲音競爭所造成的可能影響。

關鍵字：聲音棲位、種間競爭、鳥類鳴唱、溝通效率、陽明山暮蟬



ABSTRACT



The time, space and frequency range of sounds are limited resources for animals communicating by sounds. With increasing sounds in environment, the sound signals interfere with each other, resulting in acoustic competition among animals. To reduce acoustic competition, sympatric animals often differentiate their acoustic frequency range or time to produce sound. In lower elevation forests of Taiwan, it is often found that avian sounds are severely suppressed by sounds of cicadas. In order to determine whether cicadas interfere with avian vocal behavior and examine important factors in the sound competition between cicadas and birds, I used automated acoustic recorders to monitor the sounds of the local birds and cicadas in Erziping area of Yangmingshan National Park. Also, I conducted indoor playback experiments on wild Light-vented Bulbuls (*Pycnonotus sinensis*) to examine the effects of cicada species, cicada sound frequency and intensity on their vocal behavior. Field recordings in Erziping showed that cicada sounds interfered with avian vocal behavior. Bird species with higher overlap of sound frequency with the cicada *Tanna sozanensis* were more likely disturbed by the cicadas and avoided producing sound with the cicadas simultaneously. Indoor playback experiments showed that Light-vented Bulbuls significantly reduced calling when sounds of *Tanna sozanensis* were played. This avoidance tendency was more significant with higher intensity of cicada sounds or

higher overlap with sound frequency of Light-vented Bulbuls. This study confirms that cicadas seriously disturb avian vocal behavior and frequency overlap and sound intensity are key factors. Broad frequency and high intensity of cicada sounds would force birds to avoid calling simultaneously with cicadas in order to reducing acoustic competition. However, this impact of cicada sounds on avian vocal behavior might be limited if their sound frequencies was less overlapped. Acoustic competition between cicadas and birds should be taken into consideration for future studies of avian vocal behavior in lower elevations of Taiwan.

Keywords: acoustic niche, interspecies competition, bird singing activity, communication efficiency, *Tanna sozanensis*

目錄



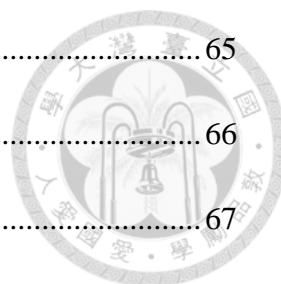
謝誌.....	I
摘要.....	II
ABSTRACT.....	IV
前言.....	1
材料與方法	8
一、野外錄音實驗	8
二、室內播音實驗.....	16
結果.....	21
一、野外錄音實驗.....	21
二、室內播音實驗.....	23
討論.....	26
一、蟬對鳥類鳴唱行為的影響	26
二、鳥類與蟬叫聲頻率重疊程度的影響	27
三、蟬的音量大小對鳥類鳴唱行為的影響	29
四、一日中早晨時刻與環境因子對鳥類鳴唱行為的影響	30
五、季節對鳥類鳴唱行為的影響	31
六、應用與延伸	32
參考文獻.....	34

圖次



圖一 SM2 錄音機在錄音樣點的狀況。	43
圖二 竹雞聲音特徵	44
圖三 樹鵲聲音特徵	45
圖四 山紅頭聲音特徵	46
圖五 小彎嘴畫眉聲音特徵	47
圖六 五色鳥聲音特徵	48
圖七 紅嘴黑鶉聲音特徵	49
圖八 繡眼畫眉聲音特徵	50
圖九 陽明山暮蟬聲音特徵	51
圖十 陽明山暮蟬在各取樣日期的平均鳴唱頻度	52
圖十一 陽明山暮蟬在日出前後的平均鳴唱頻度	53
圖十二 臺灣騷蟬聲音特徵	54
圖十三 小蟋蟀聲音特徵	55
圖十四 臺灣熊蟬聲音特徵	56
圖十五 頻率響應圖	57
圖十六 白頭翁聲音特徵	60
圖十七 白頭翁的兩間實驗房	61
圖十八 播音實驗流程	62
圖十九 青面姬春蟬聲音特徵	63
圖二十 鞍部氣象站在錄音期間每日早晨的各小時平均溫度	64

圖二十一 鞍部氣象站在錄音期間日出前後的平均溫度變化.....	65
圖二十二 鞍部氣象站在錄音期間每日早晨累計雨量.....	66
圖二十三 鞍部氣象站在錄音期間日出前後的時雨量.....	67
圖二十四 各鳥種與陽明山暮蟬在聲音上頻率重疊度與鳴叫時間重疊度關係....	68
圖二十五 不同蟬種的播音操作下白頭翁每分鐘鳴叫次數.....	69
圖二十六 陽明山暮蟬不同頻率播音操作下白頭翁每分鐘鳴叫次數.....	70
圖二十七 陽明山暮蟬不同頻率播音操作下 19 隻白頭翁鳴叫個體數.....	71
圖二十八 陽明山暮蟬不同聲音強度播音操作下白頭翁每分鐘鳴叫次數.....	72
圖二十九 陽明山暮蟬不同聲音強度播音操作下白頭翁鳴叫個體數.....	73



表次



表一 研究期間紀錄物種名錄.....	74
表二 室內實驗操作組別.....	75
表三 廣義線性歸規模式結果彙整.....	76
表四 臺灣竹雞與環境變因及其他生物鳴唱頻度之相關性.....	77
表五 樹鵲與環境變因及其他生物鳴唱頻度之相關性.....	78
表六 山紅頭與環境變因及其他生物鳴唱頻度之相關性.....	79
表七 小彎嘴畫眉與環境變因及其他生物鳴唱頻度之相關性.....	80
表八 五色鳥與環境變因及其他生物鳴唱頻度之相關性.....	81
表九 紅嘴黑鶉與環境變因及其他生物鳴唱頻度之相關性.....	82
表十 繡眼畫眉與環境變因及其他生物鳴唱頻度之相關性.....	83
表十一 播放陽明山暮蟬叫聲對白頭翁不同播音時期的鳴叫次數影響.....	84
表十二 播放臺灣熊蟬叫聲對白頭翁不同播音時期的鳴叫次數影響.....	85
表十三 播放青面姬春蟬叫聲對白頭翁不同播音時期的鳴叫次數影響.....	86
表十四 播放臺灣騷蟬叫聲對白頭翁不同播音時期的鳴叫次數影響.....	87
表十五 白頭翁在四種蟬種播音操作中期的鳴叫次數差異.....	88
表十六 播放低頻率陽明山暮蟬鳴聲對白頭翁不同播音時期的鳴叫次數影響....	89
表十七 播放高頻率陽明山暮蟬鳴聲對白頭翁不同播音時期的鳴叫次數影響....	90
表十八 白頭翁在三種陽明山暮蟬叫聲頻率播音操作中期的鳴叫次數差異.....	91
表十九 播放 80 分貝陽明山暮蟬鳴聲對白頭翁不同播音時期的鳴叫次數影響..	92
表二十 播放 90 分貝陽明山暮蟬鳴聲對白頭翁不同播音時期的鳴叫次數影響..	93

表二十一 白頭翁在三種陽明山暮蟬叫聲音量播音操作中期的鳴叫次數差異....94



前言



生物間的溝通指的是透過不同訊號形式的傳遞，來達到改變訊號接收者行為的目的。訊號可以是嗅覺上的氣味、視覺上的顏色、觸覺上的接觸或是聽覺上的聲音。在像森林這樣結構複雜的空間下，視覺訊號能傳遞的效率有限，也因此靠聽覺達成的聲音訊號就顯得相當重要。在森林中主要使用聲音訊號溝通的動物有昆蟲、青蛙、哺乳類以及鳥類。但聲音訊號可能會受到自身條件、環境因子、種間互動等因素所影響。當生物發聲時，必須要考量周圍環境的狀況，才能夠增進發出訊息者及訊息接收者之間的溝通效率。此一概念最早由 Morton (1975) 提出，Morton 認為，一個物種最常使用的聲音頻率，是物種和環境互動過後的結果，這個聲音頻率在該環境傳遞的效率會是最佳的。也因此不同的環境會有其最適合傳播的頻率範圍，在其中生存的物種會盡可能地使用這個範圍的聲音。例如，Morton (1975) 用播音實驗證實，較低頻的聲音較能夠穿越濃密的樹林，而連續急促的短音也較單聲的長音更易穿越。

多數日行性鳥類，在日出時分有較頻繁的鳴唱行為以增進聲音訊號的傳遞。Henwood 與 Fabrick (1979) 最早對此一現象提出解釋，認為此時的聲音有最長的傳播距離。Brenowitz (1982) 則進一步分析日間時間的大氣環境變化，發現因日出時的空氣尚未受到太陽加熱，整體的空氣擾動 (air turbulence) 最低，同時在此時環境的背景噪音也最低，在這個時段的聲音確實能夠傳播的較廣。Brown 與 Handford (2003) 在日出時以及日出後六小時播放沼澤帶鷓 (*Melospiza georgiana*)

及白喉帶鸚(*Zonotrichia albicollis*)的叫聲，並在不同距離進行再錄音，發現在日出期間的聲音在傳播後較能夠維持原本的聲音結構。



除了環境中的物理特徵，生物也會依外在環境的聲音特徵產生自身聲音形質的變化，以增加聲音訊號傳遞的效率。Boeckle 等(2009)發現生活在湍急溪流的婆羅洲岩蛙(*Staurois latopalermatus*) 相較於同體型的 74 種青蛙叫聲頻率皆顯著較高。這樣的結果顯示出婆羅洲岩蛙可能發生過聲音上的適應性演化，使用頻率較高的鳴叫聲以適應充滿低頻率流水聲的溪流環境，甚至會避開較為安靜的溪流。除了自然環境外，人為環境的地景特徵及人為噪音也會對生物的聲音產生影響，使生物的的聲音產生短期的變化。噪音在生物學上被認為是不具有溝通功能，並可能造成生物間溝通效率下降的一種聲響(Farina 2014)。當噪音出現時，生物可能會被遮蔽掉重要的聲音訊息(如警告音、鳴唱等)、在行為上可能會避開噪音來源、直接不叫，或是調整自己的聲音(Slabbekoorn and Ripmeester 2008)。Oden 等(2015)在美國在交通繁忙程度不同的路段記錄黑頂山雀(*Poecile atricapillus*)及美洲金翅雀(*Spinus tristis*)在非繁殖季的叫聲，發現兩種鳥類在人為的低頻噪音較強的環境下，鳴叫聲的最低頻率皆有顯著的提高。

發聲生物之間在聲音上的交互作用，也是影響生物發聲策略的重要因子。隨著環境中聲音來源的增加，聲音訊號被互相干擾的機會也隨之上升，造成聲音上的競爭現象。為了減少生物之間聲音上的競爭，生物必須在發聲的時空間及聲音訊號上做出調整，以增進溝通的效率。Bernie Krause 在 1980 年首先描述此一現

象，並提出聲音棲位假說(Acoustic Niche Hypothesis)。Krause(2012)認為，同一時空下，聲音的頻率範圍是一種有限資源；為了減少聲音的競爭，生物必須在發聲的時空間以及聲音頻率上做出調整，以增進溝通的效率。



聲音頻率相似的物種常會錯開鳴叫的時間，以避免聲音訊號的重疊。這樣的時間分化可以出現在不同的時間尺度。在最廣的尺度，聲音類似的物種可能會在不同的季節，或相差幾週進入繁殖季。在一日的時間尺度下，蟬被發現與蟋蟀和螽斯有非常明顯的鳴叫時間間隔(Diwakar and Balakrishnan 2007a)。同樣的現象也出現在青蛙、蟋蟀及蟬在黃昏的鳴唱(Gogala and Riede 1995)。但是，另一研究發現，在墨西哥雨林的黃昏，在九種蟬中，有七種蟬是會同時鳴唱的，呈現出相當嚴重的時間重疊(Sueur 2002)。這可能是因為在黃昏發聲的優勢，如極好的大氣條件增進了聲音的傳播效率，大過鳴唱重疊的劣勢(van Staaden and Römer 1997)。此外，一個物種的鳴叫常常是非連續的，有幾秒乃至幾分鐘的時間間隔，因此在較小的時間尺度下，數個物種有可能在同一時段鳴叫，但實際上沒有聲音的重疊或重疊情形不多。Jain 等(2014)分析南印度的蟋蟀及螽斯黃昏時的鳴唱，發現同時同地鳴唱的昆蟲群聚會有交錯鳴唱的現象。


另一種避開聲音競爭的方式是彼此在空間上分隔，直接遠離其他物種聲音訊號的來源。只要發聲物種之間彼此距離增加，聲音強度就會下降而減輕彼此的干擾。在空間上還可分成水平和垂直方向上的分隔，而前者提供更多移動上的可能性，後者可能受樹高等環境因子限制。過往研究多不支持會發聲的物種間有水平



空間分化的現象(Schmidt et al. 2013, Jain et al. 2014)。但是新北區(Nearctic region)或舊北區(Palaearctic region)的熱帶雨林的發音昆蟲群聚被發現有明顯的垂直空間分化的現象(Nischk and Otte 2000; Sueur 2002; Diwakar and Balakrishnan 2007b; Schmidt et al. 2013)。另外，McLaughlin 及 Kunc (2013)試著對籠養的野生歐亞鴿(*Erithacus rubecula*)播放不同聲音強度的環境噪音，發現隨著環境噪音強度的增加，飛離播音器，即噪音來源的比例明顯增加，顯示鳥類確實會迴避不利於自己傳播聲音的環境。但目前還尚未有研究以播放不同聲音強度的生物聲音了解其對另一物種的影響，音量在聲音競爭中所扮演的角色還有待探索。

最後，在同一時空間的物種群聚，發聲頻率的分化有助於降低聲音競爭(Krause 1987; Pijanowski et al. 2011)。藉由描繪出錄音紀錄的時頻圖，可以很清楚地看見青蛙、蟋蟀、螽斯及蟬在叫聲上的多樣化(Krause 1987; Riede 1993; Sueur 2002; Diwakar et al. 2007)。然而在不同的生物類群，頻率分化的程度並不一致。蝗蟲、許多螽斯以及蟬，因為發聲頻率極廣，並未出現明顯的頻率分化(Römer 2013)。蟋蟀則因叫聲頻率較窄(Elliott and Koch 1985; Riede 1993; Bennet-Clark 1998; Montealegre et al. 2011)，能夠明顯看到物種間叫聲頻率上的分隔(Riede 1993; Schmidt et al. 2013; Jain et al. 2014)。更進一步來看，在沒有其他物種競爭的情形下，物種會傾向使用更廣的頻率範圍來進行溝通，更支持了物種之間有聲音頻率上的棲位分化(Grant 2014)。

聲音競爭的現象，並不限於同一生物類群的物種，而是環境中所有的發聲物



種皆可能互相影響。在熱帶地區，同翅目(Homoptera)的蟬是相當強勢的發聲物種。大部分蟬的雄蟲具有鼓膜發音器(tymbal)，會發出聲音以吸引雌性配偶。這個發音器具有極高的發聲效率，可以產生音量大以及持續的鳴唱聲。許多大型蟬種在 20 公分的測量距離中可以叫出高達 100 分貝的叫聲(MacNally and Young 1981)。加上許多蟬種有齊鳴的行為，使得蟬在聲音競爭上非常強勢。在許多熱帶地區的森林，蟬常常是最大聲的發聲物種(Boulard 1977)。

過往研究初步顯示，在有蟬聲的干擾下，聲音頻率與蟬有重疊的鳥類鳴唱行為會受到干擾。Hart 等(2015)在哥斯大黎加的雨林分析鳥類與蟬的在早晨的鳴唱，發現在有蟬聲(*Zammara smaragdina*)的干擾下，聲音頻率與蟬有重疊的鳥類鳴聲顯著減少。這樣的結果顯示出當地的多數鳥類會在發聲上會受到蟬聲的壓迫，只有聲音頻率與蟬聲不重疊的鳥類能夠不受干擾。Stanley 等(2016)在巴拿馬 Barro Colorado Island 的次生林地對鳥類的在早晨鳴唱進行錄音，並對當地常見鳥種進行蟬聲的回播，觀察鳴唱行為的變化。研究結果顯示，叫聲頻率與蟬聲重疊的鳥種會迴避與蟬同時鳴唱。

在臺灣的低海拔地區，蟬的數量非常龐大。在夏季的早晨進行鳥類觀察時，只要蟬開始鳴唱，大部分鳥類常就會停止鳴唱，使得觀察者難以藉由聲音察覺鳥類的存在。這樣的現象暗示著臺灣的鳥類與蟬之間可能也存在著聲音棲位的競爭，並且是蟬單方面地壓迫到鳥類，導致兩者無法同時鳴唱。然而，台灣目前關於鳥類與蟬聲音相關的研究較關注鳥類的晨鳴時序(陳章民 2010)、鳥類的叫聲地理

變異(Shieh 2004; Shieh and Liang 2007; 施佩君 2011)、蟬在不同海拔的叫聲變化(Shieh et al. 2017)、蟬種之間的聲音競爭(Shieh et al. 2015)，或是鳥以及蟬對不同環境噪音強度的叫聲變化(洪貫捷 2008；許嘉麟 2009；謝寶森 2011；Shieh et al. 2012；謝寶森 2014)，尚未有描述鳥類與蟬聲音互動的相關研究。

然而，過往針對蟬與鳥聲音競爭的國外研究雖提出頻率的重疊可能是影響的因子，但是有些鳥種與蟬只有部分聲音頻率重疊，而且沒有考量到蟬聲的音量大小可能也是一個影響因子。另外過往研究雖然曾以野外回播方式進行實驗，但尚未以室內播音實驗來調整蟬的叫聲，確認蟬聲影響鳥類鳴唱行為的重要影響因子為何。因此，本研究將同時進行野外錄音實驗與室內播音實驗，以確認鳥類的行為變化確與蟬聲有關。本研究將檢測以下三項假說：(一) 鳥類會受到蟬聲干擾而減少鳴唱行為；(二) 鳥種叫聲與蟬叫聲頻率的重疊程度提高時會加劇鳥鳴唱行為受蟬聲的干擾程度；(三) 蟬聲的音量提高時會加劇鳥鳴唱行為受蟬聲的干擾程度。

在野外錄音實驗部分，本研究在陽明山國家公園的二子坪地區進行排程錄音。藉由分析早晨各常見鳥種與蟬種鳴唱時間的變化，了解鳥是否會受到蟬及鳥類的聲音干擾，而與蟬錯開時間鳴唱；並透過鳥與蟬聲音重疊程度與時間重疊程度的計算，分析鳥與蟬頻率的重疊程度是否為影響其能否與蟬同時鳴唱的重要變因。

在室內播音實驗部分，本研究與特有生物保育中心合作，在日出後對白頭翁

(*Pycnonotus sinensis*)個體分別播放四種低海拔地區常見蟬種的鳴聲，確認不同蟬種對白頭翁的影響。此外，本研究調整陽明山暮蟬(*Tanna sozanensis*)叫聲的聲音強度及頻率，對白頭翁播放調整後的蟬音，記錄播放前中後白頭翁在單位時間內的鳴叫次數變化。



材料與方法



一、野外錄音實驗

1. 研究區域

本研究在陽明山國家公園大屯山區的二子坪遊憩區，往大屯坪的步道間的樹林(121.516 E, 25.178 N)設置一個錄音樣點，環境為低海拔闊葉林，海拔為 830 公尺。二子坪地區是位於大屯山的西側背風面，與大屯主峰之間形成的開闊地，面積約四公頃，中間有三個水池。由於地處大屯山的西側背風面，二子坪早期為琉球松(*Pinus taiwanensis*)造林地，經開墾、荒廢後形成高草地，再經過整地，故可見新生的五節芒(*Miscanthus floridulus*)草生地，間雜人工栽植的楓香(*Liquidambar formosana*)小苗，以及枯立的琉球松(林曜松 1987)。樣區的植群屬下部山地常綠闊葉林(楠櫛林帶)，喬木以紅楠(*Machilus thunbergii*)、黑松(*Pinus thunbergii*)、楓香為主，亞喬木及灌木層則以臺灣山香圓(*Turpinia formosana*)、柃木(*Eurya nitida*)、樹杞(*Ardisia sieboldii*)、墨點櫻桃(*Prunus phaeosticta*)、長梗紫麻(*Oreocnide pedunculata*)、尖葉槭(*Acer kawakamii*)及臺灣樹參(*Dendropanax dentiger*)為主，草本層多為姑婆芋(*Alocasia odora*)、曲莖蘭埃馬藍(*Strobilanthes flexicaulis*)、臺灣馬藍(*Strobilanthes formosanus*)、蛇根草(*Ophiorrhiza japonica*)、黃花鼠尾草(*Salvia nipponica* var. *formosana*)、水鴨腳秋海棠(*Begonia formosana*)及各種蕨類(邱文良 2009)。根據中央氣象局鞍部氣象站(121.53 E, 25.18 N，海拔 825.8 公尺，跟調查樣點距離約 1.42 公里)的資料，2010 年到 2016 年的年平均氣壓 921.14 hPa，年平

均氣溫為 17.16°C，年平均最高溫為 26.12°C，年平均最低溫為 10.17°C，年平均雨量為 4579.34 毫米。



2. 研究方法

本研究自 2016 年 5 月 3 日起開始錄音，到同年 9 月 31 號結束錄音，其中因颱風或強降雨等天氣因素，為避免錄音機被強風或樹枝損傷，在 5 月 14 日至 6 月 1 日、6 月 18 日至 24 日、7 月 7 日至 9 日、8 月 11 日至 19 日、9 月 17 日至 20 日暫時停止錄音。以排程錄音機(Wildlife Acoustics，SM2 錄音機，圖一) 進行錄音，錄音機綁在樹上，離地約 130 公分。錄音時段為每天早上日出前一小時到日出後四小時，自動記錄環境內的聲景。錄音排程是一個檔案五分鐘，連續錄音 300 分鐘，錄音品質設定為 16bit, 44.1KHz, Stereo，錄音檔案保存為 WAV 檔案格式。

3. 研究物種

研究期間共辨識出 16 種鳥、6 種蟬以及 1 種哺乳類(表一)，其中在錄音檔案中最常被記錄到的鳥種為以下 7 種：臺灣竹雞(*Bambusicola sonorivix*)、樹鵲(*Dendrocitta formosae*)、山紅頭(*Cyanoderma ruficeps*)、小彎嘴畫眉(*Pomatorhinus musicus*)、五色鳥(*Psilopogon nuchalis*)、紅嘴黑鶇(*Hypsipetes leucocephalus*)、繡眼畫眉(*Alcippe morrisonia*)。這 7 種鳥種皆為臺灣中低海拔地區普遍常見的留鳥，

其中臺灣竹雞、五色鳥、小彎嘴畫眉及繡眼畫眉為臺灣特有種，樹鵲、山紅頭及紅嘴黑鵯為臺灣特有亞種。



臺灣竹雞在分類上屬於雉科(Phasianidae)，主要棲息於海拔 300 至 1200 公尺以下之丘陵地，多活躍於雜木林、竹林、灌叢及草叢(劉小如等 2012)。竹雞的繁殖期在 4 至 8 月間，全年雌雄鳥對叫的次數以 3 月頻率最高，6 月則只有雄鳥獨叫聲(鐘裕 1992)。竹雞雄鳥的鳴唱聲(song)為響亮的「雞狗乖—雞狗乖—」(圖二 a)，頻率約在 1000 至 7000 赫茲之間，每次鳴唱重複 10 至 20 次不等。竹雞的鳴叫聲(call)則是「狗—狗—狗—」的單音(圖二 b)，相對於鳴唱聲較為小聲，頻率在 1000 至 2500 赫茲，同樣每次鳴叫會多次重複，中間間隔約 2 到 5 秒。

樹鵲在分類上屬於鴉科(Corvidae)，廣泛分布於平地至海拔 2000 公尺山區，較喜歡有樹林及草生地的環境，從都市公園至開墾過後的山坡地都能生存。在臺灣，樹鵲的繁殖資料較缺乏，國外資料顯示繁殖季是 3 至 7 月(劉小如等 2012)。樹鵲的鳴唱聲為響亮帶有點金屬音的「啞咕哩—」(圖三 a)，頻率在 1000 至 8000 赫茲之間。樹鵲的鳴叫聲則是較為粗啞的「嘎嘎嘎」，常常伴隨類似鳴唱聲的高音一起出現，一次鳴叫約五至十次，頻率在 1000 至 8000 赫茲之間，有時會持續鳴叫十幾分鐘(圖三 b)。

山紅頭屬於畫眉科(Timaliidae)，在平地丘陵地帶到海拔 2500 公尺都有分布，喜在森林底層和灌叢活動(劉小如等 2012)。山紅頭的繁殖期在 4 至 7 月，鳴唱聲為連續清脆的「嘟嘟嘟嘟嘟嘟」，頻率較窄，在 2000 赫茲上下，一次約 6 至 7



次，每次間隔約 5 至 10 秒(圖四)。

小彎嘴畫眉屬於畫眉科(Timaliidae)，分布在海拔 1500 公尺以下闊葉樹林、灌叢及草叢(劉小如等 2012)。小彎嘴畫眉的繁殖季在 4 到 6 月。小彎嘴畫眉的鳴唱聲多變，較常見的鳴唱聲為雄鳥「歸—歸—歸—」的叫聲(圖五 a)，頻率在 1000 至 3000 赫茲之間，有時會有母鳥「嘎歸—」的組合形成二重唱(duet)。另一常見鳴唱聲為雄鳥連續的「啞啞啞啞」單音，相較於另一鳴唱聲較為低沉，頻率在 1000 至 2000 赫茲之間(圖五 b)。

五色鳥屬於鬚鶯科(Ramphastidae)，廣泛分布於平地至海拔 2500 公尺以下山區的闊葉林，喜在樹葉濃密處活動(劉小如等 2012)。五色鳥繁殖季為 3 至 8 月，以 6、7 月為高峰，會在樹上自行鑿洞繁殖，利用的樹木以枯樹的比例較高(何玉蟬，1980)。五色鳥的鳴唱聲為四至五次具有音調高低的「咕咕咕咕」，通常會是音調連降後緊接著連升的組合，頻率較窄，在 1000 赫茲上下(圖六)。每次鳴唱相當持續，在鳴唱高峰期有時可以連續鳴唱十幾分鐘，稍作停止後繼續鳴唱。

紅嘴黑鵯屬於鵯科(Pycnonotidae)，廣泛分布於平地至中海拔有樹林的環境，繁殖期在 4 到 7 月(劉小如等 2012)。紅嘴黑鵯的鳴唱聲是由「啾噤啾」三個單音所組成，有時也有單音出現的狀況，頻率在 3000 到 8000 赫茲之間(圖七 a)。紅嘴黑鵯常見的鳴叫聲是帶有濃厚鼻音的「咪—」音調先升後降，頻率較寬，在 1000 到 10000 赫茲之間(圖七 b)。

繡眼畫眉屬於噪眉科(Leiothrichidae)，從平原至海拔 2800 公尺都可見，繁殖

期在 3 至 6 月(劉小如等 2012)。繡眼畫眉的鳴唱聲為婉轉的「噦啾噦啾噦 噦—」，叫聲最後有濃厚的鼻音，頻率在 2000 到 5000 赫茲之間(圖八 a)。繡眼畫眉的鳴叫聲為吵雜且連續的「噦噦噦噦」，頻率在 3000 到 7000 赫茲之間(圖八 b)。

二子坪地區最常出現的 4 種蟬種分別為陽明山暮蟬、臺灣騷蟬(*Pomponia linearis*)、臺灣熊蟬(*Cryptotympana holsti*)以及小蟋蟀(*Platypleura takasagona*)，其中小蟋蟀以及陽明山暮蟬為臺灣特有種。在錄音期間，各蟬種之中陽明山暮蟬鳴唱時間最持續、聲音強度最高，是主要影響鳥類鳴唱的物種。

陽明山暮蟬屬於中型蟬種，雄蟬體長約 34 到 38 毫米。陽明山暮蟬主要棲息於北部海拔 300 到 1000 公尺的山地，成蟲在 5 月到 9 月出現，六月到八月間在陽明山的數量相當多(陳振祥 2007)。陽明山暮蟬的叫聲頻率極廣，在 2000 赫茲以上，超過 22000 赫茲，一次鳴唱約 10 至 15 秒，會連續鳴唱整個早晨。陽明山暮蟬的聲音相對於其他蟬，有明顯的數個聲音強度較強的頻率區域，聲音強度最強的頻段約在 2000 以及 4000 赫茲的區域(圖九)。在錄音樣點，陽明山暮蟬在 6 月開始鳴唱，到八月底以後逐漸減少，九月以後就少有鳴唱(圖十)；在每日的早晨，暮蟬自日出前半小時即開始鳴唱，而日出時會出現一鳴唱高峰期，之後就會持續鳴唱整個早晨(圖十一)。在野外錄音實驗中，記錄到的陽明山暮蟬最大音量為 77.35 分貝。蟬聲音量的計算方式為：隨機擷取錄音檔案中的陽明山暮蟬 30 次叫聲，將每筆聲音資料繪製波形圖(Oscillogram)，得到計算資料的方均根電功率強度(dBm)，接著把聲音強度從電功率單位轉換為聲壓單位(pascal)，並將 30

筆聲壓資料取平均後轉換為音量單位(dB SPL)，最後加上錄音機麥克風的敏感度(34 分貝)，得出音量大小。其他蟬種的叫聲也以同樣的方式計算音量大小。

臺灣騷蟬屬於大型蟬種，雄蟬體長約 40 到 45 毫米，廣泛分布於全臺低海拔至海拔 1200 公尺的山地，成蟲在 4 月到 10 月出現，通常在日出時以及下午 3 點至傍晚 6 點半鳴叫(陳振祥 2007)。臺灣騷蟬的聲音頻率在 1000 到 8000 赫茲之間，鳴唱的特徵是 5 到 10 個快速連續單音形成一個組合，約 10 個組合形成一次鳴唱，每次鳴唱之間有 10 至 15 秒左右的間隔，不像其他蟬種會連續鳴唱(圖十二)。在野外錄音實驗中，記錄到的臺灣騷蟬最大音量為 59.22 分貝。

小蟋蟀屬於小型蟬，雄蟬體長約 16 到 18 毫米，廣泛分布於全臺低海拔至海拔 2000 公尺的山地，成蟲在 4 月到 8 月出現(陳振祥 2007)。小蟋蟀的聲音頻率在 5000 到 10000 赫茲之間，叫聲相當持續，在每次叫聲的最末會有些微頻率的下降(圖十三)。在錄音樣點，小蟋蟀常常有與其他蟬種同時齊鳴的狀況。在野外錄音實驗中，記錄到的小蟋蟀最大音量為 64.67 分貝。

臺灣熊蟬屬於大型蟬種，雄蟲體長約 46 到 49 毫米，全臺各地靠近山地的平地至海拔 1200 公尺的山地，成蟲在 6 到 10 月出現，6 到 7 月數量較多，陽明山地區在夏季極易觀察到(陳振祥 2007)。臺灣熊蟬的聲音頻率在 4000 到 10000 赫茲之間，每秒約 1 至 2 次單音，每次鳴叫持續約 1 分鐘，每次鳴唱中間約有 20 秒左右的間隔(圖十四)。在野外錄音實驗中，記錄到的臺灣熊蟬最大音量為 63.90 分貝。

4. 資料分析

為了快速記錄每個聲音檔案中是否有生物聲音出現，首先利用聲音分析軟體 SoX(Sound eXchange v. 14.4.2, <http://sox.sourceforge.net>)批次產生頻譜圖。頻譜圖產生方式為離散傅立葉轉換(Discrete Fourier Transform, DFT)，窗函數為 hann window，時間解析度為 3 像素/秒(pixels/second)，頻率解析度為 13.7 像素/千赫茲(pixels/kHz)。藉由人眼觀察頻譜圖中是否有鳥音或蟬音的出現，以及直接播放音檔，以聲音輔助辨識聲音檔案中不確定的聲音，最後記錄所有出現的鳥種以及蟬種。為了解每個 5 分鐘的音檔中各物種有發聲的時間比例，本研究設計出鳴唱頻度這指標作為後續分析的參數。鳴唱頻度的計算方式為：將 5 分鐘的音檔拆成 10 秒的時間單位(共 30 單位)，紀錄每個時間單位之內有無出現鳥種或蟬種的聲音，依此計算每個 5 分鐘的音檔中各物種有出現聲音的時間單位數，最後除以總時間單位數 30。

$$\text{物種A的鳴唱頻度} = \frac{\text{聲音檔案中有出現物種A叫聲的時間單位數}}{5 \text{ 分鐘聲音檔案內的總時間單位數}}$$

研究期間的氣象資訊是利用中央氣象局的陽明山鞍部氣象站資料，擷取錄音期間每小時的溫度及雨量資訊。因每小時的溫度及雨量資訊是以各小時為單位計算，與真實日出有所差異，因此利用中央氣象局臺北的日出資料，將日出的該小時視為日出時 0 小時，作為兩者時間差異的轉換。後續進行各鳥種鳴聲頻度的分析時，因資料背景並無每五分鐘資訊，因此以錄音當下的小時作為溫度及雨量資

料的對應。

原始資料以 Microsoft Excel 建檔計算，以每個 5 分鐘聲音檔案作為分析單位，以廣義線性模型(Generalized Linear Model)進行迴歸分析。以單一鳥種在每個 5 分鐘檔案中的鳴唱頻度為依變數，其他鳥種的鳴唱頻度、4 種常見蟬種的鳴唱頻度、日出前後時間、取樣日期(日曆日)、溫度(錄音所在小時溫度)、雨量(錄音所在小時雨量)作為因變數進行廣義線性迴歸，所有的鳴唱頻度皆為卜瓦松(Poisson)分布，以此分析何者為影響各鳥種鳴唱頻度的重要因子。

最後，為了解各鳥種與蟬在聲音頻率重疊的程度是否為影響鳥的鳴唱的重要因子，本研究計算常見 7 種鳥種對實驗樣點中聲音出現最多的陽明山暮蟬的頻率重疊度與時間重疊度，最後以無母數線性迴歸 Kendall-Theil regression 分析兩者的相關性。頻率重疊度的計算方法為：從錄音檔案中找出各個鳥種單獨、乾淨的鳴唱聲(song)，利用聲音處理分析軟體 Audacity(R)描繪聲音的頻率響應圖(Frequency response) (圖十五)。頻率響應圖繪製的設定為快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform, FFT)，窗函數為 hanning window，坐標軸為線性頻率，視窗大小(window length)為 1024，並將響度單位同樣從電功率單位(dBm)校準為聲壓單位(dB SPL)。每個鳥種隨機擷取 30 個鳴唱聲作頻率響應的轉換後取平均值，得到各鳥種鳴唱聲在不同頻率的聲音強度資料。陽明山暮蟬的叫聲同樣以隨機擷取的 30 個叫聲作轉換後取平均，最後將各鳥種與陽明山暮蟬的頻率響應圖疊合，計算鳥音涵蓋的頻率範圍內，與陽明山暮蟬叫聲重疊的面積比例。各鳥種的鳴叫

聲(call)因出現比例較少不計入頻率重疊度分析,另外因小彎嘴畫眉在研究地區有二種鳴唱聲,本研究將二種鳴唱聲分別計算與陽明山暮蟬叫聲的頻率重疊度後取平均值作為小彎嘴畫眉的頻率重疊度代表。7種鳥種之中,五色鳥與陽明山暮蟬的頻率重疊度最低(0.110),其次為小彎嘴畫眉(0.545),接著依序為樹鵲(0.841)、竹雞(0.847)、紅嘴黑鵯(0.935)、山紅頭(0.975),繡眼畫眉與陽明山暮蟬的頻率重疊度最高(0.997)。

$$\text{鳥種A與陽明山暮蟬的頻率重疊度} = \frac{\text{在頻率響應圖中鳥種A與暮蟬重疊的面積}}{\text{在頻率響應圖中鳥種本身叫聲的面積}}$$


各鳥種與陽明山暮蟬鳴唱時間重疊度的計算方法為:記錄所有單一鳥種與陽明山暮蟬有同時鳴唱的5分鐘檔案數量,除以所有錄音檔案中,有該鳥種聲音的檔案數量。

$$\text{鳥種A與陽明山暮蟬的時間重疊度} = \frac{\text{鳥種A與暮蟬同時鳴唱的檔案數量}}{\text{所有有鳥種A聲音的檔案數量}}$$

二、室內播音實驗

1. 研究地點與對象

實驗在特有生物研究保育中心進行,實驗的白頭翁共有19隻野生個體,來自臺中、彰化以及南投,在2015年時被陸續抓回鳥房飼養,所有個體被捕捉時皆為成鳥,性別以抽血方式確認皆為雄性,每隻個體以獨立鳥籠飼養在鳥房內。



白頭翁屬於鶇科(Pycnonotidae)，廣泛分布於平地與中低海拔次生林，在都市公園中也很常見。白頭翁繁殖季是3月至7月，2月起即有明顯的繁殖領域，雄鳥喜歡站在枝頭高處鳴唱(劉小如等 2012)。白頭翁的鳴唱聲較具金屬音，有點類似「巧克力」，變化多，頻率在1000到4000赫茲之間。鳴叫聲則是較為圓潤的單音，頻率在2000到4000赫茲之間，另一種鳴叫聲為三連音的「啾啾啾」，頻率在2000到3000赫茲之間(圖十六)。在實驗中的白頭翁個體音量的測量方式為，將每隻白頭翁個體移至實驗房內，以數位式分貝計(TES-1350A，泰仕電子工業)在距離2公尺測量叫聲強度。最後測得的白頭翁鳴叫的音量大小在80到90分貝之間，平均為85分貝，相較於野外記錄到的白頭翁叫聲強度(52.96分貝)要高得多，是因野外的白頭翁個體與錄音機距離遠所造成。


2. 研究方法

整體實驗時間自2016年6月1日起到6月30日止進行，實驗個體數為19隻白頭翁。在實驗前一天下午將固定的10隻白頭翁個體移至安靜實驗房A，其餘9隻以每3隻一組留在鳥房(為飼養房，因也有進行實驗操作，後續將稱為實驗房B)(圖十七)。實驗房A以木板隔成4個空間，實驗房B則無。每二到三隻白頭翁個體放在一個空間，方便後續操作。在隔日的日出後，約6點半到7點間進行實驗，在每個空間前架設一台錄影機(SJCAM 防水運動型攝影機 SJ4000 以及 Olympus 數位相機 TG-1)，並在房間的中心放置播音設備(Sony 智慧型手機

xperia X 外接 THOMSON 藍芽隨身音響 TCD-T06U)。在架設完器材，開始錄影後，人員離開實驗房，給予 10 分鐘的時間作為冷卻時間，以減少人為干擾。10 分鐘後開始正式進入實驗，每次播音操作的時間為 5 分鐘，加上播音前後會各取 5 分鐘時間作為播音操作前後的代表，因此一次實驗操作會進行 25 分鐘(圖十八)。

在實驗房 A 的第一輪實驗結束後，將播音及錄影器材移動至實驗房 B，進行第二次實驗操作。實驗房 B 則分為三個區域來放置白頭翁，每三隻個體放在一個區域，後續實驗操作方式與第一次完全相同。每一天在兩間實驗房的播音處理都是相同的，並且每一隻白頭翁個體在所有的實驗操作組都被放置在同樣的位置，以避免因放置在不同位置而影響白頭翁鳴唱表現的可能。實驗操作結束後，將錄影的影片檔案存入電腦，利用影片播放計錄每一隻白頭翁個體鳴叫的次數。


蟬聲聲音的來源是以臺灣賞蟬圖鑑(陳振祥 2007)所附的聲音檔案為基礎，以聲音處理分析軟體 Audacity 進行編修以及聲音形質的調整。在實驗的操作上，在蟬種影響部分，本研究依陽明山國家公園蟬科鳴聲之研究(陳振祥 2006)選定四種陽明山國家公園內最常見的蟬種聲音進行播放：陽明山暮蟬、臺灣騷蟬、青面姬春蟬(圖十九)及臺灣熊蟬，播放的蟬聲以 Audacity(R)編修使聲音強度統一，並在實驗房先行播放，調整播音設備的播放音量使實驗房內的蟬聲在距離 2 公尺下由數位分貝計測得的聲音強度為 85 分貝，與實驗前測得的白頭翁個體鳴叫平均音量相同。



在蟬聲聲音形質部分，本研究調整陽明山暮蟬的聲音頻率以及聲音強度。在聲音頻率部分，播放陽明山暮蟬三種不同聲音頻率(原頻率、減少 500 赫茲、增加 500 赫茲)之組合，改變陽明山暮蟬與白頭翁叫聲的頻率重疊度。其中減少 500 赫茲組與白頭翁的叫聲頻率重疊度最高(73.5%)，原頻率的叫聲頻率重疊度次之(69.1%)，增加 500 赫茲組與白頭翁的叫聲頻率重疊度最低(64.6%)；在聲音強度部分，播放陽明山暮蟬三種不同聲音強度的叫聲(80 分貝、85 分貝、90 分貝)，其中 80 分貝組的蟬聲音量低於所有白頭翁個體的叫聲，85 分貝組的蟬聲與白頭翁個體平均音量相同，90 分貝組的蟬聲音量高於所有白頭翁個體的叫聲。本部分共六組操作。其中蟬種影響實驗中的陽明山暮蟬組，以及蟬聲聲音形質部分的原強度及原頻率組實為同一操作，沒有重複實驗的需要，因此實際上共進行 8 次實驗操作(表二)。

3. 資料分析

在每個播音操作組中，將白頭翁鳴叫的時期依播放蟬音的前後分為播音前期、播音中期以及播音後期。三個時期的定義為：播音前期為播放蟬音前 5 分鐘、播音中期為播放蟬音期間的 5 分鐘、播後前期為播放蟬音後的 5 分鐘。透過影片紀錄各播放時期每隻白頭翁的鳴叫次數，作為後續分析的參數。統計手法為單因子重複測量變異數分析(one-way ANOVA, repeated measures)，去除每個白頭翁個體差異的影響。依此分析在不同的蟬種以及在不同的聲音形質操作下，白頭翁在各



播放時期每分鐘鳴叫的次數是否有顯著差異，接著以 Tukey's HSD test 進行事後檢定。另外同樣以單因子變異數分析在不同播音處理的操作下，白頭翁在播音中期的每分鐘鳴叫的次數是否有顯著差異，並以 Tukey's HSD test 進行事後檢定。

最後以卡方檢定分析(Chi-square test)蟬聲頻率以及不同音量操作下白頭翁在播放中期的 5 分鐘內有鳴叫行為的個體數是否有顯著差異。

結果




一、野外錄音實驗

在研究期間記錄 123 天，共 6240 筆 5 分鐘聲音檔案，187200 個 10 秒鐘分析單位。本研究針對錄音期間在樣點被記錄次數超過 30 次的 7 種鳥類(竹雞、樹鵲、山紅頭、小彎嘴畫眉、五色鳥、紅嘴黑鵝及繡眼畫眉)以及 4 種蟬(陽明山暮蟬、臺灣騷蟬、小蟋蟀以及臺灣熊蟬)進行後續分析。

在環境資訊部分，依鞍部氣象站的資訊，早晨溫度在錄音開始後隨取樣日期上升，七月份的時候最高，七月後則逐漸下降(圖二十)。在早晨，溫度隨日出時間有顯著的正向關係($p < 0.0001$)(圖二十一)。早晨累積雨量與取樣日期(圖二十二)無顯著關聯，時雨量與日出時間(圖二十三)無顯著關聯。

在鳥種的優勢性部分，所有聲音檔案之中有出現山紅頭叫聲的比例最高，為 12.1%，繡眼畫眉(11.0%)次之，接著依序為樹鵲(7.6%)、小彎嘴畫眉(7.0%)、竹雞(6.8%)、五色鳥(5.8%)、紅嘴黑鵝(1.3%)。此一結果顯示山紅頭以及繡眼畫眉為研究地區 6 月到 9 月在發聲上最優勢的鳥種。在蟬種的優勢性部分，所有聲音檔案中之中有出現小蟋蟀叫聲的比例最高，為 37.3%，陽明山暮蟬(34.3%)次之，接著為臺灣熊蟬(13.9%)及臺灣騷蟬(9.4%)。此一結果顯示小蟋蟀以及陽明山暮蟬為研究地區 6 月到 9 月在發聲上最優勢的蟬種。

7 種鳥類的鳴唱頻度對陽明山暮蟬以外的蟬種幾乎無顯著差異，只有五色鳥對小蟋蟀有顯著負相關($p = 0.021$)，在鳥種之間大部分沒有顯著差異，其中少部




分有顯著性者皆為正向關係(表三)。在 6240 筆 5 分鐘聲音檔案中，臺灣竹雞的鳴唱頻度對陽明山暮蟬的鳴唱頻度有顯著負相關($p = 0.015$)、對日出前後時間有顯著負相關($p = 0.026$)、對繡眼畫眉的鳴唱頻度有顯著正相關($p = 0.009$) (表四)；樹鵲的鳴唱頻度對陽明山暮蟬的鳴唱頻度有顯著負相關($p = 0.024$)、對日出前後時間有顯著正相關($p < 0.001$)、對五色鳥的鳴唱頻度有顯著正相關($p = 0.007$) (表五)；山紅頭的鳴唱頻度對陽明山暮蟬的鳴唱頻度有顯著負相關($p < 0.001$)、對日出前後時間有顯著負相關($p < 0.001$)、對五色鳥的鳴唱頻度有顯著正相關($p < 0.001$)、對小彎嘴畫眉的鳴唱頻度有顯著正相關($p = 0.008$) (表六)；小彎嘴畫眉的鳴唱頻度對取樣日期有顯著負相關($p = 0.001$)、對日出前後時間有顯著負相關($p = 0.026$)、對繡眼畫眉的鳴唱頻度有顯著正相關($p = 0.031$) (表七)；五色鳥的鳴唱頻度對陽明山暮蟬的鳴唱頻度有顯著正相關($p < 0.001$)、對小蟋蟀的鳴唱頻度有顯著負相關($p = 0.021$)、對取樣日期有顯著負相關($p < 0.001$)、對日出前後時間有顯著正相關($p = 0.009$)、對溫度有顯著負相關($p < 0.001$)、對雨量有顯著負相關($p = 0.012$)、對山紅頭的鳴唱頻度有顯著正相關($p < 0.001$) (表八)；紅嘴黑鵯的鳴唱頻度對取樣日期有顯著負相關($p < 0.001$)、對溫度有顯著負相關($p = 0.021$)、對臺灣竹雞的鳴唱頻度有顯著正相關($p = 0.023$)、對山紅頭的鳴唱頻度有顯著正相關($p = 0.028$) (表九)；繡眼畫眉的鳴唱頻度對日出前後時間有顯著負相關($p < 0.001$)、對臺灣竹雞的鳴唱頻度有顯著正相關($p = 0.018$)、對山紅頭的鳴唱頻度有顯著正相關($p = 0.049$) (表十)。

7 種鳥種的叫聲對陽明山暮蟬叫聲的頻率重疊度，與 7 種鳥種對陽明山暮蟬在鳴唱時間的時間重疊度有顯著的負相關(Kendall-Theil regression, $p = 0.031$, $n = 7$)，顯示出與陽明山暮蟬頻率重疊度愈高的鳥類，愈不傾向與陽明山暮蟬同時鳴唱(圖二十四)。

二、室內播音實驗


實驗以 19 隻白頭翁個體進行操作及後續分析。在陽明山暮蟬、臺灣熊蟬、青面姬春蟬及臺灣騷蟬四種蟬種播音操作中，只有在播放陽明山暮蟬的叫聲時會造成白頭翁在播音前期、播音中期及播音後期的鳴叫次數出現顯著差異(ANOVA, $p < 0.001$) (圖二十五) (表十一)，其中陽明山暮蟬組在播音中的鳴叫次數顯著低於播音前(Tukey's HSD test, $p < 0.001$)、播音中的鳴叫次數顯著低於播音後(Tukey's HSD test, $p < 0.001$)、播音前與播音後的鳴叫次數沒有顯著差異(Tukey's HSD test, $p = 0.941$)，而其他蟬種播音操作則在三個播音時期沒有出現白頭翁鳴叫次數的顯著差異(ANOVA, 臺灣熊蟬組： $p = 0.587$ 、青面姬春蟬組： $p = 0.458$ 、臺灣騷蟬組： $p = 0.053$) (表十二、表十三、表十四)。四種蟬種操作在播音中期的鳴叫次數出現顯著差異(ANOVA, $p = 0.018$) (表十五)，其中陽明山暮蟬組顯著低於臺灣熊蟬組(Tukey's HSD test, $p = 0.035$)、陽明山暮蟬組顯著低於青面姬春蟬組(Tukey's HSD test, $p = 0.032$)，顯示當白頭翁聽到陽明山暮蟬鳴聲時會減少鳴唱行為。



在不同頻率的播放實驗(圖二十六)，播放低頻率(降低 500 赫茲)的陽明山暮蟬鳴聲時，白頭翁在播音前期、播音中期及播音後期的鳴叫次數出現顯著差異(ANOVA, $p = 0.003$) (表十六)，其中在播音中的鳴叫次數顯著低於播音前(Tukey's HSD test, $p = 0.003$)、播音中的鳴叫次數顯著低於播音後(Tukey's HSD test, $p = 0.020$)、播音前與播音後的鳴叫次數沒有顯著差異(Tukey's HSD test, $p = 0.773$)。

播放原頻率陽明山暮蟬的操作組與蟬種差異實驗時的陽明山暮蟬組為同一操作組。播放高頻率(增加 500 赫茲)的陽明山暮蟬鳴聲時，白頭翁在播音前期、播音中期及播音後期的鳴叫次數出現顯著差異(ANOVA, $p < 0.001$) (表十七)，其中在播音中的鳴叫次數顯著低於播音前(Tukey's HSD test, $p < 0.001$)、播音中的鳴叫次數顯著低於播音後(Tukey's HSD test, $p = 0.008$)、播音前與播音後的鳴叫次數沒有顯著差異(Tukey's HSD test, $p = 0.449$)。三種頻率播音操作在播音中期的鳴叫次數並無顯著差異(ANOVA, $p = 0.063$) (表十八)。而隨著頻率調降，在播音中鳴叫的個體數也跟著下降，且低頻率組的播音中鳴叫個體數顯著低於高頻率組的播音中鳴叫個體數(Chi-square test, $p = 0.004$) (圖二十七)。

在不同聲音強度的操作實驗(圖二十八)，播放音量 80 分貝的陽明山暮蟬鳴聲時，白頭翁在播音的前中後期並無鳴唱次數的顯著差異(ANOVA, $p = 0.054$) (表十九)。播放音量 85 分貝的陽明山暮蟬的操作組與蟬種差異實驗時的陽明山暮蟬組為同一操作組。播放音量 90 分貝的陽明山暮蟬鳴聲時，白頭翁在播音前期、播音中期及播音後期的鳴叫次數出現顯著差異(ANOVA, $p = 0.022$) (表二十)，其



中在播音中的鳴叫次數顯著低於播音前(Tukey's HSD test, $p = 0.016$)、播音中與播音後的鳴叫次數沒有顯著差異(Tukey's HSD test, $p = 0.226$)、播音前與播音後的鳴叫次數沒有顯著差異(Tukey's HSD test, $p = 0.441$)。三種聲音強度播音操作在播音中期的鳴叫次數並無顯著差異(ANOVA, $p = 0.389$) (表二十一)。在鳴叫個體數方面，音量 85 分貝組與音量 90 分貝組在播音中並無鳴叫個體數上的差異，而音量 80 分貝在播音中的鳴叫個體數顯著高於音量 85 分貝組與音量 90 分貝組 (Chi-square test, 85 分貝組： $p = 0.036$ 、音量 90 分貝組： $p = 0.053$)(圖二十九)。


討論



一、蟬對鳥類鳴唱行為的影響

鳥類的鳴唱行為確實會受到蟬聲的干擾，但對於不同蟬種聲音的反應卻不盡相同，本研究會影響鳥類鳴唱的最主要蟬種為陽明山暮蟬。陽明山暮蟬的叫聲頻率寬廣(2000 到 22000 赫茲以上)，與其他鳥種的叫聲頻率高度重疊，因此與其他鳥種的聲音競爭程度相當大。並且因陽明山暮蟬的叫聲持續，音量又高過其他鳥種的叫聲，在聲音競爭上是陽明山暮蟬占優勢。在野外錄音實驗，可以發現與陽明山暮蟬叫聲頻率較重疊的鳥種，其鳴唱頻度與暮蟬的鳴唱頻度呈顯著負相關。而在室內實驗中也發現只有陽明山暮蟬的叫聲會使得白頭翁的鳴唱次數在播音中期顯著下降，臺灣熊蟬、青面姬春蟬及臺灣騷蟬的叫聲則不會使白頭翁的鳴唱次數下降。

蟬和蟬之間也會有聲音競爭的情形，而在蟬種間聲音競爭較為弱勢的蟬種可能會減少鳴唱的時間以避開與優勢蟬種的聲音競爭，也因此弱勢的蟬種可能無法再對鳥類產生聲音上的干擾。Sueur(2002)在墨西哥的雨林研究九種蟬種的鳴唱，發現其中七種蟬的鳴唱時間非常固定並且各自分隔，同時每種蟬種在鳴唱期間有偏好的停棲高度，每種蟬種的叫聲頻率差異極大，種種的證據都顯示出這九種蟬在時間、空間以及頻率上都具有聲音棲位分化的現象。Shieh 等(2015) 比較臺灣南部的都市與山區蟬種群聚的叫聲特徵以及鳴唱行為變化，發現無論在都市或山區的蟬種都沒有明顯鳴唱時間的分化。然而蟬種之間有明顯的聲音頻率上的分隔，




顯示出頻率的分化是當地蟬種應對聲音競爭的主要方式。在野外錄音實驗，四種蟬種的優勢性上，陽明山暮蟬與小蟋蟀在研究期間發聲的時間最長，應為發音上的優勢性蟬種。小蟋蟀的叫聲頻率相較於其他三種蟬較高，可能與其他蟬種有聲音頻率上的分化；臺灣熊蟬與臺灣騷蟬的叫聲與陽明山暮蟬的叫聲頻率有高度的重疊，但因陽明山暮蟬數量豐富且音量較大，因此臺灣熊蟬與臺灣騷蟬可能為了與陽明山暮蟬做出發聲時間上的分隔而減少鳴唱。在野外的錄音實驗，臺灣熊蟬和臺灣騷蟬的鳴唱頻度與鳥種的鳴唱頻度沒有顯著相關，顯示環境中較弱勢的蟬種對鳥類鳴唱行為的影響可能較低。

二、鳥類與蟬叫聲頻率重疊程度的影響


各鳥種叫聲頻率與陽明山暮蟬叫聲頻率的重疊程度是影響鳥類能否與陽明山暮蟬同時鳴唱的重要影響因子，也是決定兩者聲音競爭程度的關鍵。當鳥種的叫聲頻率範圍與陽明山暮蟬叫聲相近，在聲音的傳遞上就會受到蟬聲相當大的干擾。而為了減少蟬的聲音干擾，在聲音競爭上相對弱勢的鳥類可能會做出發聲時間上的調整以避開與蟬同時鳴唱的情形。

調整暮蟬叫聲頻率的實驗顯示，陽明山暮蟬叫聲如果頻率調低，與白頭翁的叫聲在頻率重疊度上提高，對白頭翁鳴唱行為的干擾會更加明顯。證明當蟬的叫聲與鳥類的叫聲有較高的頻率重疊度時，對於鳥類的鳴唱行為有較大的干擾。



在野外錄音實驗，鳥與蟬在聲音頻率的高重疊度會造成時間重疊度的下降。五色鳥與小彎嘴畫眉叫聲頻率與陽明山暮蟬叫聲頻率的重疊程度較低，聲音競爭程度較低，因此較能夠觀察到與陽明山暮蟬同時鳴唱。跟陽明山暮蟬叫聲頻率重疊度較高的其他鳥種，聲音競爭程度較高，就很少觀察到與陽明山暮蟬同時鳴唱。在錄音樣點的另一個優勢蟬種小蟋蟀，其鳴唱頻度幾乎與所有鳥種的鳴唱頻度沒有顯著的相關性，唯有與五色鳥的鳴唱頻度有顯著的負相關。小蟋蟀雖然較具優勢性，然而其聲音頻率相對於其他蟬種與鳥種都較高，較沒有與鳥類的聲音頻率重疊，因此野外鳥類的鳴唱較不受小蟋蟀的影響。而五色鳥與小蟋蟀在鳴唱頻度上的負相關，可能並非是兩者有高度聲音上的競爭，而是因環境中最強勢的陽明山暮蟬對五色鳥以及小蟋蟀的影響程度不同所造成。相對於五色鳥，小蟋蟀的叫聲頻率與陽明山暮蟬的叫聲頻率重疊程度較高，導致小蟋蟀較無法與陽明山暮蟬同時鳴唱，然而五色鳥的叫聲頻率與陽明山暮蟬的叫聲頻率重疊程度較低，還是能夠與陽明山暮蟬同時鳴唱，因此才造成五色鳥與小蟋蟀之間有負向的關聯。


Hart 等(2015)分析哥斯大黎加雨林鳥類與蟬在早晨的鳴唱，發現在有蟬聲 (*Zammara smaragdina*) 的干擾下，聲音頻率與蟬有重疊的鳥類鳴聲顯著減少，只有聲音頻率比蟬高出許多的鳥類能夠不受干擾。Stanley 等(2016)在巴拿馬 Barro Colorado Island 的次生林地區對鳥類的在早晨鳴唱進行錄音，並在野外對當地常見鳥種進行蟬聲的回播，觀察鳴唱行為的變化。結果顯示，叫聲頻率與蟬聲重疊的鳥種會迴避與蟬同時鳴唱。本研究的結論也與這兩篇研究大致相同，鳥類叫聲



頻率是否與蟬聲音頻率重疊是影響兩者是否有聲音競爭的重要因素。但是，過往研究只以鳥類叫聲頻率是否與蟬聲頻率重疊作為頻率重疊的代表，這樣以定性的方式分析沒有考慮到有的鳥種叫聲並不是完全與蟬聲重疊。本研究以定量的方式，將頻率重疊程度作為蟬與鳥類叫聲頻率重疊程度的代表，應能更細緻的呈現蟬聲頻率對鳥類鳴唱的影響。最後，本研究也首次以室內播音實驗證實，當人為播放的蟬聲頻率愈接近鳥的叫聲頻率，對鳥鳴唱行為的干擾強度就愈高。

三、蟬的音量大小對鳥類鳴唱行為的影響


音量也是另一個影響鳥類鳴唱行為受蟬聲干擾程度的因子，也決定了蟬與鳥在聲音競爭上的優勢性。McLaughlin 及 Kunc (2013)的研究顯示出鳥類會迴避不利於自己傳播聲音的環境，以增進自身的聲音傳播效率。Lenske 及 La (2014)研究白喉帶鵯(*Zonotrichia albicollis*)在春雨蛙(*Pseudacris crucifer*)不同叫聲強度下，白喉帶鵯在聲音形質上的變化。發現在春雨蛙的叫聲強度提高時，白喉帶鵯的叫聲最低頻率會提高、整體頻寬變窄，以避開與春雨蛙低頻率叫聲的競爭。在室內播音實驗中，播放 85 分貝的陽明山暮蟬叫聲與 90 分貝的聲音對白頭翁鳴唱行為的影響是一致的，都會壓抑白頭翁的鳴唱行為，然而 80 分貝的陽明山暮蟬叫聲卻對白頭翁的鳴唱行為沒有造成影響。我認為是因為 80 分貝的叫聲已經比白頭翁的叫聲音量更低了，因此在聲音的競爭上，人為播放的陽明山暮蟬叫聲已不再有競爭力。在本研究的野外錄音實驗，陽明山暮蟬的音量明顯大過其他鳥種。若



陽明山暮蟬在錄音樣點的族群密度較低，樣點中的鳥類就有可能直接避開陽明山暮蟬的叫聲來源，以空間的區隔來降低聲音競爭。然而，過往的研究多不支持發聲的物種間有水平空間分化的現象(Schmidt et al. 2013, Jain et al. 2014)。在本研究的野外錄音實驗中，錄音樣點的陽明山暮蟬叫聲強度一直都高過鳥類叫聲，較不易看出蟬聲強度差異對鳥類鳴唱頻度的影響，但是在室內播音實驗確實證明蟬聲的音量是影響鳥類鳴唱行為的重要因子。

四、一日中早晨時刻與環境因子對鳥類鳴唱行為的影響

除了生物之間的互動，非生物因子也會影響鳥類的鳴唱。多數日行性鳥類為了增進聲音訊號的傳遞，在日出時刻有較頻繁的鳴唱行為(Henwood and Fabrick 1979; Brenowitz 1982; Brown and Handford 2003)。在野外錄音實驗，臺灣竹雞、山紅頭、小彎嘴畫眉、繡眼畫眉偏好在日出時刻鳴唱。此外，五色鳥與紅嘴黑鵯偏好在較低溫的時候鳴唱。這樣的結果也較支持過往鳥類喜歡在日出時較低溫的環境下進行鳴唱行為的看法，只有樹鵲與五色鳥有一點延遲，會在日出後半小時到一小時才開始有較高的鳴唱頻度。另外，在研究中發現許多鳥種之間的鳴唱頻度有正向關聯，這可能並非表示鳥種之間有明確的聲音互動，而可能是因為這幾種鳥類都偏好在日出時鳴唱所造成。但在研究中也可發現陽明山暮蟬同樣在日出時會有鳴唱的高峰，因此日出前後也是蟬聲壓抑鳥類鳴唱行為較為明顯的時刻。




雨量也是影響鳥類鳴唱行為的一個因素。過往文獻指出，下雨時不利於鳥類的覓食、飛行以及溫度的調整(Bryant 1978; Alatalo and Lundberg 1989; Martins and Wright 1993; Drent 1973; Tinbergen and Dietz 1994)。在發聲上，因降雨會導致環境噪音的增加，也同樣地不利於鳥類的發聲(Lengagne and Slater 2002)。在野外錄音實驗，只有五色鳥的鳴叫頻度與雨量呈顯著負相關。這可能是因為在取樣期間，只要有颱風或是強降雨時就會把錄音機收回，沒有強降雨時期的錄音資料所導致。

五、季節對鳥類鳴唱行為的影響

在鳥類的繁殖季中，繁殖季的前期主要是在鞏固領域、吸引配偶的時刻，同時是雄鳥的鳴唱高峰期；進入孵蛋與育雛期後，雄鳥的鳴唱行為就會明顯減少(Hanski and Laurila 1993; Gil et al. 1999; Amrhein et al. 2002)。野外錄音實驗顯示，小彎嘴畫眉、五色鳥以及紅嘴黑鵯偏好在五六月的時候鳴唱，這可能就與他們自身的繁殖狀態有關，其中紅嘴黑鵯在六月初之後就不再鳴唱，剛好與陽明山暮蟬出現的時間幾乎完全錯開。因蟬聲每年都會持續對鳥類產生強大干擾，是一個長期的聲音競爭壓力。在本研究中，進入六月後陽明山暮蟬的叫聲頻度明顯提高，到了七月以後達到高峰，而所有鳥類的鳴唱頻度在此時都明顯下降了。以長期適應的角度，鳥類或許將需要大量鳴唱的繁殖階段，即鞏固領域及吸引配偶時期與蟬的繁殖季節分隔以避開蟬聲的干擾。


六、應用與延伸



在臺灣北部低海拔地區的鳥類，鳴唱行為受到蟬極大的影響。在臺灣的低海拔森林，只要一進入夏季就幾乎沒有無蟬聲的環境。因此在應用上，當研究者在進行鳥類調查的時候，必須要考量到蟬聲的干擾會影響鳥類的鳴唱行為。當鳥類因蟬聲停止鳴唱時，調查者就不易偵測到鳥類的存在。因此未來若有研究者要進行低海拔鳥類的調查時，應盡可能避開在蟬開始大量出現、發聲的季節。以臺灣北部低海拔來說，可能六月以後就不再適合進行調查。

過往許多文獻皆指出，鳥類會隨環境聲音強度的短期變化而做出自身聲音形質的調整(Slabbekoorn and Ripmeester 2008; Gough et al. 2014; Oden et al. 2015; Potvin and MacDougall-Shackleton 2015)。陽明山暮蟬的鳴唱在研究樣區應是每一年都會固定出現，因此陽明山暮蟬的叫聲對當地鳥類而言可能是長期的壓力來源。本研究並未發現鳥類有因陽明山暮蟬的鳴唱而改變聲音形質的狀況。可能是因為陽明山暮蟬的叫聲頻率寬廣，鳥類沒有辦法藉由調整頻率避開暮蟬的叫聲。但未來在研究同種鳥類在不同地區的聲音形質差異時，各地區優勢蟬種聲音特徵的差異或許也可能是影響鳥類聲音形質差異的影響因子，有待後人探討。

此外，一個物種的鳴叫常常是非連續的，有幾秒乃至幾分鐘的時間間隔，因此較小的時間尺度下，數個物種有可能在同一時段鳴叫，但實際上沒有聲音的重疊或重疊情形不多。Jain 等(2014)研究南印度的蟋蟀及螽斯黃昏時的鳴唱，確實發現在同時段鳴唱的昆蟲，會避開彼此的叫聲，在間隔的時間來鳴唱。以本研



究來說，臺灣騷蟬與臺灣熊蟬不像陽明山暮蟬與小蟋蟀是持續鳴唱，在每次鳴唱之間會有明顯的時間間隔，這樣的空白時間可能使得鳥類能夠在其中發聲的機會。在錄音樣點的優勢蟬種，陽明山暮蟬與小蟋蟀都是鳴唱較持續的種類，因此本研究以 5 分鐘為一個分析單位並無問題。但如果一個地區的優勢蟬種在每次鳴唱之間有明顯的時間分隔，就應該要考量每次叫聲間隔的時間長度，視情況可能需以更短的時間單位做分析，才能將鳥類與蟬在發聲時間上分化更適當地顯現出來，這是未來的相關研究需要注意的。

參考文獻



- 林曜松。1987。陽明山國家公園設置大屯山區陽明山區賞鳥步道可行性研究計畫。內政部營建署陽明山國家公園管理處。臺北。臺灣。
- 何玉蟬。1980。陽明山國家公園五色鳥之生物學研究。國立臺灣大學動物學研究所碩士論文。
- 邱文良。2009。陽明山國家公園全區植物多樣性調查-百拉卡公路以南，陽金公路以西地區。內政部營建署陽明山國家公園管理處。臺北。臺灣。
- 洪貫捷。2008。都市噪音對於白頭翁(*Pycnonotus sinensis*)鳴聲的影響。國立臺灣師範大學生命科學系研究所碩士論文。
- 施佩君。2011。山紅頭(*Stachyris ruficeps*)鳴唱聲的海拔梯度變異。國立東華大學自然資源與環境學系研究所碩士論文。
- 陳韋民。2010。森林鳥類群聚的晨鳴時序與鳴唱模式。國立成功大學生命科學系研究所碩士論文。
- 陳振祥。2006。陽明山國家公園蟬科鳴聲之研究。內政部營建署陽明山國家公園管理處。臺北。臺灣。
- 陳振祥。2007。台灣賞蟬圖鑑。天下文化出版社。
- 許嘉麟。2009。台中市都會地區白頭翁歌曲的方言與音頻適應。國立中興大學生命科學系研究所碩士論文。

劉小如、丁宗蘇、方偉宏、林文宏、蔡牧起、顏重威。2012。臺灣鳥類誌(中冊)。

第二版。行政院農業委員會林務局。

鐘裕。1992。臺灣竹雞之生態學研究。國立臺灣師範大學生物學研究所碩士論文。

謝寶森。2011。建立一蟬聲監測系統探研全球暖化及環境噪音的生態衝擊。行政

院國家科學委員會專題研究計畫。(編號：NSC 98-2313-B-037-002-MY3)。

謝寶森。2014。從聲音訊息的改變探討鳩類在都市生態系的噪音適應。行政院國

家科學委員會專題研究計畫。(編號：MOST103-2313-B037-002)。

Alatalo R.V., Lundberg A. (1989). Clutch size of the pied flycatcher *Ficedula*

hypoleuca- an experiment. *Ornis Fennica* 66.1: 15-23.

Amrhein V., Korner P., Naguib M. (2002). Nocturnal and diurnal singing activity in

the nightingale: correlations with mating status and breeding cycle. *Animal*

Behaviour 64(6): 939-944.

Bailey W.J., Morris G.K. (1986). Confusion of phonotaxis by masking sounds in the

bushcricket *Conocephalus brevipennis* (Tettigoniidae: Conocephalinae).

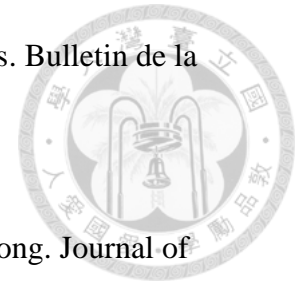
Ethology 73(1) :19-28.

Bennet-Clark H.C. (1998). Size and scale effects as constraints in insect sound

communication. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological*

Sciences, 353(1367) :407-419.

Boulard M. (1977). La cymbalisation coassante de certaines Cigales. *Bulletin de la Société Zoologique de France* supplement 2: 217-220.



Brenowitz E.A. (1982). The active space of red-winged blackbird song. *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology* 147.4: 511-522.

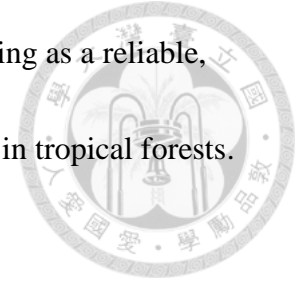
Bryant D.M. (1978). Environmental influences on growth and survival of nestling House Martins *Delichon urbica*. *Ibis* 120.3: 271-283.

Brown T.J., Handford P. (2003). Why birds sing at dawn: the role of consistent song transmission. *Ibis* 145.1: 120-129.

Connell J.H. (1961). The influence of interspecific competition and other factors on the distribution of the barnacle *Chthamalus stellatus*. *Ecology* 42:710–723.

Diwakar S., Balakrishnan R. (2007a). The assemblage of acoustically communicating crickets of a tropical evergreen forest in southern India: call diversity and diel calling patterns. *Bioacoustics* 16: 113–135.

Diwakar S., Balakrishnan R. (2007b). Vertical stratification in an acoustically communicating ensiferan assemblage of a tropical evergreen forest in southern India. *Journal of Tropical Ecology* 23: 479–486.



Diwakar S., Jain M., Balakrishnan R. (2007) Psychoacoustic sampling as a reliable, Non-invasive method to monitor orthopteran species diversity in tropical forests. *Biodiversity and Conservation* 16: 4081–4093.

Drent R. (1973). The natural history of incubation. In Farner, D.S. (ed.) *The Breeding Biology of Birds*: 262–323. National Academy of Science, Washington.

Elliott C.J.H., Koch U.T. (1985). The clockwork cricket, *Naturwissenschaften* 72: 150–152.

Gil D., Graves J. A., Slater, P. J. (1999). Seasonal patterns of singing in the willow warbler: evidence against the fertility announcement hypothesis. *Animal Behaviour* 58(5): 995-1000.

Gogala M., Riede K. (1995). Time sharing of song activity by cicadas in Temengor Forest Reserve, Hulu Perak, and Sabah, Malaysia. *Malayan Nature Journal* 48: 297–305.

Gough D. C., Mennill D. J., Nol E. (2014). Singing seaside: Pacific Wrens (*Troglodytes pacificus*) change their songs in the presence of natural and anthropogenic noise. *Wilson Journal of Ornithology* 126(2): 269-278.

Grant P.C.B. (2014). Acoustic profiling of the landscape. PhD thesis, Stellenbosch University, South Africa.

Hanski I. K., Laurila A. (1993). Variation in song rate during the breeding cycle of the chaffinch, *Fringilla coelebs*. *Ethology* 93.2: 161-169.



Hart P. J., Hall R., Ray W., Beck A., Zook J. (2015). Cicadas impact bird communication in a noisy tropical rainforest. *Behavioral Ecology* 26(3): 839-842.

Henwood K., Fabrick A. (1979). A quantitative analysis of the dawn chorus: temporal selection for communicatory optimization. *American Naturalist* 114.2: 260-274.

Jain M., Diwakar S., Bahuleyan J., Deb R., Balakrishnan R. (2014). A rain forest dusk chorus: cacophony or sounds of silence?. *Evolutionary Ecology* 28: 1–22.

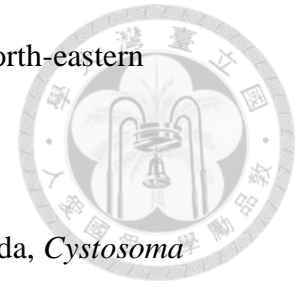
Krause B. (1993). The niche hypothesis. *The Soundscape Newsletter* 6: 6–10.

Krause, B. (2012). *The great animal orchestra: finding the origins of music in the world's wild places*. Little, Brown.

Lengagne T., Slater P.JB. (2002). The effects of rain on acoustic communication: tawny owls have good reason for calling less in wet weather. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 269.1505: 2121-2125.

Lenske A. K., La V. T. (2014). White-throated sparrows alter songs differentially in response to chorusing anurans and other background noise. *Behavioural processes* 105: 28-35.

MacArthur R.H. (1958). Population ecology of some warblers of north-eastern
coniferous forests. *Ecology* 39: 599–619.



MacNally R., Young D. (1981). Song energetics of the bladder cicada, *Cystosoma*
saundersii. *Journal of Experimental Biology* 90: 185-196.

Martins T.L.F., Wright J. (1993). Patterns of food allocation between parent and
young under differing weather conditions in the Common Swift (*Apus apus*).
Avocetta 17: 147-156.

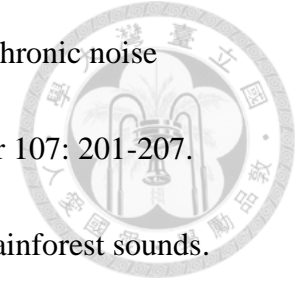
McLaughlin K.E. , Kunc H.P. (2013). Experimentally increased noise levels
change spatial and singing behavior. *Biology Letters* 9.1: 20120771.

Nischk F., Otte D. (2000). Bioacoustics, ecology and systematics of Ecuadorian
rainforest crickets (Orthoptera: gryllidae: Phalangopsinae), with a description of
four new genera and ten new species. *Journal of Orthoptera Research* 9(229–2):
54.

Pianka E.R. (1973). The structure of lizard communities. *Annual Review of Ecology
and Systematics* 4: 53–74.

Pijanowski B.C., Gage S.H., Dumyahn S.L., Krause B.L. (2011). What is soundscape
ecology? An introduction and overview of an emerging new science. *Landscape
Ecology* 26: 1213–1232.

Potvin D. A., MacDougall-Shackleton S. A. (2015). Experimental chronic noise exposure affects adult song in zebra finches, *Animal behaviour* 107: 201-207.



Riede K. (1993). Monitoring biodiversity: analysis of Amazonian rainforest sounds. *Ambio* 22: 546–548.

Römer H. (2013). Masking by noise in acoustic insects: problems and solutions. In: Brumm H. (ed) *Animal communication and noise*. vol 2. Springer, Berlin, Heidelberg, p 33–63.

Schmidt A.K.D., Römer H., Riede K. (2013). Spectral niche segregation and community organization in a tropical cricket assemblage. *Behavioral Ecology* 24: 470–480.

Schoener T.W. (1968). The *Anolis* lizards of Bimini: resource partitioning in a complex fauna. *Ecology* 49: 704–726.

Schoener T.W. (1974). Resource partitioning in ecological communities. *Science* 185: 27–39.

Shieh B. S. (2004). Song structure and microgeographic variation in a population of the greycheeked fulvetta (*Alcippe morrisonia*) at Shoushan Nature Park, southern Taiwan. *Zoological Studies*, 43(1): 132-141.

Shieh B. S., Liang S. H. (2007). Geographic variations and temporal changes in songs of the Rufous-capped Babbler (*Stachyris ruficeps praecognita*). *Ornis Fennica* 84(4): 163.



Shieh B. S., Liang S. H., Chen C. C., Loa H. H., Liao C. Y. (2012). Acoustic adaptations to anthropogenic noise in the cicada *Cryptotympana takasagona* Kato (Hemiptera: Cicadidae). *ACTA Ethologica* 15(1): 33-38.

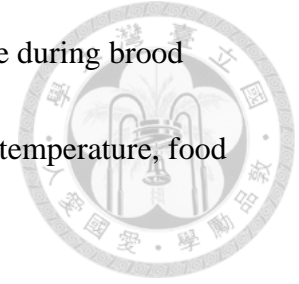
Shieh B. S., Liang S. H., Chiu Y. W. (2015). Acoustic and temporal partitioning of cicada assemblages in city and mountain environments. *PloS one*, 10(1): e0116794.

Shieh B. S., Liang S. H., Liao C. Y., Chiu Y. W. (2017). Song frequency correlates with latitude and individual body size in the cicada *Mogannia formosana* Matsumura (Hemiptera: Cicadidae). *ACTA Ethologica* 20(2): 147-155.

Stanley C.Q., Walter M.H., Venkatraman M.X., Wilkinson G. S. (2016). Insect noise avoidance in the dawn chorus of Neotropical birds. *Animal Behaviour* 112:255–265.

Sueur J. (2002). Cicada acoustic communication: potential sound partitioning in a multispecies community from Mexico (Hemiptera: cicadomorpha: Cicadidae). *Biological Journal of the Linnean Society* 75:379–394.

Tinbergen J.M. and Dietz M.W. (1994). Parental energy expenditure during brood rearing in the great tit (*Parus major*) in relation to body mass, temperature, food availability and clutch size, *Functional Ecology*, 563-572.

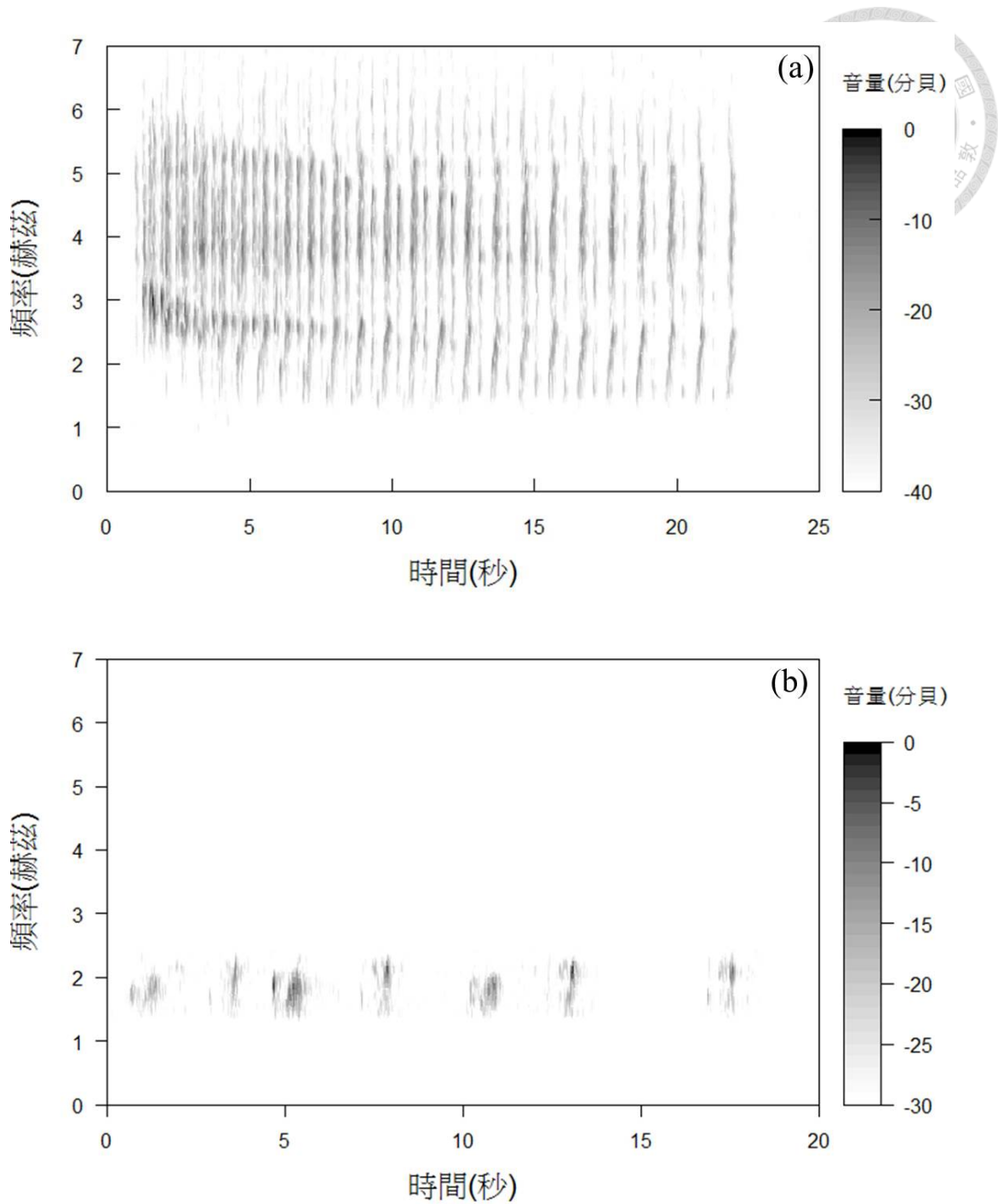


van Staaden M.J., Römer H. (1997). Sexual signaling in bladder grasshoppers: tactical design for maximizing calling range. *Journal of Experimental Biology* 200:2597–2608.

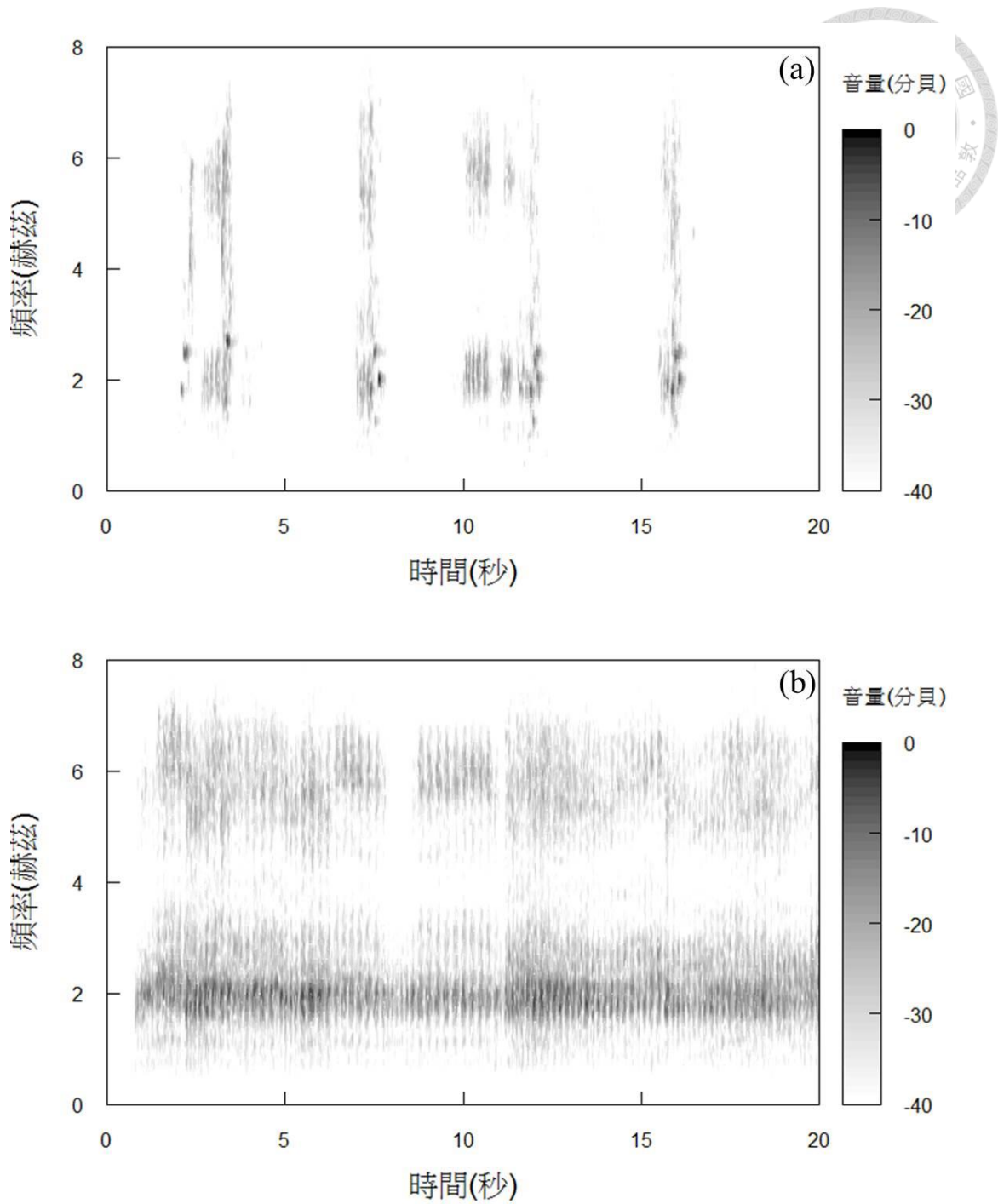


圖一 SM2 錄音機在錄音樣點的狀況。錄音環境為低海拔闊葉林，海拔高度為 830

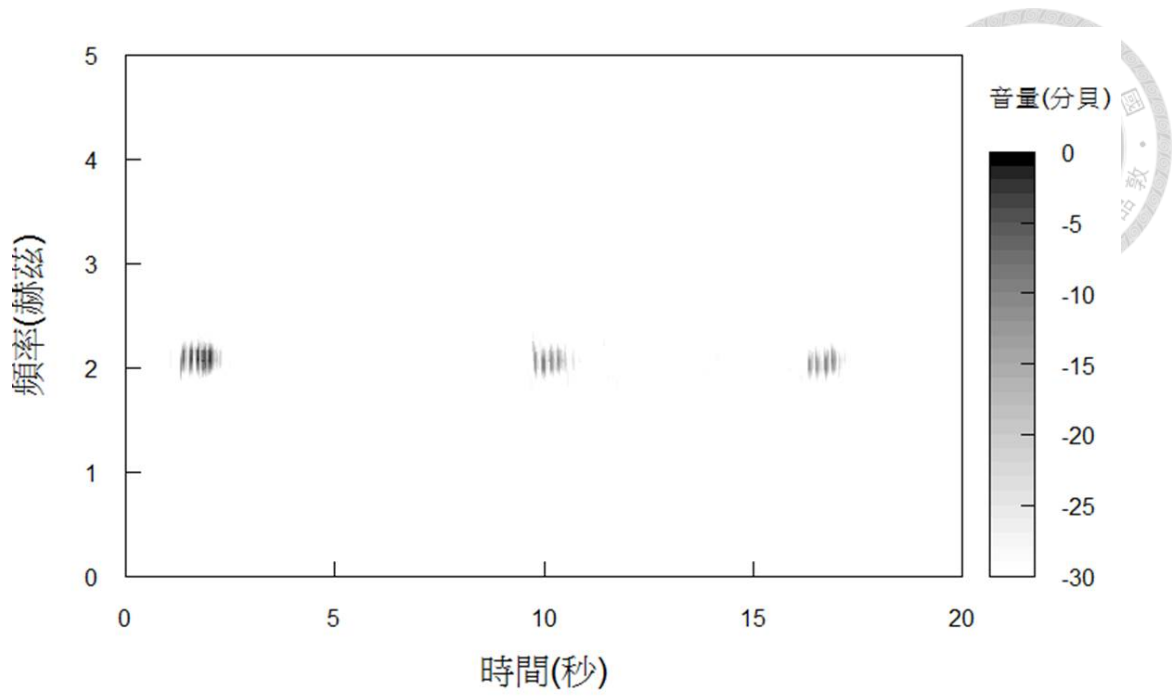
公尺，錄音機離地約 130 公分。



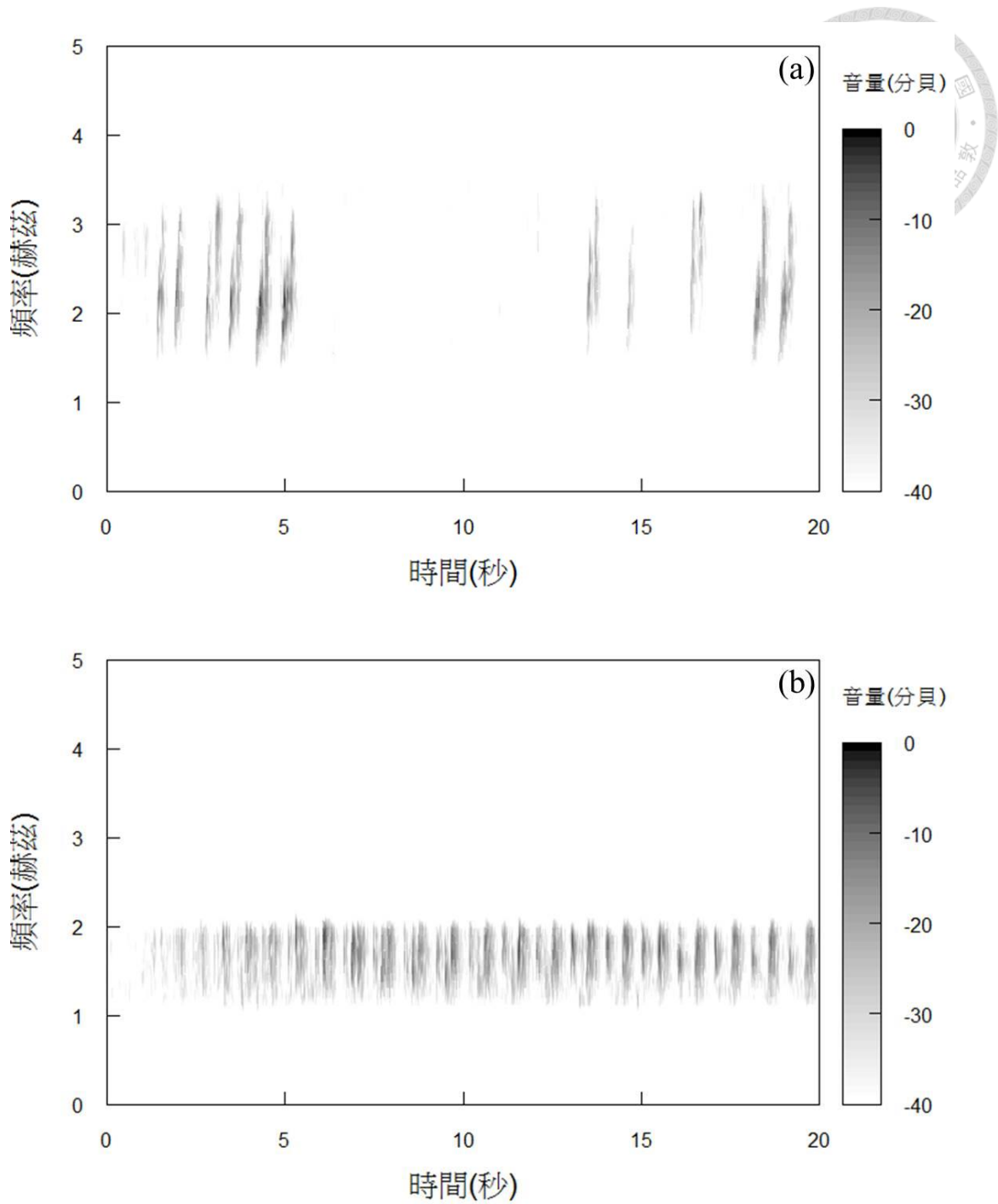
圖二 臺灣竹雞聲音特徵。鳴唱聲(a)為響亮的「雞狗乖—雞狗乖—」，頻率約在 1000 至 7000 赫茲之間。鳴叫聲(b)則是「狗—狗—狗—」的單音，頻率在 1000 至 2500 赫茲。



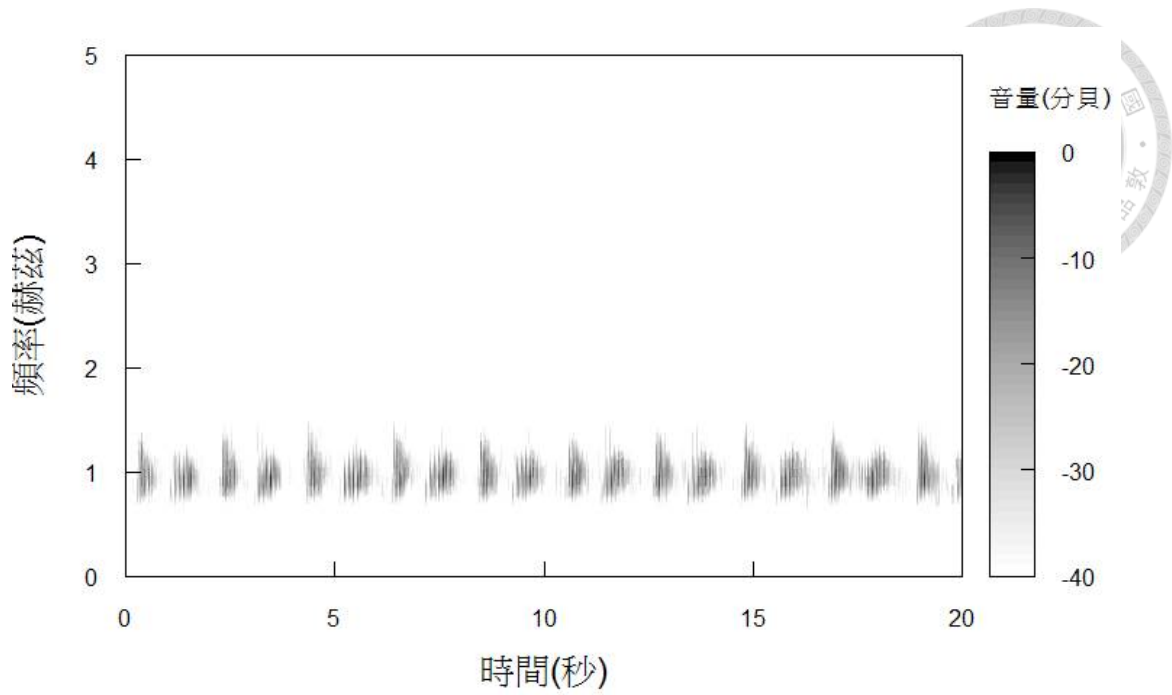
圖三 樹鵲聲音特徵。鳴唱聲(a)為響亮帶有點金屬音的「啞咕哩一」，頻率在 1000 至 8000 赫茲之間。鳴叫聲(b)則是較為粗啞的「嘎嘎嘎」，常常伴隨類似鳴唱聲的高音一起出現，頻率在 1000 至 8000 之間。



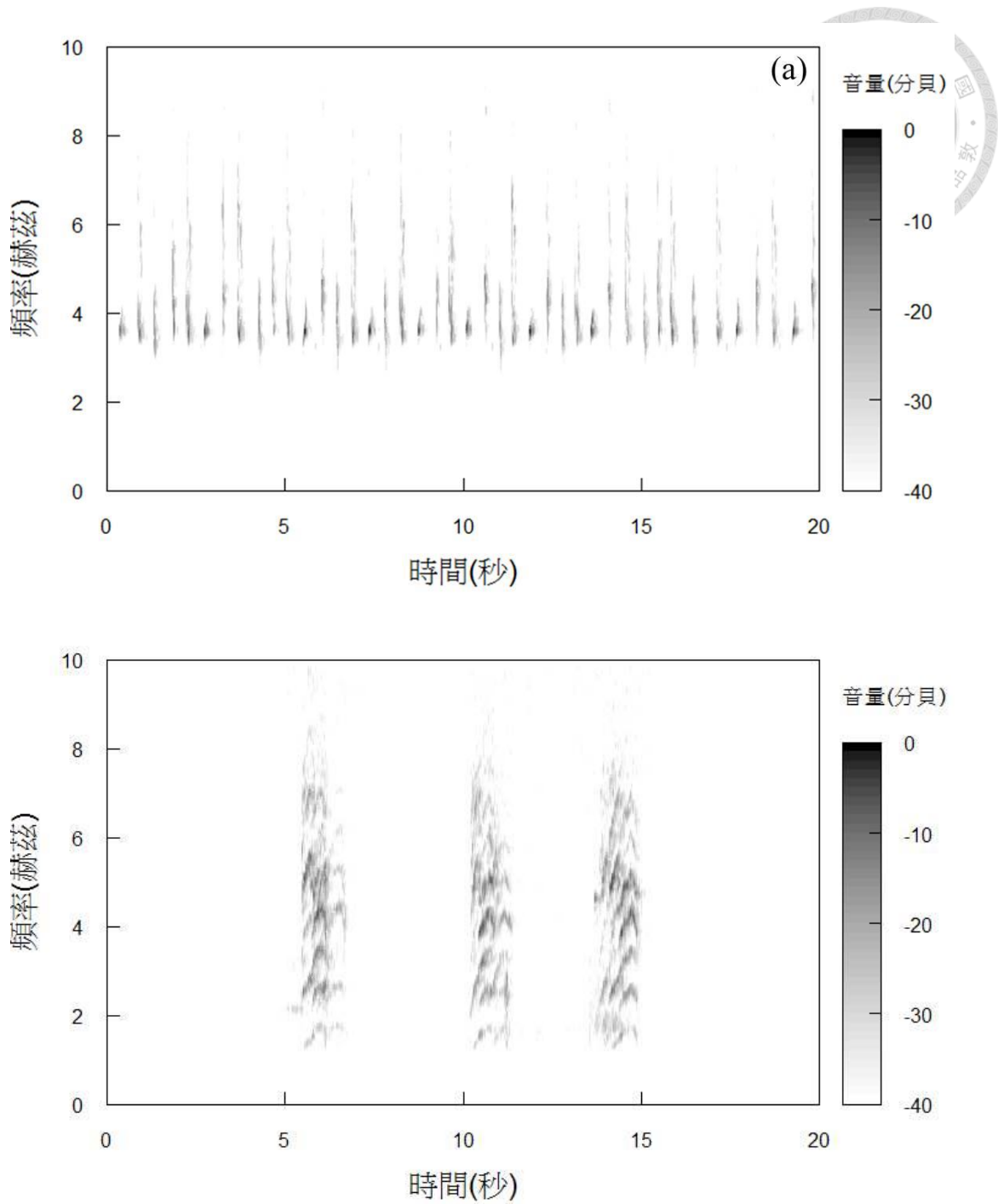
圖四 山紅頭聲音特徵。鳴唱聲為連續清脆的「嘟嘟嘟嘟嘟嘟」，頻率較窄，在 2000 赫茲上下，一次約 6 至 7 次，每次間隔約 5 至 10 秒。



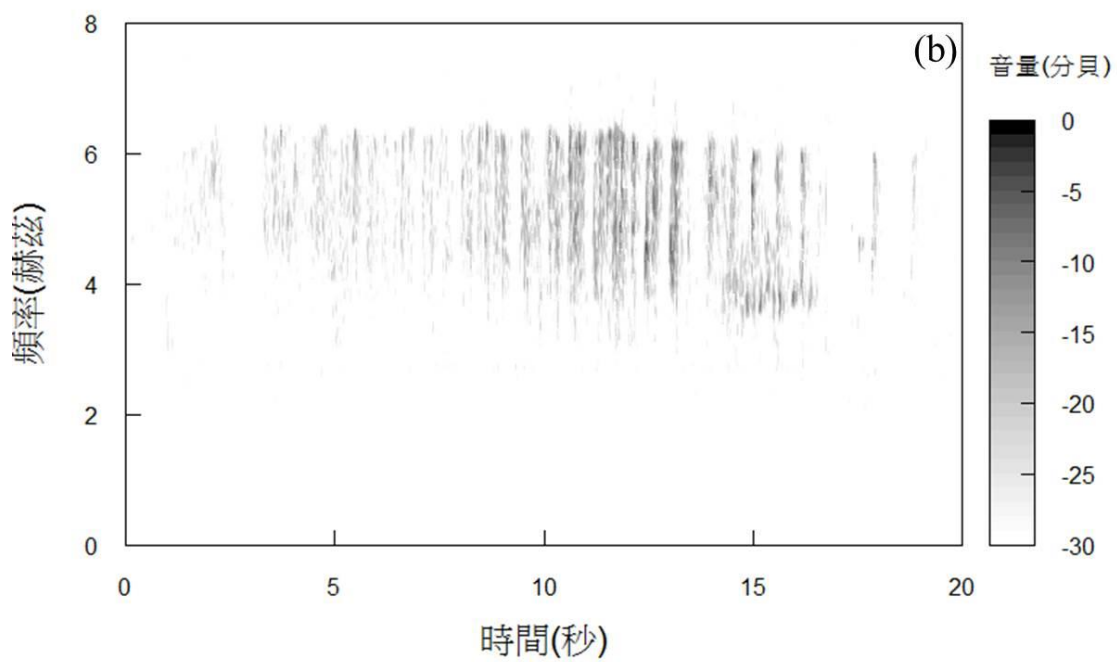
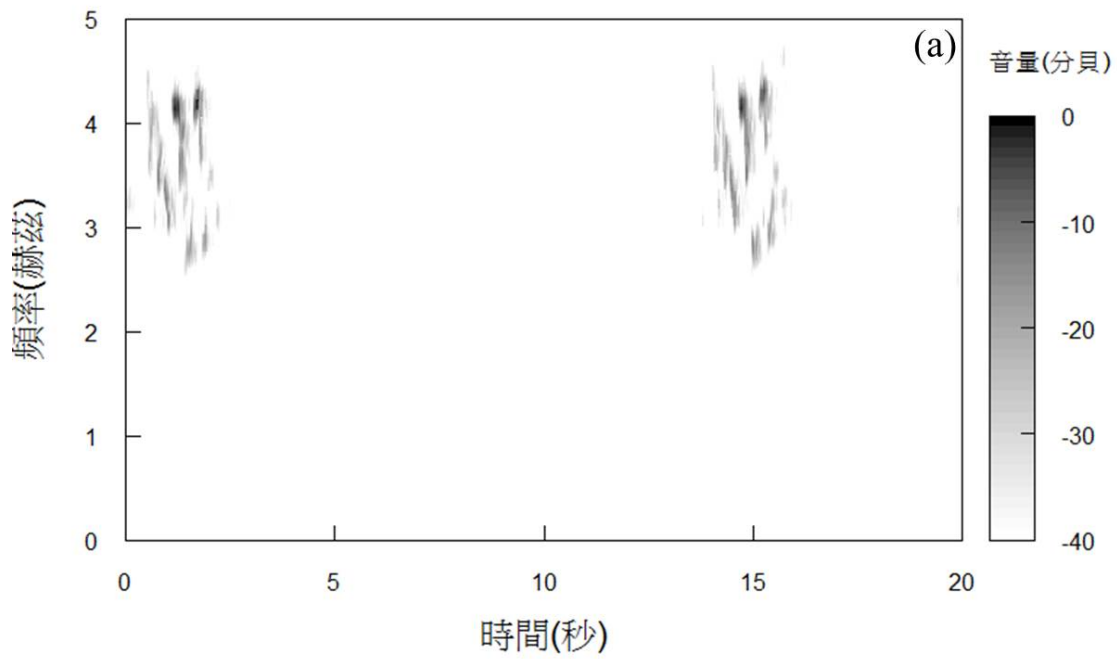
圖五 小彎嘴畫眉聲音特徵。(a)為雄鳥「歸—歸—歸—」的鳴唱聲，頻率在 1000 至 3000 赫茲之間，有時會有母鳥「嘎歸—」的組合形成二重唱(duet)。(b)為另一常見鳴唱聲，連續的「啾啾啾啾」單音，頻率在 1000 至 2000 赫茲之間。



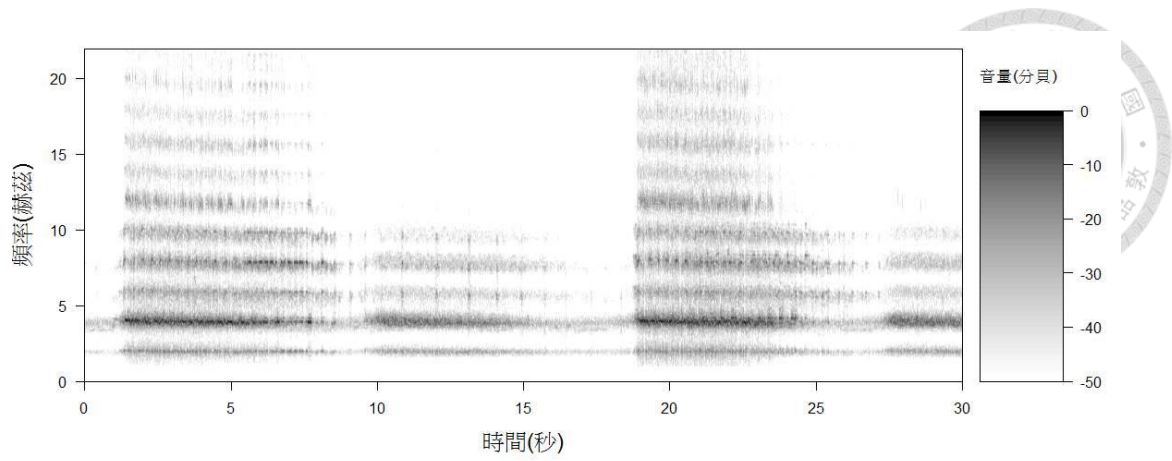
圖六 五色鳥聲音特徵。五色鳥的鳴唱聲為四至五次具有音調高低的「咕咕咕咕」，通常會是音調連降後緊接著連升的組合，頻率較窄，在 1000 赫茲上下。



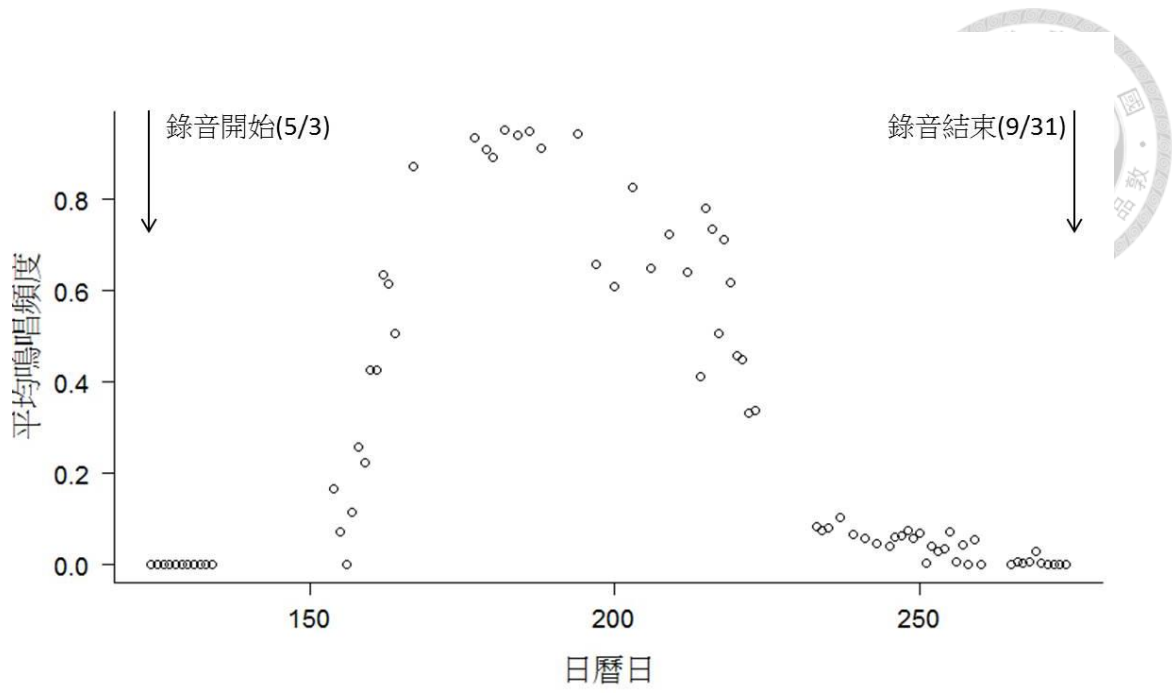
圖七 紅嘴黑鵝聲音特徵。鳴唱聲(a)是由「啾噠啾」三個單音所組成，有時也有單音出現的狀況，頻率在 3000 到 8000 赫茲之間。鳴叫聲(b)是帶有濃厚鼻音的「咪—」音調先升後降，頻率較寬，在 1000 到 10000 赫茲之間。



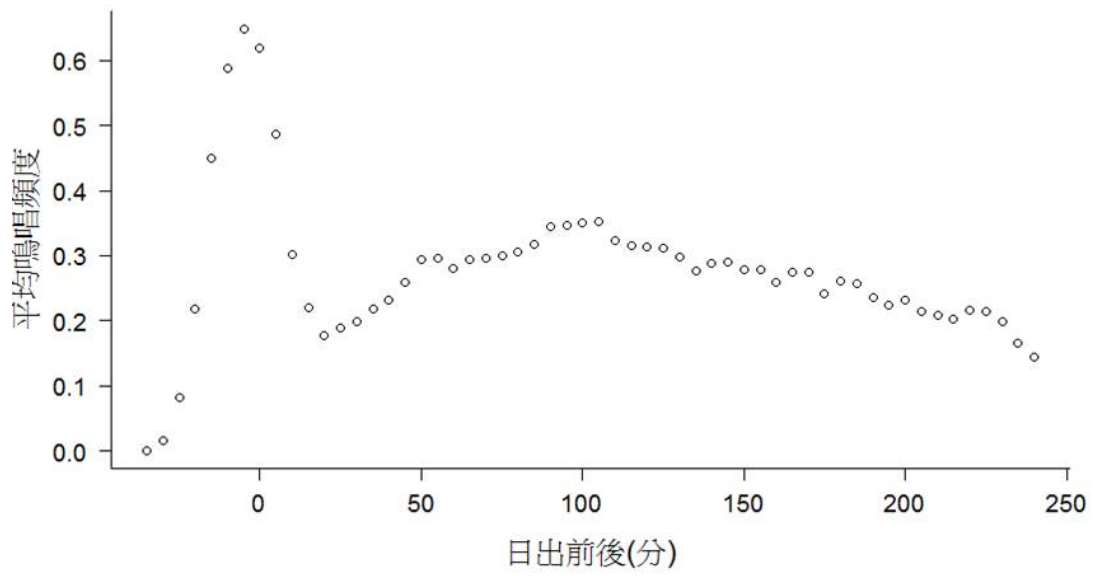
圖八 繡眼畫眉聲音特徵。鳴唱聲(a)為婉轉的「幾啾幾啾幾 噁—」，叫聲最後有濃厚的鼻音，頻率在 2000 到 5000 之間。鳴叫聲(b)為吵雜且連續的「幾幾幾幾」，頻率在 3000 到 7000 之間。



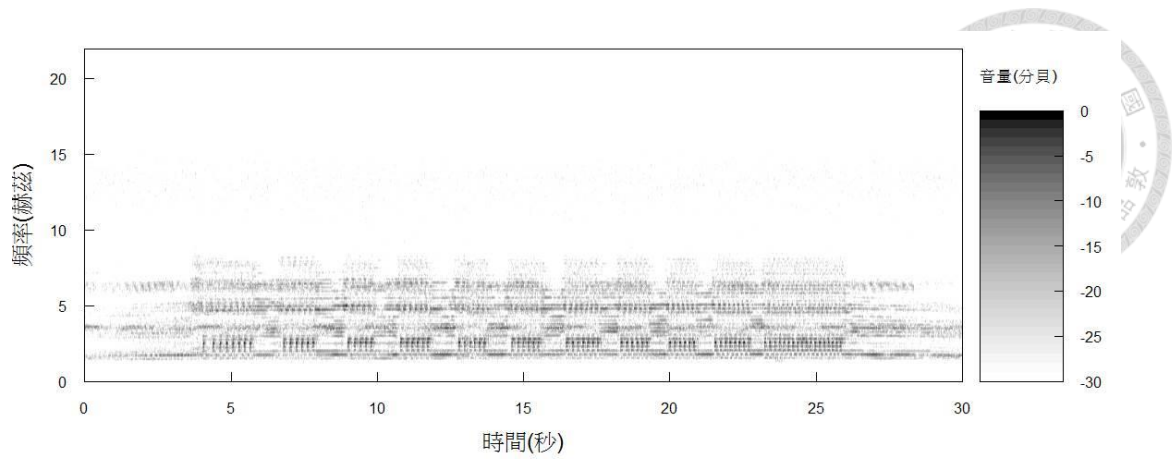
圖九 陽明山暮蟬聲音特徵。叫聲頻率極廣，在 2000 赫茲以上，超過 22000 赫茲，一次鳴唱約 10 至 15 秒。



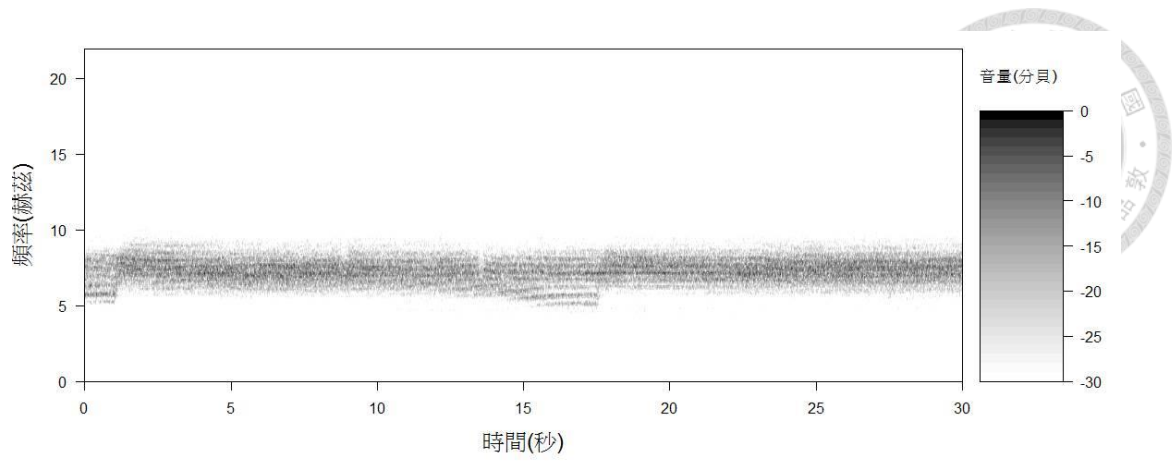
圖十 陽明山暮蟬在各取樣日期的平均鳴唱頻度。



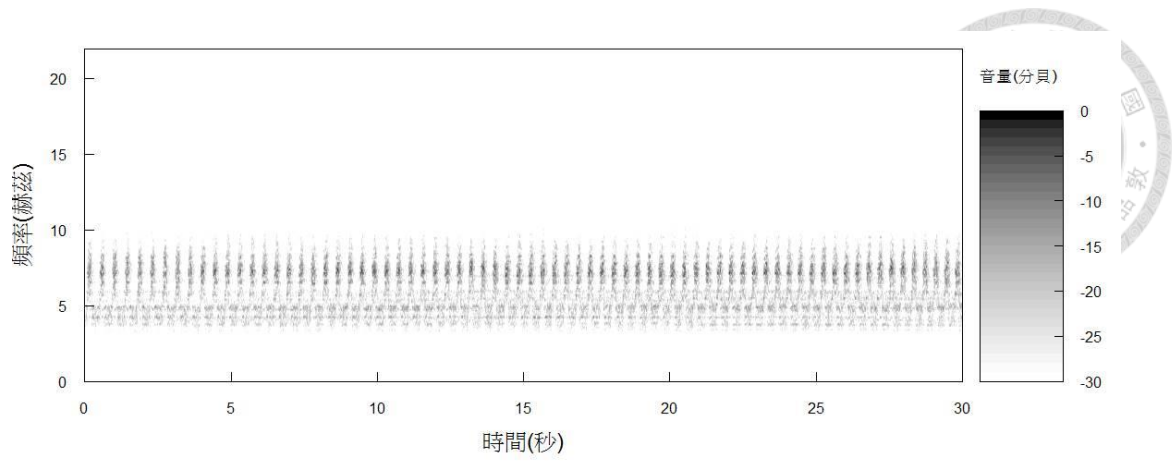
圖十一 陽明山暮蟬在日出前後的平均鳴唱頻度。



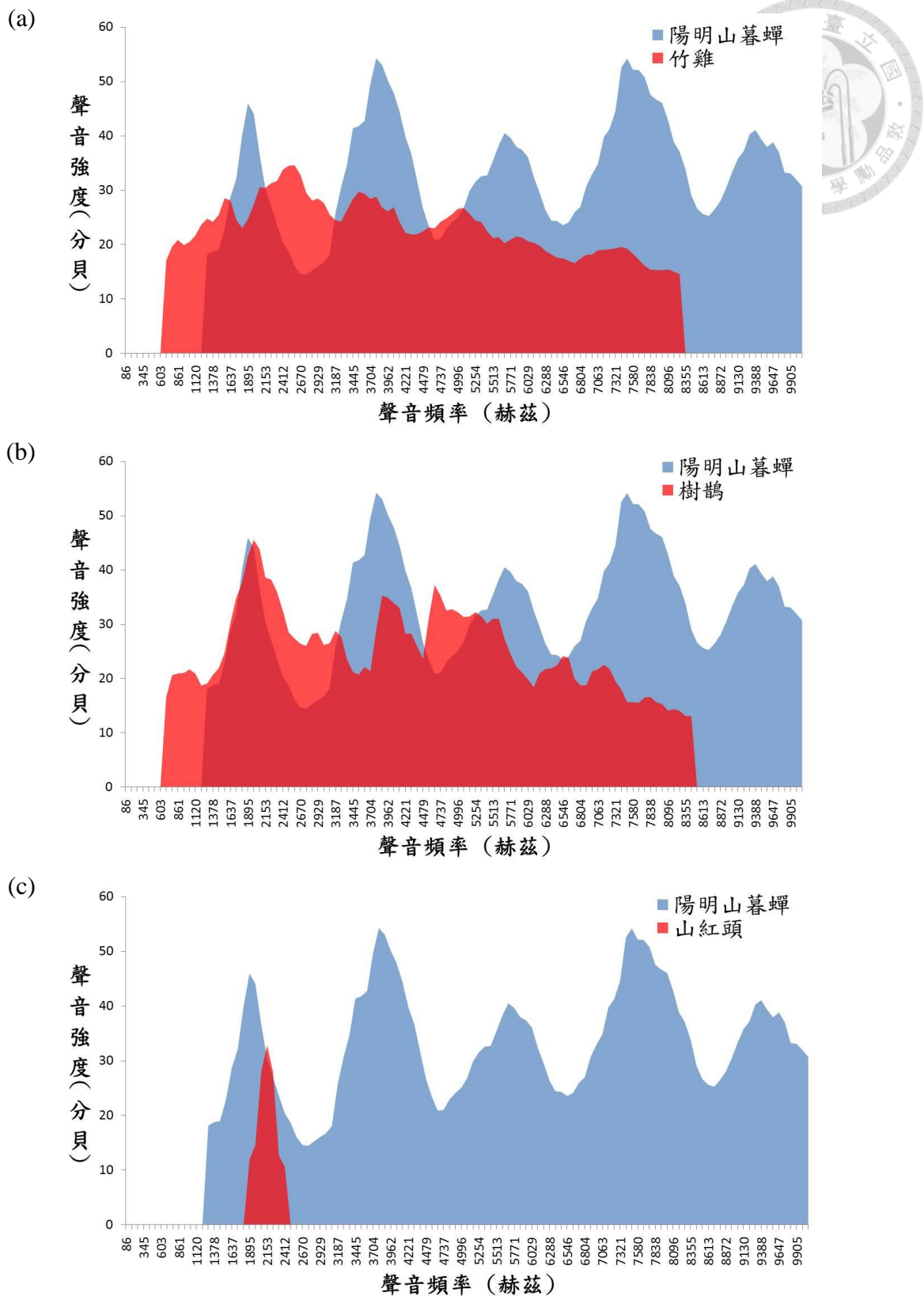
圖十二 臺灣騷蟬聲音特徵。聲音頻率在 1000 到 8000 赫茲之間，鳴唱的特徵是 5 到 10 個快速連續單音形成一個組合，約 10 個組合形成一次鳴唱，每次鳴唱之間有 10 至 15 秒左右的間隔。



圖十三 小蟋蟀聲音特徵。聲音頻率在 5000 到 10000 赫茲之間，叫聲相當持續，在每次叫聲的最末會有些微頻率的下降。

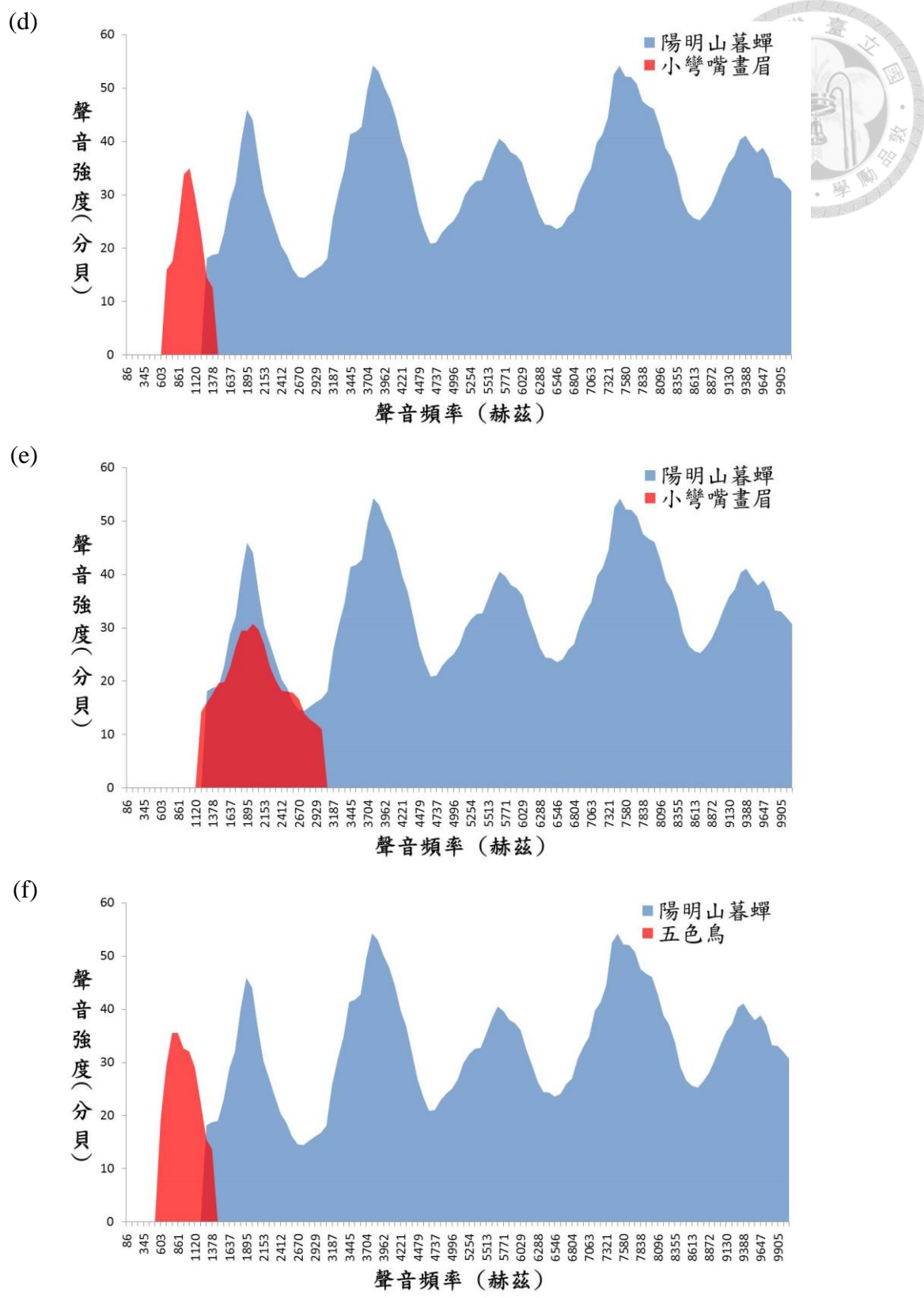


圖十四 臺灣熊蟬聲音特徵。聲音頻率在 4000 到 10000 赫茲之間，每秒約 1 至 2 次單音，每次鳴叫持續約 1 分鐘，每次鳴唱中間約有 20 秒左右的間隔。

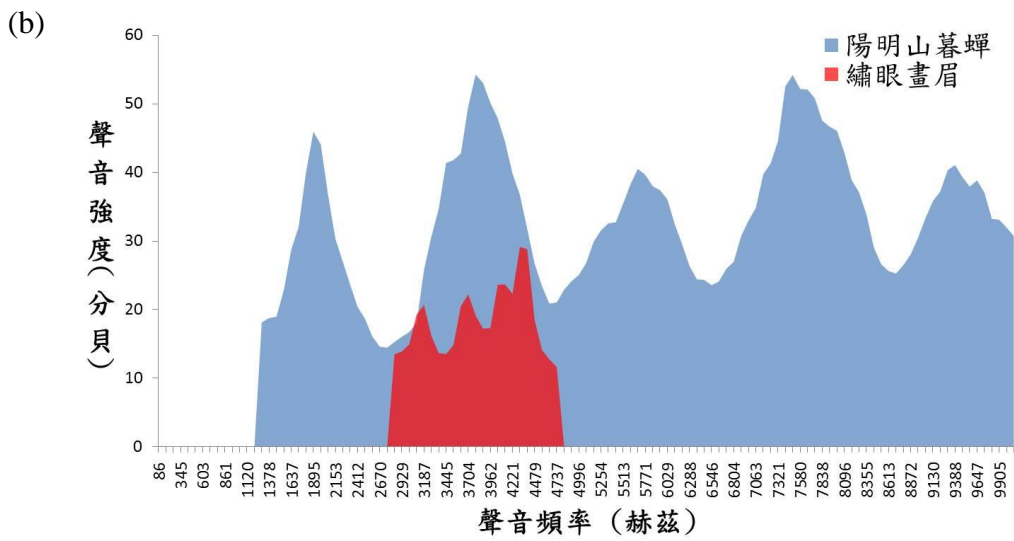
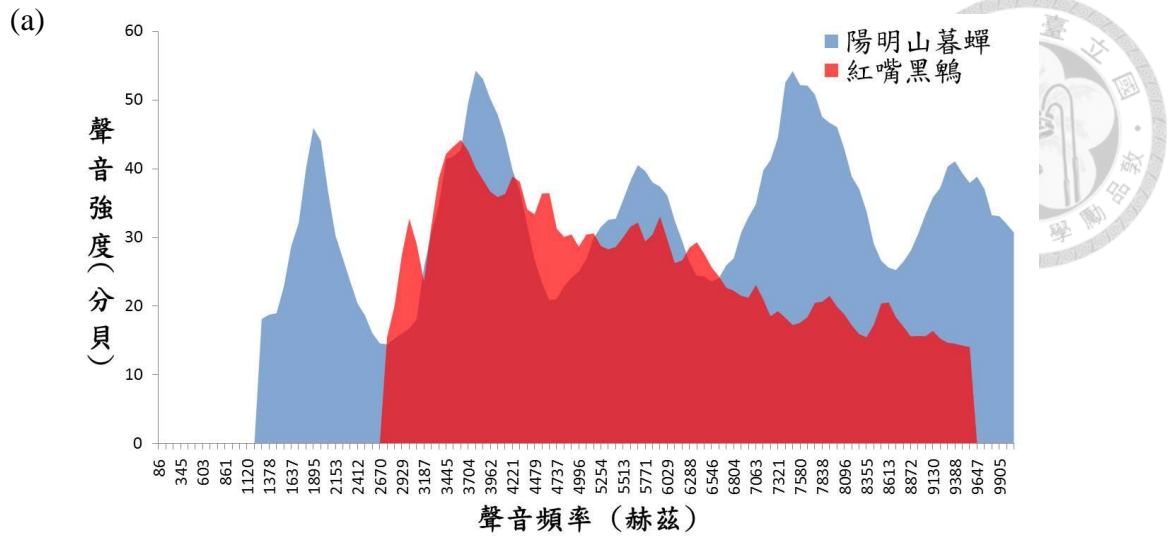


圖十五 頻率響應圖。圖中藍色區域為陽明山暮蟬的叫聲，紅色區域為鳥類的鳴

唱聲。(a)為竹雞(b)為樹鵲(c)為山紅頭。

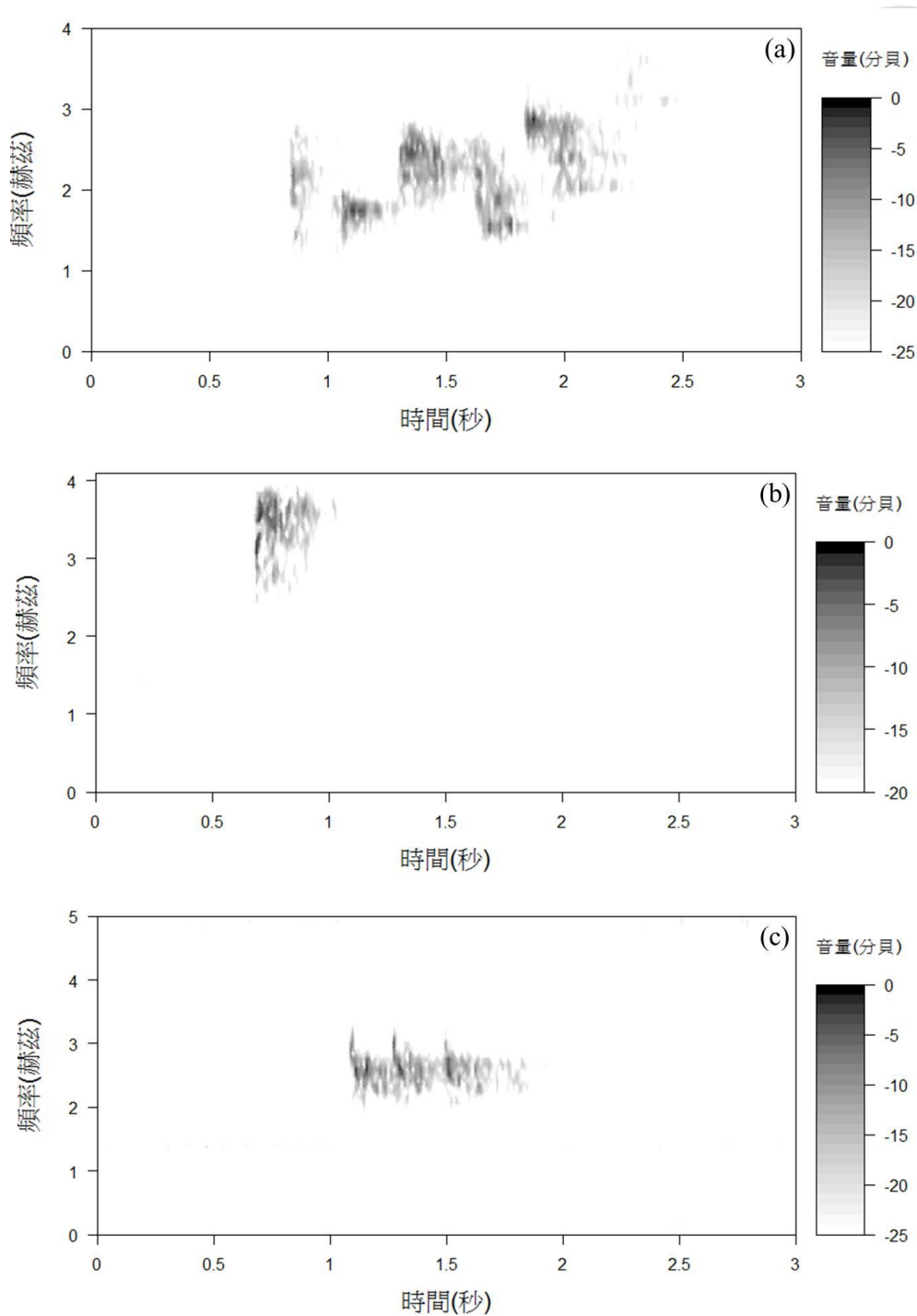


圖十五續 頻率響應圖。圖中藍色區域為陽明山暮蟬的叫聲，紅色區域為鳥的鳴唱聲。(d)為小彎嘴畫眉第一種鳴唱，(e)為小彎嘴畫眉第二種鳴唱，(f)為五色鳥。



圖十五續 頻率響應圖。圖中藍色區域為陽明山暮蟬的叫聲，紅色區域為鳥的鳴

唱聲。(g)為紅嘴黑鶇，(h)為繡眼畫眉。

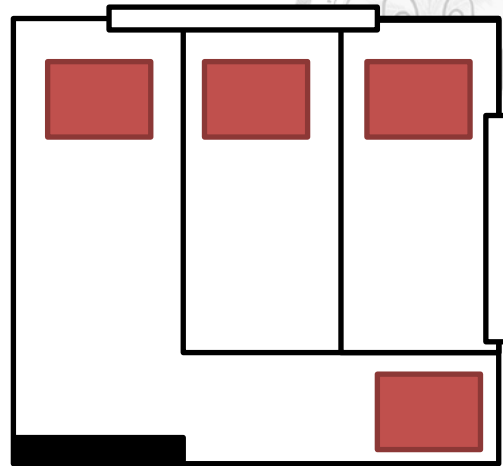


圖十六 白頭翁聲音特徵。(a)鳴唱聲較具金屬音，有點類似「巧克力」，變化多，頻率在 1000 到 4000 赫茲之間。(b)鳴叫聲是較為圓潤的單音，頻率在 2000 到 4000 赫茲之間。(c)三連音的「啾啾啾」鳴叫聲頻率在 2000 到 3000 赫茲之間。

(a)



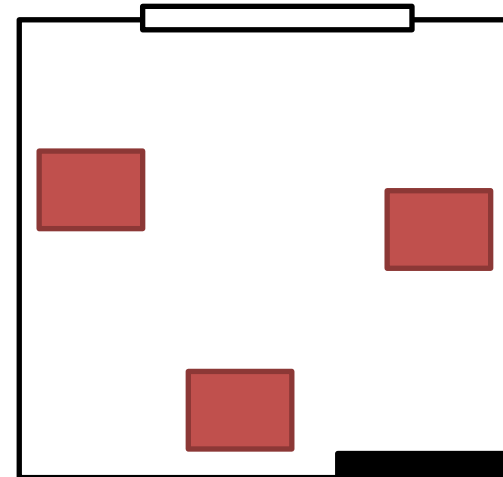
(b)



(c)



(d)

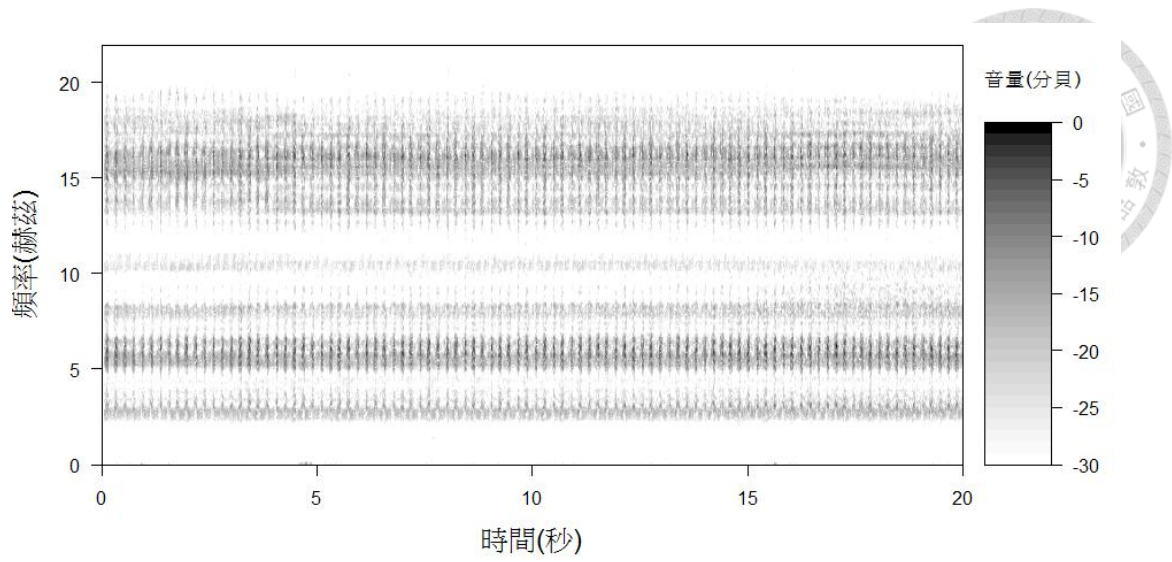


圖十七 特有生物保育中心，白頭翁的兩間實驗房。a 為實驗房 A，b 為鳥房(實驗房 B)，c 為實驗房 A 配置，d 為實驗房 B 配置。實驗房 A 木板隔間約為 250*200 公分，可見 4 個白頭翁鳥籠放置的區域。c 與 d 中紅色方塊為放置白頭翁的區域，黑色方塊為出入口，白色方塊為窗戶。

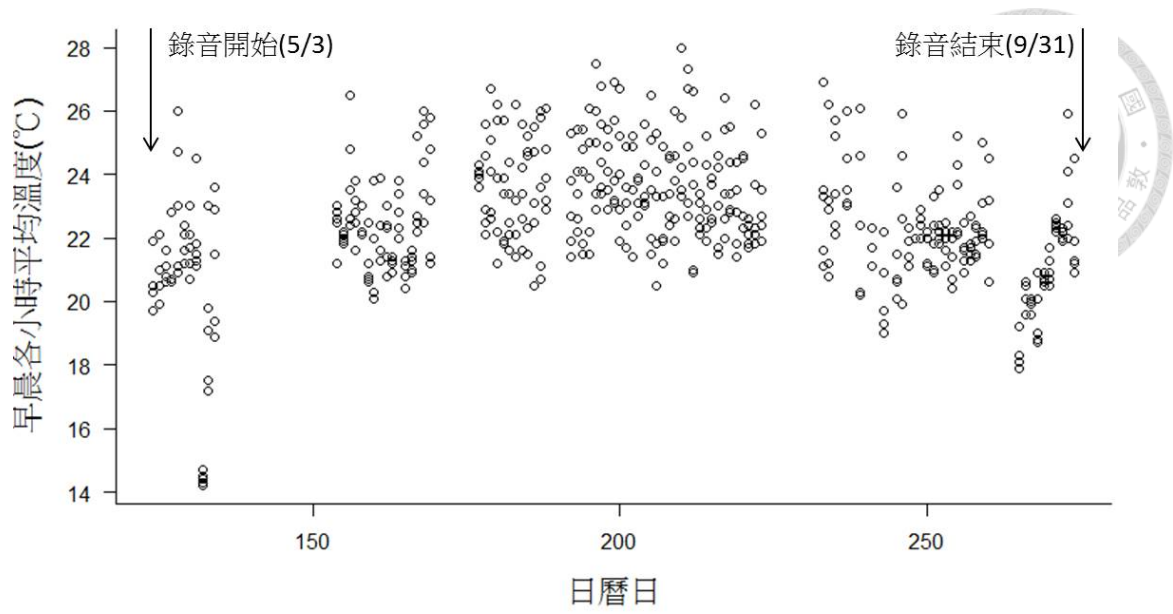


圖十八 播音實驗流程圖。一次實驗操作時間為 25 分鐘，每天在兩間實驗房各進

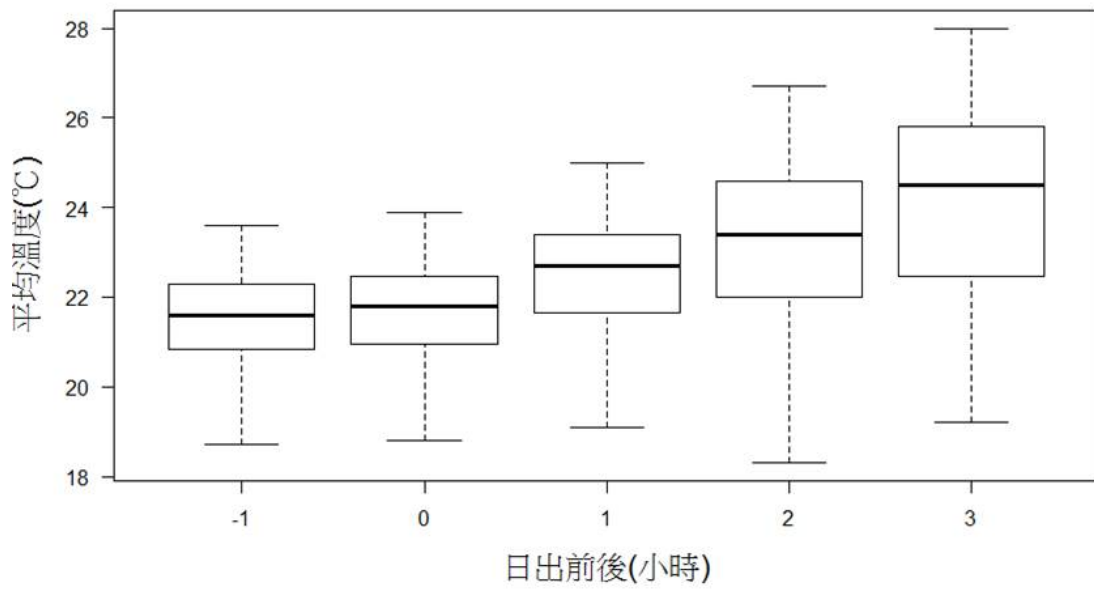
行一次實驗操作，整體實驗操作總耗時約 1 小時。



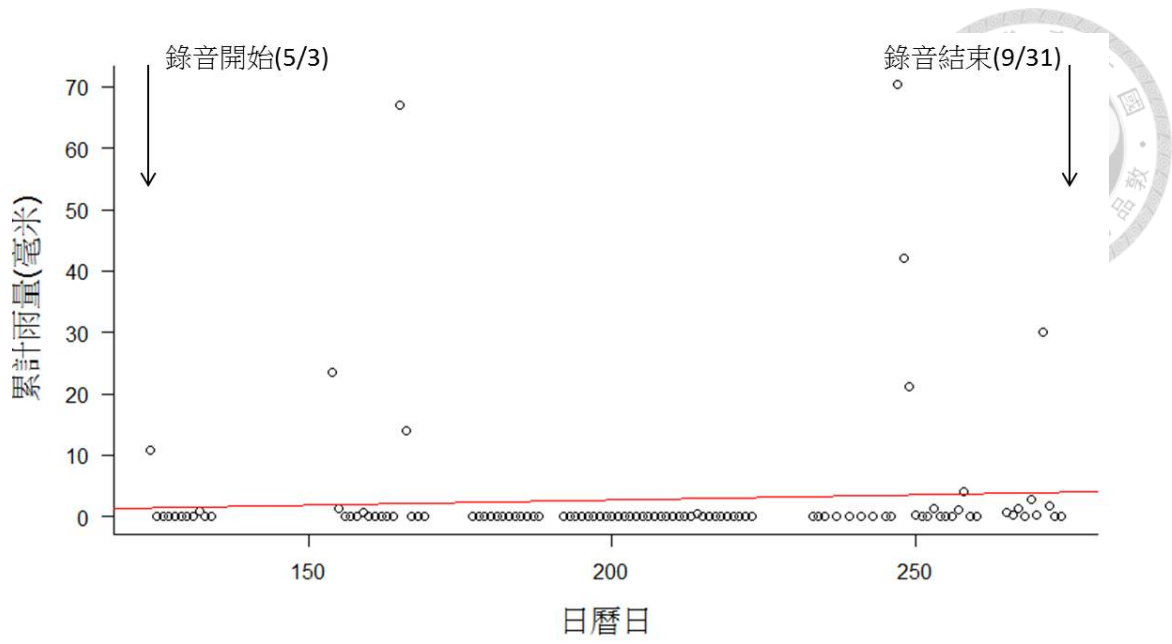
圖十九 青面姬春蟬聲音特徵。聲音頻率在 2000 到 20000 赫茲之間，在 15000 到 17000 赫茲之間音量較強，叫聲相當持續。



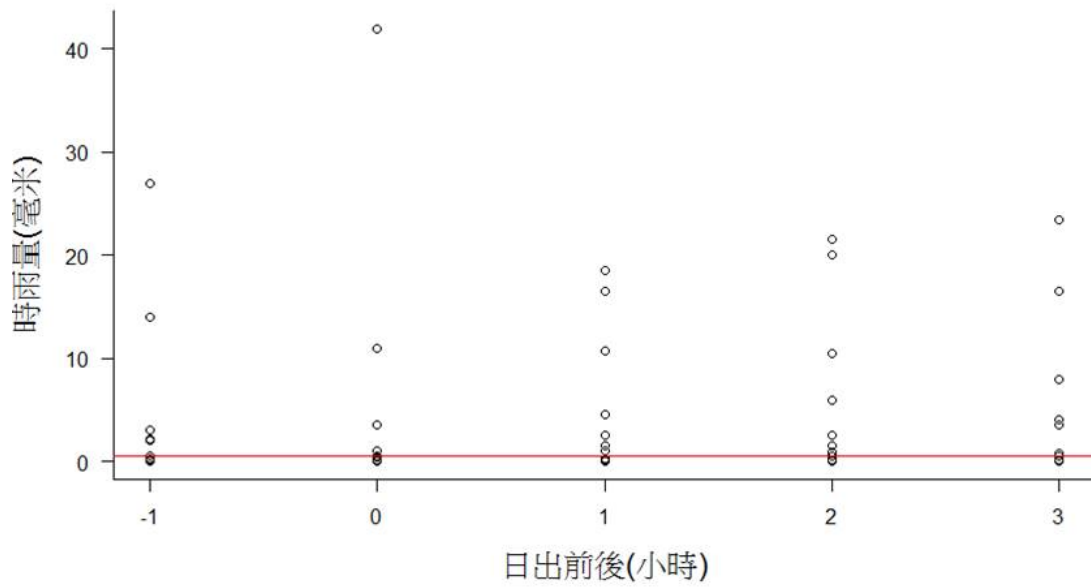
圖二十 鞍部氣象站在錄音期間每日早晨的各小時平均溫度。



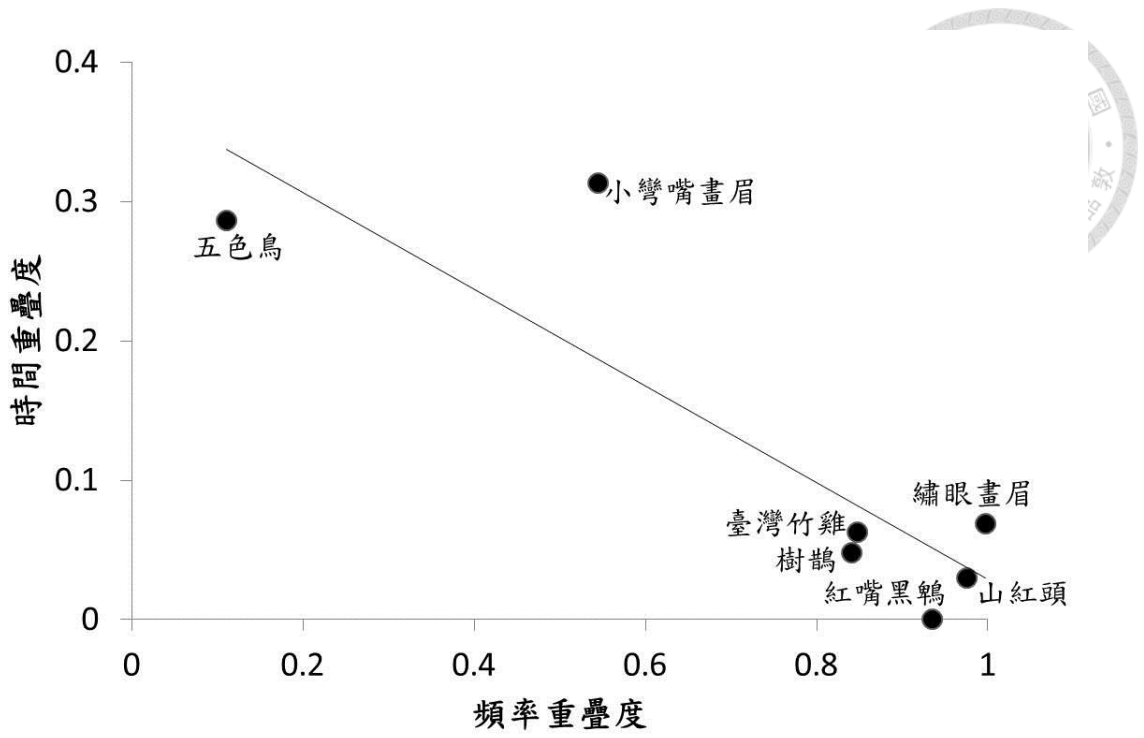
圖二十一 鞍部氣象站在錄音期間日出前後的平均溫度變化。



圖二十二 鞍部氣象站在錄音期間每日早晨累計雨量。

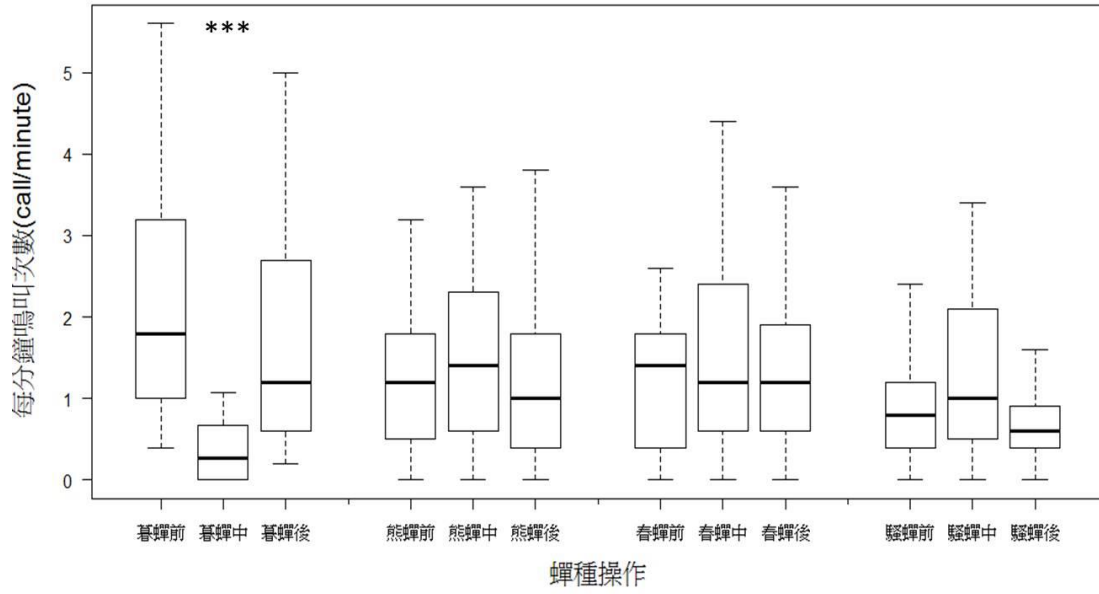


圖二十三 鞍部氣象站在錄音期間日出前後的時雨量。

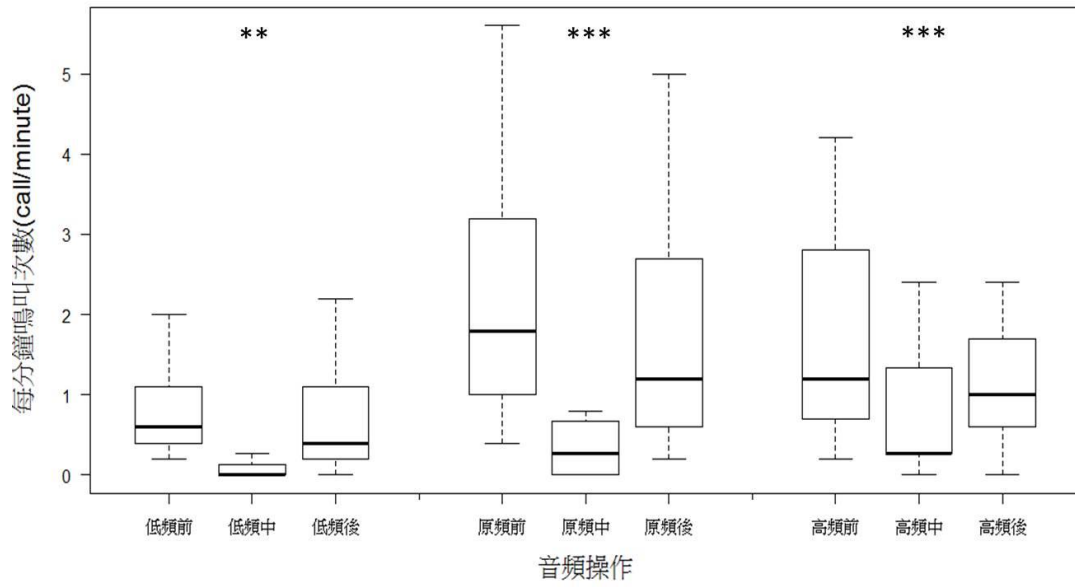


圖二十四 各鳥種與陽明山暮蟬在聲音上頻率重疊度與鳴叫時間重疊度關係

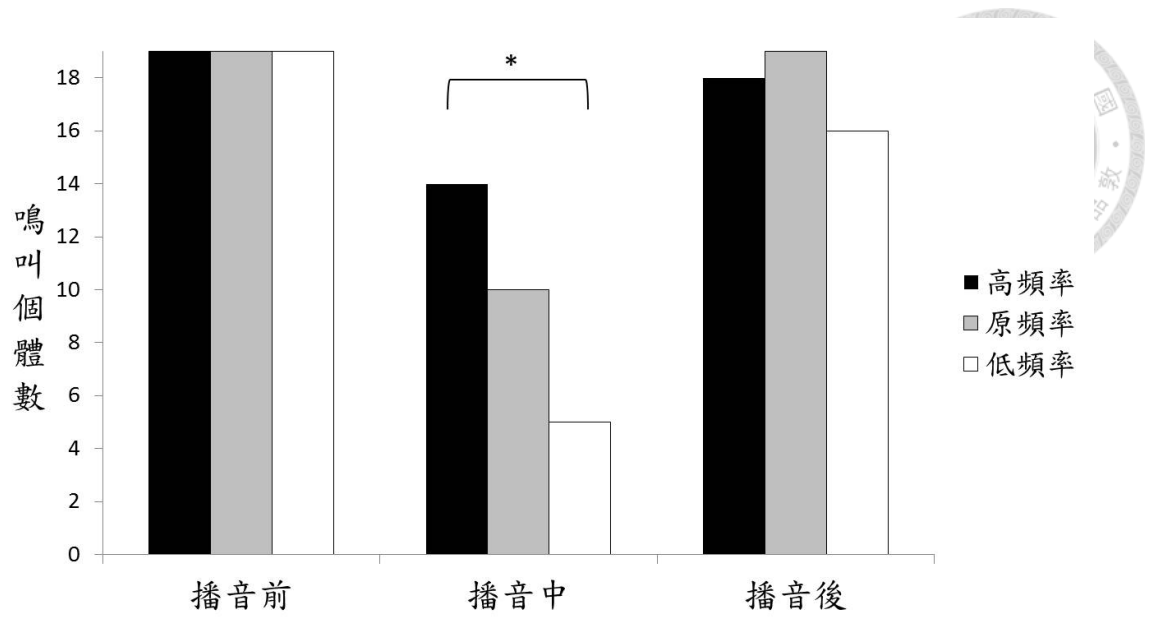
(Kendall-Theil regression, $p = 0.031$, $n = 7$)。



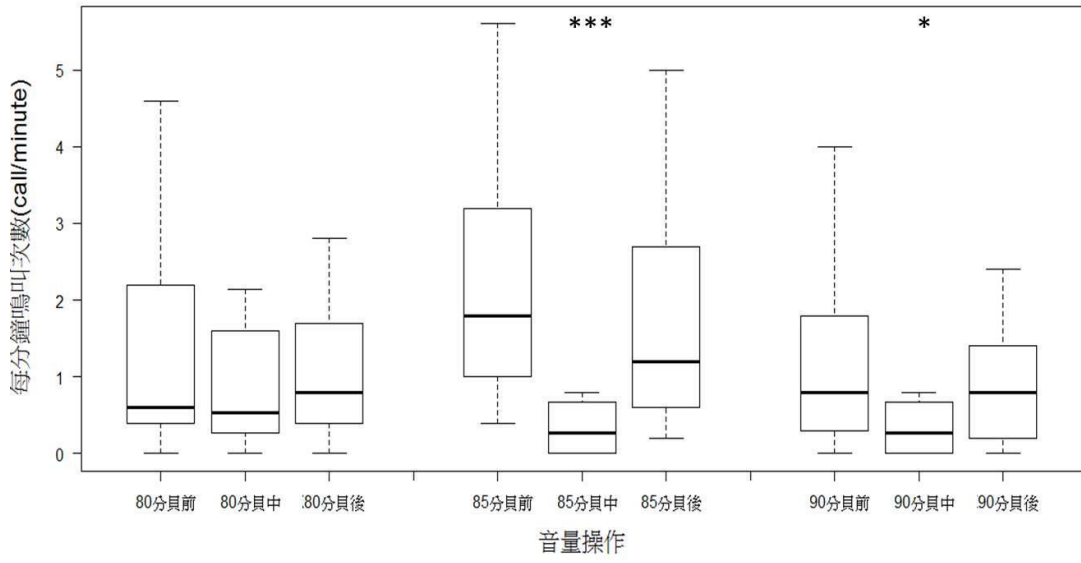
圖二十五 不同蟬種的播音操作下白頭翁每分鐘鳴叫次數。



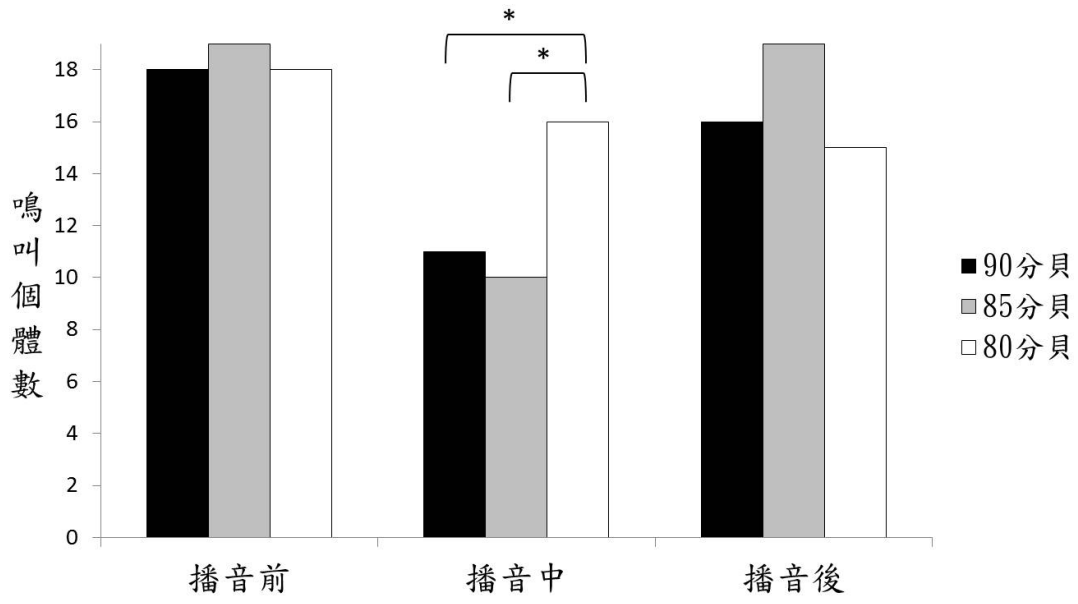
圖二十六 陽明山暮蟬不同頻率播音操作下白頭翁每分鐘鳴叫次數。



圖二十七 陽明山暮蟬不同頻率播音操作下 19 隻白頭翁鳴叫個體數。



圖二十八 陽明山暮蟬不同聲音強度播音操作下白頭翁每分鐘鳴叫次數。



圖二十九 陽明山暮蟬不同聲音強度播音操作下白頭翁鳴叫個體數。

表一 研究期間記錄物種名錄以及在錄音期間出現叫聲比例。

名稱	學名	出現叫聲比例(%)
赤腹松鼠	<i>Callosciurus erythraeus</i>	< 1.00
臺灣竹雞	<i>Bambusicola sonorivix</i>	5.91
大冠鷲	<i>Spilornis cheela</i>	< 1.00
領角鴞	<i>Otus lettia</i>	< 1.00
臺灣藍鵲	<i>Urocissa caerulea</i>	< 1.00
樹鵲	<i>Dendrocitta formosae</i>	7.48
五色鳥	<i>Psilopogon nuchalis</i>	5.76
虎鶉	<i>Zoothera aurea</i>	< 1.00
大彎嘴畫眉	<i>Megapomatorhinus erythrocnemis</i>	< 1.00
小彎嘴畫眉	<i>Pomatorhinus musicus</i>	6.67
冠羽畫眉	<i>Yuhina brunneiceps</i>	< 1.00
頭烏線	<i>Schoeniparus brunneus</i>	< 1.00
繡眼畫眉	<i>Alcippe morrisonia</i>	10.39
綠畫眉	<i>Erpornis zantholeuca</i>	< 1.00
山紅頭	<i>Cyanoderma ruficeps</i>	12.06
白頭翁	<i>Pycnonotus sinensis</i>	< 1.00
紅嘴黑鶉	<i>Hypsipetes leucocephalus</i>	1.30
陽明山暮蟬	<i>Tanna sozanensis</i>	29.09
薄翅蟬	<i>Chremistica ochracea</i>	< 1.00
臺灣騷蟬	<i>Pomponia linearis</i>	8.67
臺灣熊蟬	<i>Cryptotympana holsti</i>	11.61
小蟋蟀	<i>Platypleura takasagona</i>	< 1.00
寒蟬	<i>Meimuna opalifera</i>	< 1.00

表二 室內實驗操作組別，共三組實驗類別，其中陽明山暮蟬、原頻率陽明山暮蟬與音量 85 分貝陽明山暮蟬為同一實驗操作。



實驗類別	操作組別
不同蟬種	陽明山暮蟬(原頻率、85 分貝)
	臺灣熊蟬
	青面姬春蟬
	臺灣騷蟬
聲音頻率	低頻率陽明山暮蟬(減少 500 赫茲)
	原頻率陽明山暮蟬
	高頻率陽明山暮蟬(增加 500 赫茲)
聲音音量	音量 80 分貝陽明山暮蟬
	音量 85 分貝陽明山暮蟬
	音量 90 分貝陽明山暮蟬

表三 廣義線性迴歸模式結果彙整，物種名稱代表其鳴唱頻度。

	竹雞	樹鵲	山紅頭	小彎嘴畫眉	五色鳥	紅嘴黑鶇	繡眼畫眉
陽明山暮蟬	-	-	---		+++		
台灣騷蟬							
小蟋蟀					-		
台灣熊蟬							
竹雞	null					+	+
樹鵲		null					
山紅頭			null			+	+
小彎嘴畫眉			++	null			
五色鳥		++	+++		null		
紅嘴黑鶇						null	
繡眼畫眉	++		+	+			null
取樣日期				--	---	---	
日出前後時間	-	+++	---	---	++		---
溫度					---	-	
雨量					-		

+++: 正相關， $p < 0.001$

++: 正相關， $p < 0.01$

+: 正相關， $p < 0.05$

---: 負相關， $p < 0.001$

--: 負相關， $p < 0.01$

-: 負相關， $p < 0.05$

表四 臺灣竹雞每五分種鳴唱頻度與環境變因及其他生物鳴唱頻度之相關性(廣義線性迴歸模式, Poisson 分布)。

	Estimate	Std. Error	z value	p.
截距	-4.3196	2.371	-1.822	0.069
取樣日期	-0.0066	0.004	-1.659	0.097
日出前後時間	-0.0050	0.002	-2.229	0.026
溫度	0.0696	0.104	0.666	0.505
雨量	-0.2406	0.263	-0.912	0.361
紅嘴黑鵝	0.9618	0.797	1.207	0.228
五色鳥	0.2340	0.659	0.355	0.722
樹鵲	-0.8685	1.265	-0.687	0.492
繡眼畫眉	1.8329	0.701	2.614	0.009
小彎嘴畫眉	0.5934	0.792	0.749	0.454
山紅頭	-0.0977	0.620	-0.158	0.875
陽明山暮蟬	-1.6898	0.692	-2.441	0.015
臺灣騷蟬	-1.9567	1.966	-0.995	0.319
小蟋蟀	-0.0946	0.524	-0.180	0.857
臺灣熊蟬	-2.3912	2.108	-1.134	0.257

表五 樹鵲每五分種鳴唱頻度與環境變因及其他生物鳴唱頻度之相關性(廣義線性迴歸模式, Poisson 分布)。

	Estimate	Std. Error	z value	p.
截距	-1.9799	1.764	-1.122	0.262
取樣日期	0.0041	0.004	0.923	0.356
日出前後時間	0.0058	0.002	3.392	< 0.001
溫度	-0.1166	0.074	-1.566	0.117
雨量	-0.5798	0.438	-1.324	0.186
紅嘴黑鵯	0.5342	0.859	0.622	0.534
五色鳥	1.6844	0.629	2.676	0.007
繡眼畫眉	0.7180	0.825	0.871	0.384
小彎嘴畫眉	-4.2401	2.927	-1.448	0.147
臺灣竹雞	-0.6656	1.447	-0.460	0.646
山紅頭	0.2412	0.517	0.466	0.641
陽明山暮蟬	-1.4800	0.656	-2.255	0.024
臺灣騷蟬	-1.2413	1.252	-0.991	0.322
小蟋蟀	0.0888	0.433	0.205	0.838
臺灣熊蟬	-13.626	12.281	-1.109	0.267

表六 山紅頭每五分種鳴唱頻度與環境變因及其他生物鳴唱頻度之相關性(廣義線性迴歸模式, Poisson 分布)。

	Estimate	Std. Error	z value	p.
截距	-0.3795	1.252	-0.303	0.762
取樣日期	0.0031	0.003	1.133	0.257
日出前後時間	-0.0045	0.001	-3.914	< 0.001
溫度	-0.1070	0.055	-1.945	0.052
雨量	-0.0309	0.029	-1.070	0.285
紅嘴黑鵯	0.4195	0.424	0.989	0.322
五色鳥	1.4310	0.387	3.697	< 0.001
樹鵲	-0.0257	0.476	-0.054	0.957
繡眼畫眉	1.0004	0.414	2.416	0.016
小彎嘴畫眉	1.1424	0.430	2.655	0.008
臺灣竹雞	0.2562	0.552	0.464	0.642
陽明山暮蟬	-3.0306	0.639	-4.740	< 0.001
臺灣騷蟬	-1.9885	1.266	-1.571	0.116
小蟋蟀	0.1036	0.319	0.325	0.745
臺灣熊蟬	-2.6889	1.740	-1.545	0.122

表七 小彎嘴畫眉每五分種鳴唱頻度與環境變因及其他生物鳴唱頻度之相關性
(廣義線性迴歸模式, Poisson 分布)。

	Estimate	Std. Error	z value	p.
截距	-3.4367	2.069	-1.661	0.097
取樣日期	-0.0107	0.003	-3.231	0.001
日出前後時間	-0.0069	0.002	-3.488	< 0.001
溫度	0.0445	0.093	0.479	0.632
雨量	-0.0362	0.064	-0.566	0.571
紅嘴黑鵯	0.4255	0.679	0.627	0.531
五色鳥	0.2586	0.496	0.522	0.602
樹鵲	-3.8313	2.840	-1.349	0.177
繡眼畫眉	1.5049	0.698	2.157	0.031
臺灣竹雞	0.5829	0.753	0.774	0.439
山紅頭	0.8405	0.467	1.798	0.072
陽明山暮蟬	0.2640	0.356	0.741	0.459
臺灣騷蟬	-0.7154	0.672	-1.064	0.287
小蟋蟀	0.6329	0.335	1.887	0.059
臺灣熊蟬	-4.0404	2.205	-1.832	0.067

表八 五色鳥每五分種鳴唱頻度與環境變因及其他生物鳴唱頻度之相關性(廣義線性迴歸模式, Poisson 分布)。

	Estimate	Std. Error	z value	p.
截距	3.5107	1.081	3.246	0.001
取樣日期	-0.0475	0.005	-9.680	< 0.001
日出前後時間	0.0033	0.001	2.590	0.009
溫度	-0.2006	0.053	-3.798	< 0.001
雨量	-25.3949	10.139	-2.505	0.012
紅嘴黑鵯	-0.6979	0.419	-1.665	0.096
樹鵲	0.2337	0.392	0.596	0.551
繡眼畫眉	0.2934	0.607	0.484	0.629
小彎嘴	-0.4820	0.465	-1.036	0.300
竹雞	0.3435	0.633	0.543	0.587
山紅頭	1.1635	0.317	3.665	< 0.001
陽明山暮蟬	1.4412	0.355	4.060	< 0.001
臺灣騷蟬	-0.7312	0.774	-0.944	0.345
小蟪蛄	-0.8695	0.375	-2.316	0.021
臺灣熊蟬	-2.1150	2.174	-0.973	0.331

表九 紅嘴黑鵝每五分種鳴唱頻度與環境變因及其他生物鳴唱頻度之相關性(廣義線性迴歸模式, Poisson 分布)。

	Estimate	Std. Error	z value	p.
截距	3.9650	2.797	1.418	0.156
取樣日期	-0.0280	0.008	-3.656	< 0.001
日出前後時間	-0.0082	0.005	-1.659	0.097
溫度	-0.3190	0.138	-2.312	0.021
雨量	-143.5000	9930.000	-0.014	0.988
五色鳥	0.3085	0.641	0.481	0.631
樹鵲	0.3499	0.927	0.378	0.706
繡眼畫眉	0.2417	1.112	0.217	0.828
小彎嘴	0.4966	0.777	0.640	0.522
竹雞	1.9760	0.867	2.278	0.023
山紅頭	1.3550	0.616	2.201	0.028
陽明山暮蟬	-5.0870	3.317	-1.533	0.125
臺灣騷蟬	1.3830	2.144	0.645	0.519
小蟋蟀	1.2510	1.078	1.161	0.246
臺灣熊蟬	2.2600	2.009	1.125	0.261

表十 繡眼畫眉每五分種鳴唱頻度與環境變因及其他生物鳴唱頻度之相關性(廣義線性迴歸模式, Poisson 分布)。

	Estimate	Std. Error	z value	p.
截距	-3.6366	2.190	-1.660	0.097
取樣日期	0.0078	0.005	1.713	0.087
日出前後時間	-0.0102	0.002	-5.047	< 0.001
溫度	-0.0054	0.094	-0.057	0.954
雨量	-1.0152	0.621	-1.634	0.102
紅嘴黑鵯	-0.2035	0.945	-0.215	0.830
五色鳥	0.7082	0.691	1.025	0.305
樹鵲	0.9729	0.761	1.279	0.201
小彎嘴	1.0826	0.632	1.714	0.087
竹雞	1.4577	0.616	2.366	0.018
山紅頭	0.7974	0.405	1.971	0.049
陽明山暮蟬	-0.1681	0.462	-0.364	0.716
臺灣騷蟬	-0.5704	0.931	-0.613	0.540
小蟋蟀	-0.7036	0.466	-1.510	0.131
臺灣熊蟬	-7.0898	8.496	-0.834	0.404

表十一 播放陽明山暮蟬叫聲對白頭翁不同播音時期的鳴叫次數影響

(ANOVA)。

	Df	SS	MS	F value	p.
個體	18	134.85	7.492	6.48	< 0.001
播音時期	2	32.91	16.455	14.23	< 0.001
殘差	36	41.63	1.156		



表十二 播放臺灣熊蟬叫聲對白頭翁不同播音時期的鳴叫次數影響(ANOVA)。

	Df	SS	MS	F value	p.
個體	18	98.25	5.458	9.21	< 0.001
播音時期	2	0.64	0.321	0.54	0.587
殘差	36	21.33	0.593		



表十三 播放青面姬春蟬叫聲對白頭翁不同播音時期的鳴叫次數影響

(ANOVA)。



	Df	SS	MS	F value	p.
個體	18	51.05	2.836	5.58	< 0.001
播音時期	2	0.81	0.406	0.80	0.458
殘差	36	18.31	0.509		

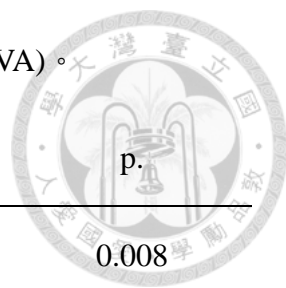
表十四 播放臺灣騷蟬叫聲對白頭翁不同播音時期的鳴叫次數影響(ANOVA)。

	Df	SS	MS	F value	p.
個體	18	83.52	4.640	13.65	< 0.001
播音時期	2	2.17	1.083	3.19	0.053
殘差	36	12.23	0.340		



表十五 白頭翁在四種蟬種播音操作中期的鳴叫次數差異(ANOVA)。

	Df	SS	MS	F value	p.
個體	18	56.12	3.118	2.35	0.008
不同蟬種	3	14.49	4.829	3.63	0.018
殘差	54	71.76	1.329		



表十六 播放低頻率(降低 500 赫茲)的陽明山暮蟬鳴聲對白頭翁不同播音時期的鳴叫次數影響(ANOVA)。



	Df	SS	MS	F value	p.
個體	18	21.49	1.194	2.09	0.029
播音時期	2	7.96	3.978	6.96	0.003
殘差	36	20.57	0.571		

表十七 播放高頻率(增加 500 赫茲)的陽明山暮蟬鳴聲對白頭翁不同播音時期的鳴叫次數影響(ANOVA)。



	Df	SS	MS	F value	p.
個體	18	94.76	5.264	6.84	< 0.001
播音時期	2	15.99	7.994	10.39	< 0.001
殘差	36	27.71	0.77		

表十八 白頭翁在三種陽明山暮蟬叫聲頻率播音操作中期的鳴叫次數差異

(ANOVA)。

	Df	SS	MS	F value	p.
個體	18	17.06	0.948	2.065	0.032
不同頻率	2	2.75	1.374	2.98	0.063
殘差	36	16.59	0.461		



表十九 播放音量 80 分貝的陽明山暮蟬鳴聲對白頭翁不同播音時期的鳴叫次數

影響(ANOVA)。



	Df	SS	MS	F value	p.
個體	18	74.12	4.118	4.06	< 0.001
播音時期	2	6.93	3.464	3.42	0.054
殘差	36	36.52	1.014		

表二十 播放音量 90 分貝的陽明山暮蟬鳴聲對白頭翁不同播音時期的鳴叫次數

影響(ANOVA)。



	Df	SS	MS	F value	p.
個體	18	25.61	1.423	1.78	0.070
播音時期	2	6.85	3.423	4.28	0.022
殘差	36	28.80	0.800		

表二十一 白頭翁在三種陽明山暮蟬叫聲音量強度播音操作中期的鳴叫次數差異 (ANOVA)。



	Df	SS	MS	F value	p.
個體	18	17.79	0.988	1.78	0.070
不同音量	2	1.08	0.539	0.97	0.389
殘差	36	20.00	0.555		