

# 高黎贡山火尾绿鹏的鸣声特征分析

邓梦先 梁丹 罗旭\*

西南林业大学生物多样性保护学院, 云南省高校极小种群野生动物保育重点实验室 昆明 650224

**摘要:** 鸣声在鸟类通讯、配偶吸引和领域保卫等方面均有重要作用。本研究旨在探讨雀形目火尾绿鹏 (*Myzornis pyrrhoura*) 繁殖期的鸣声类型及其生物学意义。于 2013 和 2014 年的 3 至 7 月在云南高黎贡山片马垭口、独龙江垭口录制了成鸟 ( $n=30$ )、3 个家庭的幼鸟 ( $n=6$ ) 和 1 巢雏鸟 ( $n=2$ ) 的鸣声。依据鸣声发出时的个体行为特征, 将录制的成鸟鸣声分为 3 种类型, 即联络鸣叫、报警鸣叫和雄性鸣唱。其中, 雄鸟鸣唱的语图明显比其他鸣叫声更复杂。而样本量较多的多声联络鸣叫和报警鸣叫的声学特征在个体间有显著差异。雏鸟随着日龄的增加, 其鸣声的音节数和持续时间均增加, 但峰频率随日龄增加而降低, 至 20 日龄雏鸟和幼鸟鸣叫特征十分相似。野外观察发现, 火尾绿鹏在繁殖期的鸣唱较少, 其原因尚需进一步研究。

**关键词:** 高山生境; 鸣声; 火尾绿鹏; 高黎贡山

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2021) 02-171-09

## Analysis of the Vocal Characteristics of the Fire-tailed *Myzornis* in the Gaoligong Mountains

DENG Meng-Xian LIANG Dan LUO Xu\*

Key Laboratory for Conserving Wildlife with Small Populations in Universities of Yunnan Province / Faculty of Biodiversity and Conservation, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China

**Abstract:** Vocalization plays an important role in communication, mating and territoriality of songbirds. In the present study, we characterized the vocal behavior of a monotypic species, the Fire-tailed *Myzornis pyrrhoura*, from the alpine areas of the Gaoligong Mountains, China. Our fieldwork was conducted at the Pianma Pass and the Dulongjiang Pass during the breeding seasons (March-July) in 2013 and 2014. We recorded vocalizations from 30 breeding adults, 6 juveniles from three families, and 2 nestlings in one nest, and noted their corresponding behaviors. We classified three types of vocalizations of the adult birds, including the contact calls, the alarm calls and the song of males. Through non-parametric Kruskal Wallis test, we found significant differences among individuals on alarm calls and multiple-syllable contact call, which we had sufficient data. We also illustrated the development of nestlings' begging calls and juveniles' calls. Pearson

**基金项目** 国家自然科学基金项目 (No. 31101620, 31660612), 云南省高层次人才培养支持计划 (YNWR-QNBJ-2019-198);

\* 通讯作者, E-mail: luoxu@swfu.edu.cn;

**第一作者介绍** 邓梦先, 女, 硕士研究生; 研究方向: 野生动物多样性及保育; E-mail: Dengmengxian1018@163.com。

收稿日期: 2020-10-09, 修回日期: 2021-01-06 DOI: 10.13859/j.cjz.202102002

correlation analysis was used to examine the correlation between call characteristics and day-age of nestlings. The nestlings' calls changed over time. With increasing age, the note number and duration of nestlings' calls increased, while its peak frequency decreased. The call of the 20-day nestlings was similar to that of juveniles (Fig. 2). The complexity of the male song of this species was similar to that of its close-related species. Although we made extensive efforts, a few songs were recorded, and the spectrograms of male songs were much complex than their calls (Fig. 3). It is unclear the mechanism of the rarity of the complex song of this alpine breeding species; further experimental study thus is needed.

**Key words:** Alpine environment; Vocalization; Fire-tailed Myzornis, *Myzornis pyrrhoura*; Gaoligong Mountains

鸟类鸣声在个体间交流、配偶吸引和领域保卫等方面起重要作用(Catchpole et al. 1995)。鸟类在不同生活史时期可发出不同的鸣声,不同阶段的鸟类鸣声对其生存和繁衍具有重要作用,且鸣声的发育一般在孵化后开始(Liu et al. 2009)。有研究表明,雏鸟乞食声随着日龄的增长频宽减小,音节持续时间增加,呼叫次数也逐渐增加(Leonard et al. 2006)。成鸟的鸣声通常可分为鸣叫(call)和鸣唱(song)两种(Catchpole et al. 1995)。鸣叫一般指简单的鸣声,在不同季节均可发出,而根据不同类型的鸣叫有其相应的功能,包括交流联络、报警、呼唤等(雷富民等 2003)。鸣唱通常只由雄鸟在繁殖季节发出,在声学特征上更为复杂,具有保卫领域和吸引雌性等功能(Kroodsma et al. 1991)。但热带地区的种类,雌鸟也可鸣唱(Yang et al. 2011, Liang 2017)。不同声学特征的鸣声具有特定的行为学意义,这是鸣声复杂性的体现(Payne 1979, 雷富民等 2003, 2004)。不同鸟类同一功能的鸣声具有一些相似性特征,比如报警鸣叫一般较为急促、快速;联络声多为简单的较少音节的重复;求偶和领域鸣唱较为复杂多变,且有 50% 的鸟类使用较低的频率吸引配偶(Cardoso 2012)。

在种下,不同的地理种群或者即使在同一种群中,鸟类的鸣声也可能存在个体差异,这体现个体或者领地质量的差异(姜仕仁等 2006)。鸣声的个体差异可用于个体识别,如辨别配偶、后代和邻居等(Boeckle et al. 2012)。

个体差异增加了鸣唱的多样性,研究表明,鸟类雌性往往选择鸣唱数量较多和鸣唱较为复杂的雄鸟(Howard 1974),曲目大的个体可获得更高质量的领域(夏灿玮等 2016)。因此,鸟类鸣声的多样性被认为是性选择的结果(Hartshorne 1956)。

火尾绿鹇(*Myzornis pyrrhoura*)属于雀形目(Passeriformes)鸛鹛科(Sylviidae),是单型种鸟类,分布于喜马拉雅-横断山区的高山流石滩、杜鹃(*Rhododendron* spp.)和箭竹(*Fargesia* spp.)灌丛中,为该区域特有物种(Rasmussen et al. 2012)。由于高山环境野外的工作难度大、火尾绿鹇野外种群数量少及其鸣声细弱较难录制等原因,目前火尾绿鹇的鸣声仅有简单文字描述,如约翰·马敬能等(2000)描述“联络时发出 tsi-tsit 高叫,示警时发出重复 tzip 声”,Rasmussen 等(2012)制作了火尾绿鹇鸣叫声的语图,并将其描述为 si-/si-si-si\si, 频率范围为 7.0 ~ 8.5 kHz。这些记录仅覆盖了鸣声行为谱的一小部分。从 2014 至 2015 年的繁殖季节, Liang 等(2017)在高黎贡山对该物种进行了长时间的繁殖生物学研究,因此得以对火尾绿鹇的鸣声行为进行详细记录。本研究旨在记录火尾绿鹇不同阶段的鸣声类型并区分各类鸣声的功能,包括: 1) 通过录制繁殖期火尾绿鹇的鸣声,分析其鸣声基本特征和生物学意义; 2) 通过在野外观察不同鸣声对应的行为反应来归类,并比较不同个体间鸣声的差异; 3) 幼鸟鸣声发育随日龄增长的变化过程。

## 1 研究方法

### 1.1 野外录音

野外录音于 2013 年 3~6 月和 2014 年 4~7 月在火尾绿鹏的繁殖季节开展。录音地点位于云南省高黎贡山片马垭口(泸水县)和独龙江垭口(贡山县),海拔均在 3 000 m 以上。2013 年对片马垭口繁殖的火尾绿鹏个体进行了环志标记,可和 2014 年在该区域的录音个体进行区分,以避免对同一个体重复录音。2014 年 7 月在独龙江垭口附近区域录制火尾绿鹏的鸣声。研究期间,对位于片马垭口具有完整繁殖记录的巢(编号 Nest 2013-2)中的 2 只雏鸟不同日龄的鸣声进行了录制。在幼鸟离巢后,仍然对亲鸟继续喂食的幼鸟鸣声进行了录制。

录音采用便携式数字录音机 Zoom H4n(日本)或 Marantz PMD661(日本),配以外接强指向性话筒(Rode NTG-2 或 Rode NTG-3,澳大利亚)。采样精度设置为 16 bit,采样频率设置为 44.1 kHz(Xia et al. 2010)。录音时沿巡护道路或者公路行走,听到火尾绿鹏鸣声或者通过回放确定其个体的有无,若有火尾绿鹏个体回应即开始录音且尽可能长时间地录音,直至目标个体远离或者飞走为止。录音时尽量靠近目标个体(< 10 m),若同一个体录音时长较短(< 1 min)则更换目标,录音结束后记录该目标个体成幼和性别信息,并记录鸣声发出时的行为。

### 1.2 鸣声类型划分和语图测量

利用 Raven Pro 1.4 鸣声分析软件(美国 Cornell 大学鸟类学实验室)生成语图。语图参数设置:窗口类型为 Hamming;时间网格重叠率为 50%;取样精度为 256 bit;频率网格精度为 172 Hz。此外,将 2 kHz 以下的环境噪音去除,对于噪音较多且不清晰的或录音文件有多只个体的鸣声以及句子数小于 6 的录音文件删除,只保留语图清晰的录音文件。

对不同类型的鸣叫和雄性鸣唱的鸣声参数进行了测量。本文所采用的术语参照文献

(Päckert et al. 2004)定义,并对火尾绿鹏的鸣声进行了音节和句子的划分(Tracy et al. 1999)。语图测量以句子为单位,测量的变量包括句子的最高频率(max frequency)、最低频率(min frequency)、峰频率(peak frequency)、持续时间(duration)、频率跨度(frequency breadth),并记录每个句子的音节数(note number)。

### 1.3 数据统计分析

对鸣声各个特征的个体间差异进行分析。首先,将鸣声特征进行 Shapiro-Wilk 正态分布检验。其次,对于正态分布的数据采用 Levene test 检验考察其方差齐性后,再以单因素方差分析(One-way ANOVA)检验个体间差异是否显著;而非正态性数据采用非参数 Kruskal-Wallis rank sum test 检验个体间的差异。此外,通过 Pearson 相关性分析检验雏鸟鸣声特征和日龄的相关性。分析在 R 3.5.2 中进行。

## 2 结果

共录制了 30 只成鸟、3 群离巢幼鸟(2~3 只/群)以及 1 巢的 2 只雏鸟的鸣声。通过检视语图将杂乱的句子筛除后,用于分析的鸣声共计 384.4 min,包括成鸟 2 588 个句子(表 1)、幼鸟 364 个句子以及 7~20 日龄雏鸟 342 个句子。根据鸣声行为的不同,成鸟鸣声分为联络鸣叫、报警鸣叫和雄性鸣唱这 3 种类型,以及雏鸟乞食鸣叫和幼鸟鸣叫(图 1)。

### 2.1 成鸟联络鸣叫

**2.1.1 单声联络鸣叫** 火尾绿鹏个体在安静地取食和短距离跳跃或飞行时,通常发出纤细的单声联络鸣叫(图 1a)。每个句子均为 1 个音节,最低频率为 5 365.50~8 577.20 Hz,最高频率为 7 562.80~10 070.40 Hz,持续 0.02~0.13 s,峰频率为 6 029.30~9 302.30 Hz,频率宽度为 761.20~3 388.50 Hz,  $n = 278$ (表 2)。

对 10 个火尾绿鹏个体的单声联络鸣叫的

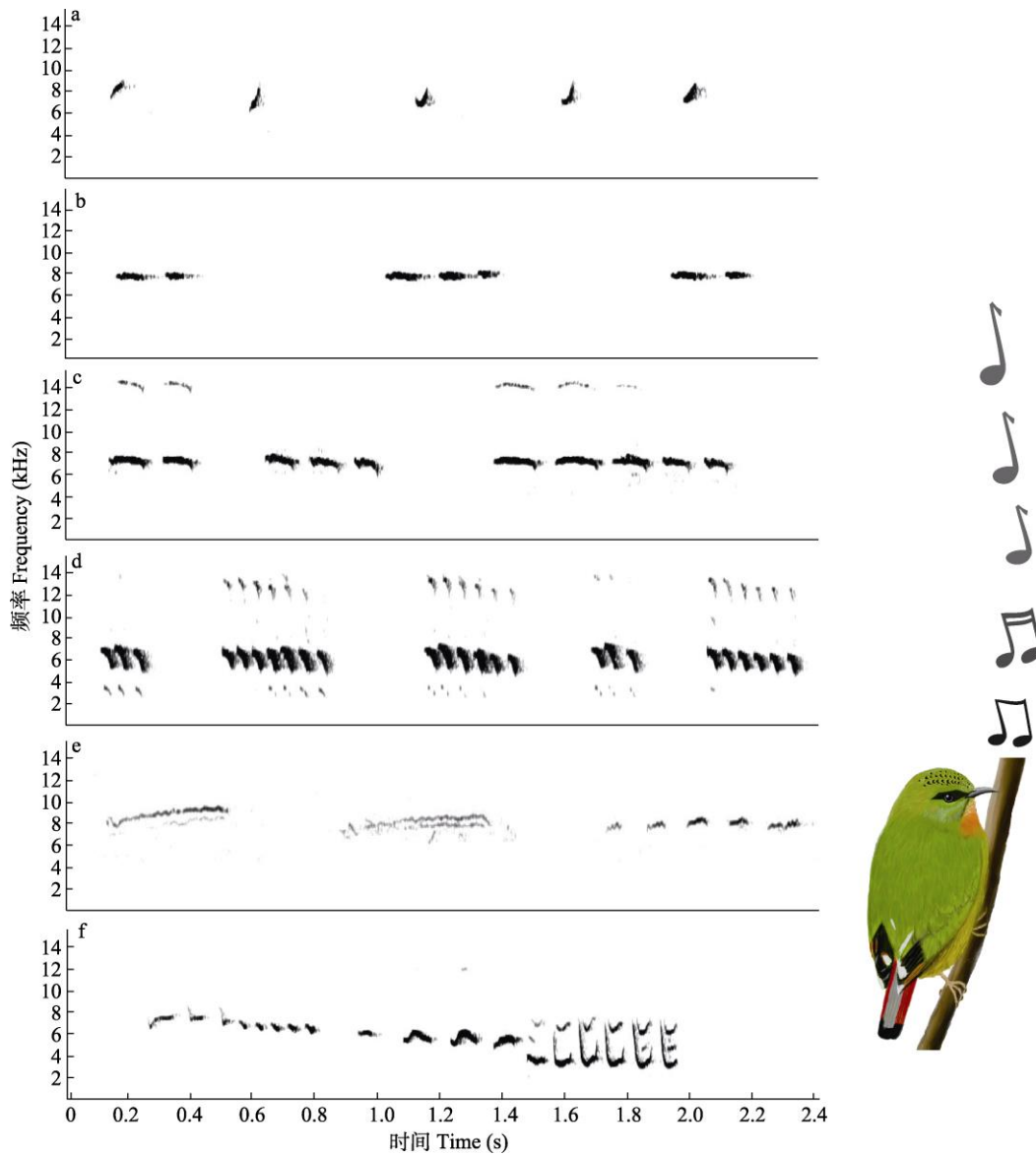


图 1 云南高黎贡山火尾绿鹏鸣叫类型

Fig. 1 Types of birdsongs of Fire-tailed Myzornis at Gaoligong Mountains, Yunnan Province

a. 单声联络鸣叫; b. 多声联络鸣叫; c. 成幼鸟交流鸣叫; d. 报警鸣叫; e. 雏鸟乞食鸣叫; f. 成鸟鸣唱。

a. Single-syllable contact call; b. Multiple-syllable contact call; c. Contact call with juveniles; d. Alarm call; e. Nestlings' call; f. Male song.

鸣声特征进行比较。最高频率符合正态分布, 采用单因素方差分析, 个体间差异显著 ( $F = 5.144, df = 9, P < 0.001$ )。其余 4 组数据均不符合正态分布, 因此用 Kruskal Wallis 检验进行显著性差异检验。火尾绿鹏单声联络鸣叫的最低频率 ( $\chi^2 = 116.937, df = 9, P < 0.001$ )、持

续时间 ( $\chi^2 = 52.592, df = 9, P < 0.001$ )、峰频率 ( $\chi^2 = 109.271, df = 14, P < 0.001$ )、频率宽度 ( $\chi^2 = 130.126, df = 14, P < 0.001$ ) 这 4 个鸣声特征均在个体间差异极显著。

**2.1.2 多声联络鸣叫** 多声联络鸣声为火尾绿鹏的鸣声类型中最为常见的类型 (图 1b),

表 1 火尾绿鹏繁殖季节成鸟鸣声收集情况

Table 1 The information of vocal recordings of Fire-tailed Myzornis during breeding seasons

采集地 Gathering place	年度 Year	个体数量 (只) Individual	雄性鸣唱 (个) Male song	报警鸣唱 (个) Alarm call	多声联络鸣叫 (个) Multiple-syllable contact call	单声联络鸣叫 (个) Single-syllable contact call	成幼鸟联络鸣叫 (个) Contact call with juveniles
片马垭口 Pianma Pass	2013	6	0	822	12	168	0
片马垭口 Pianma Pass	2014	18	263	529	281	110	86
独龙江垭口 Dulongjiang Pass	2014	6	17	108	192	0	0
总句子数 Total number of sentences			280	1 459	485	278	86

在繁殖期该鸣声类型通常用来进行雌雄之间的交流, 雌雄个体都可以发出这种类型的鸣叫。联络鸣声单音节重复, 平均每个火尾绿鹏个体联络鸣叫有 1~7 个音节, 最低频率为 4 816.10~8 142.30 Hz, 最高频率为 7 449.40~8 613.73 Hz, 持续 0.04~0.94 s, 峰频率为 5 340.20~8 785.50 Hz, 频率宽度为 761.20~8 268.80 Hz,  $n = 485$  (表 2)。

对 15 个火尾绿鹏个体多声联络鸣叫的鸣声特征进行比较, 6 个鸣声特征数据均不符合正态分布, 因此用 Kruskal Wallis 检验进行显著性差异分析。最低频率 ( $\chi^2 = 194.588$ ,  $df = 14$ ,  $P < 0.001$ )、最高频率 ( $\chi^2 = 201.783$ ,  $df = 14$ ,  $P < 0.001$ )、持续时间 ( $\chi^2 = 108.436$ ,  $df = 14$ ,  $P < 0.001$ )、峰频率 ( $\chi^2 = 186.680$ ,  $df = 14$ ,  $P < 0.001$ )、频率宽度 ( $\chi^2 = 170.696$ ,  $df = 14$ ,  $P <$

0.001) 和音节数 ( $\chi^2 = 133.898$ ,  $df = 14$ ,  $P < 0.001$ ) 这 6 个鸣声特征在个体间均差异极显著。

**2.1.3 成幼鸟联络鸣叫** 亲鸟和幼鸟交流时, 鸣叫声独特, 声谱特征为多音节且具谐波 (图 1c)。成鸟与幼鸟的交流鸣叫具 1~11 个音节, 最低频率为 3 672.70~8 348.60 Hz, 最高频率为 7 982.40~9 429.00 Hz, 持续 0.04~1.40 s, 峰频率为 6 890.60~8 785.50 Hz, 频率宽度为 663.00~4 781.50 Hz,  $n = 86$  (表 2)。

## 2.2 成鸟报警鸣叫

当研究者接近巢和幼鸟或领域内杜鹃花有其他火尾绿鹏个体取食时, 雌雄成鸟均可发出报警鸣叫。鸣声特征为多音节重复且有明显的谐波 (图 1d)。录制了 16 只个体的报警鸣叫, 有 1 459 个句子用于分析。平均每句有 1~17

表 2 火尾绿鹏六种类型鸣声的声学特征

Table 2 Characteristics for six types of vocal of Fire-tailed Myzornis

鸣声类型 Vocal type	最低频率 (Hz) Min frequency	最高频率 (Hz) Max frequency	持续时间 (s) Duration	峰频率 (Hz) Peak frequency	频率宽度 (Hz) Frequency breadth	音节数 Note number
单声联络鸣叫 ( $n = 278$ ) Single-syllable contact call	7 314.84 $\pm$ 712.88	8 986.71 $\pm$ 469.74	0.05 $\pm$ 0.01	8 074.80 $\pm$ 670.35	1 671.87 $\pm$ 586.07	1.00 $\pm$ 0.00
多声联络鸣叫 ( $n = 485$ ) Multiple-syllable contact call	7 201.17 $\pm$ 340.25	8 613.73 $\pm$ 327.64	0.32 $\pm$ 0.11	7 960.82 $\pm$ 316.43	1 848.86 $\pm$ 1 694.92	2.79 $\pm$ 0.96
成幼鸟交流鸣叫 ( $n = 86$ ) Contact call with juveniles	6 712.38 $\pm$ 1 121.07	8 634.99 $\pm$ 304.57	0.37 $\pm$ 0.24	7 824.08 $\pm$ 428.10	1 922.60 $\pm$ 962.08	3.44 $\pm$ 1.83
报警鸣叫 ( $n = 1 459$ ) Alarm call	4 687.82 $\pm$ 863.80	7 668.27 $\pm$ 456.78	0.25 $\pm$ 0.16	6 594.03 $\pm$ 665.24	2 980.45 $\pm$ 626.35	4.42 $\pm$ 2.64
成鸟鸣唱 ( $n = 280$ ) Male song	4 417.48 $\pm$ 1 739.60	8 371.53 $\pm$ 536.40	0.78 $\pm$ 0.43	7 012.45 $\pm$ 922.68	3 954.04 $\pm$ 1 688.85	10.19 $\pm$ 5.35
幼鸟鸣叫 ( $n = 364$ ) Nestlings' call	6 916.15 $\pm$ 548.13	8 747.45 $\pm$ 545.28	0.81 $\pm$ 0.64	7 784.15 $\pm$ 485.50	1 831.30 $\pm$ 395.47	6.40 $\pm$ 4.30

表中数据均以平均值  $\pm$  标准误形式给出。These figures were listed in Table 4 with Mean  $\pm$  standard error (SE).

个音节，最低频率为 2 843.20 ~ 8 177.80 Hz，最高频率为 6 835.50 ~ 9 666.50 Hz，持续 0.03 ~ 0.92 s，峰频率为 5 729.68 ~ 7 241.32 Hz，频率宽度为 1 670.96 ~ 3 994.15 Hz， $n = 1\ 459$ （表 2）。这 6 组数据均不符合正态分布，因此用非参数 Kruskal Wallis 检验进行显著性差异检验，最低频率 ( $\chi^2 = 493.509$ ,  $P < 0.001$ )、最高频率 ( $\chi^2 = 519.412$ ,  $P < 0.001$ )、持续时间 ( $\chi^2 = 495.281$ ,  $P < 0.001$ )、峰频率 ( $\chi^2 = 268.165$ ,  $P < 0.001$ )、频率宽度 ( $\chi^2 = 416.724$ ,  $P < 0.001$ ) 和音节数 ( $\chi^2 = 371.846$ ,  $P < 0.001$ ) 个体间均差异均极显著。

### 2.3 雏鸟乞食鸣叫和幼鸟鸣叫

对一巢 2 只雏鸟的鸣声进行录音，为尽量降低干扰，分 4 个阶段共录音 9 d，获得 342 个句子（表 2，图 1e）。第 1 个阶段为 1 ~ 8 日龄，雏鸟在这段时期很少发声并且只能发出单一、很微弱的乞食鸣叫，录制鸣声的语图不清晰。第 2 个阶段为 9 ~ 13 日龄，该阶段雏鸟

乞食时仅能发出 1 个音节的叫声，与成鸟的单声鸣叫不同；第 3 个阶段为 14 ~ 17 日龄，雏鸟的鸣声逐渐从单一的音节向多个音节转变；第 4 个阶段为出飞前的 18 ~ 20 日龄，雏鸟的鸣声逐渐与出飞幼鸟 (> 20 日龄) 的鸣声类似（图 2）。相关性分析表明，从 9 日龄到出巢幼鸟其鸣声音节数 ( $r = 0.54$ ,  $P < 0.01$ ) 与日龄呈正相关，其持续时间也随日龄而增加 ( $r = 0.42$ ,  $P < 0.01$ )；峰频率 ( $r = -0.21$ ,  $P < 0.01$ ) 随日龄而降低。而频率宽度 ( $r = -0.03$ ,  $P > 0.05$ )、最低频率 ( $r = 0.03$ ,  $P > 0.05$ ) 和最高频率 ( $r = 0$ ,  $P > 0.05$ ) 不随日龄而变化。

录制到 3 巢出飞幼鸟的鸣叫共 364 个句子。平均每个句子有 1 ~ 26 个音节，最低频率为 4 321.50 ~ 8 211.60 Hz，最高频率为 7 281.90 ~ 9 840.10 Hz，持续 0.04 ~ 4.74 s，峰频率为 6 029.30 ~ 9 130.10 Hz，频率宽度为 986.80 ~ 3 333.60 Hz， $n = 364$ （表 2，图 2）。

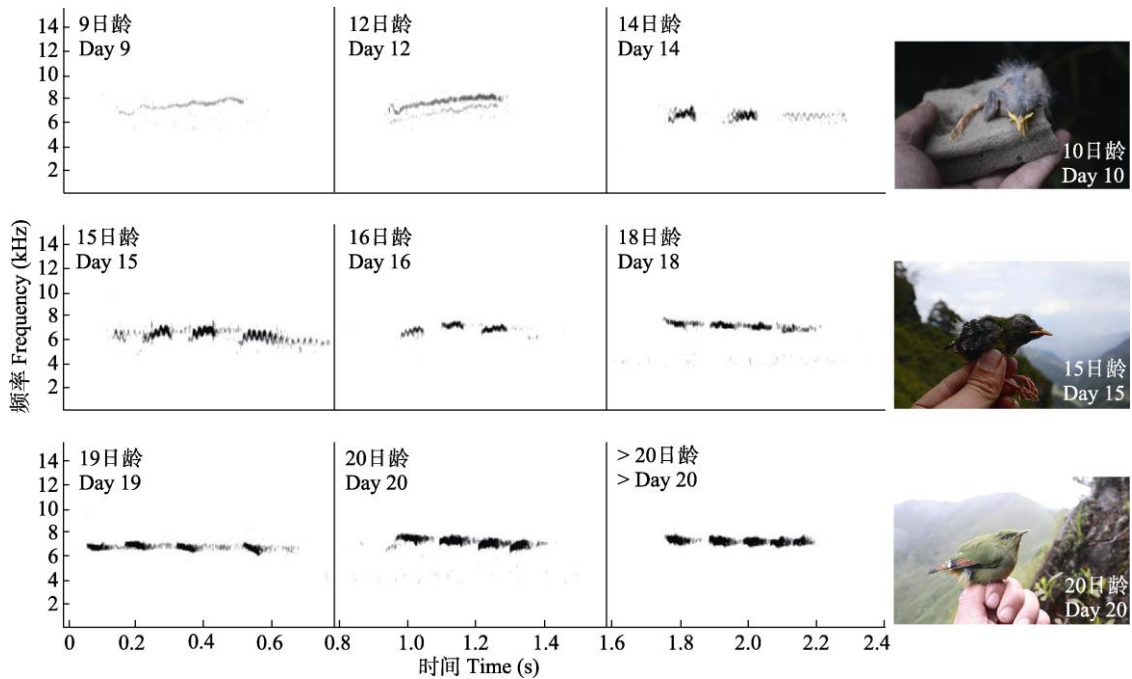


图 2 火尾绿鹇雏鸟不同日龄乞食鸣叫声谱图

Fig. 2 The spectrogram of the beg call of different age of the nestlings of the Fire-tailed Myzornis

幼鸟照片为梁丹所拍摄。Photographs of nestlings with different ages were taken by LIANG Dan.

### 2.4 成鸟鸣唱

在繁殖季节雄鸟会发出复杂多样的鸣声，十分偶见，仅出现在雄鸟间打斗时，因此认为有保卫领域、维持配偶关系的功能，将其归纳为鸣唱。鸣唱的声谱特征较鸣叫更为复杂多样（图 1f）。研究期间仅录制到 6 只个体共 280 个鸣唱句子，可区分出 18 种鸣唱型（图 3）。每个句子具 1 ~ 27 个音节，最低频率为 1 143.40 ~ 7 980.20 Hz，最高频率为 6 256.20 ~ 9 797.30 Hz，持续 0.06 ~ 2.22 s，峰频率为 3 100.80 ~ 8 613.30 Hz，频率宽度为 1 203.20 ~ 8 454.20 Hz， $n = 280$ （表 2）。

### 3 讨论

在野外录到了火尾绿鹏 3 种类型的成鸟鸣

声，在以往的记录上增加了报警鸣叫和雄性鸣唱 2 种鸣声类型。本研究不仅丰富了火尾绿鹏的鸣声记录，还对雏鸟的乞食鸣声和幼鸟鸣叫进行了详细记录。火尾绿鹏的报警鸣叫和多声联络鸣叫的 6 个鸣声参数个体间的差异均十分显著，这和与其亲缘关系较近的白眶林莺 (*Sylvia conspicillata*) 鸣声的个体间差异相似 (Palmero et al. 2012)。个体鸣叫的差异性有助于同种鸟类个体间的相互识别，可以减弱邻居间的攻击性、增强配偶关系的稳定性及减少近交的机会 (Dale et al. 2001, Tibbetts et al. 2007)。

火尾绿鹏的领域鸣唱较少，在 2014 年的 4 月至 7 月仅记录少数几次鸣唱行为，这个时期火尾绿鹏处于筑巢期至育雏期。在野外使用这

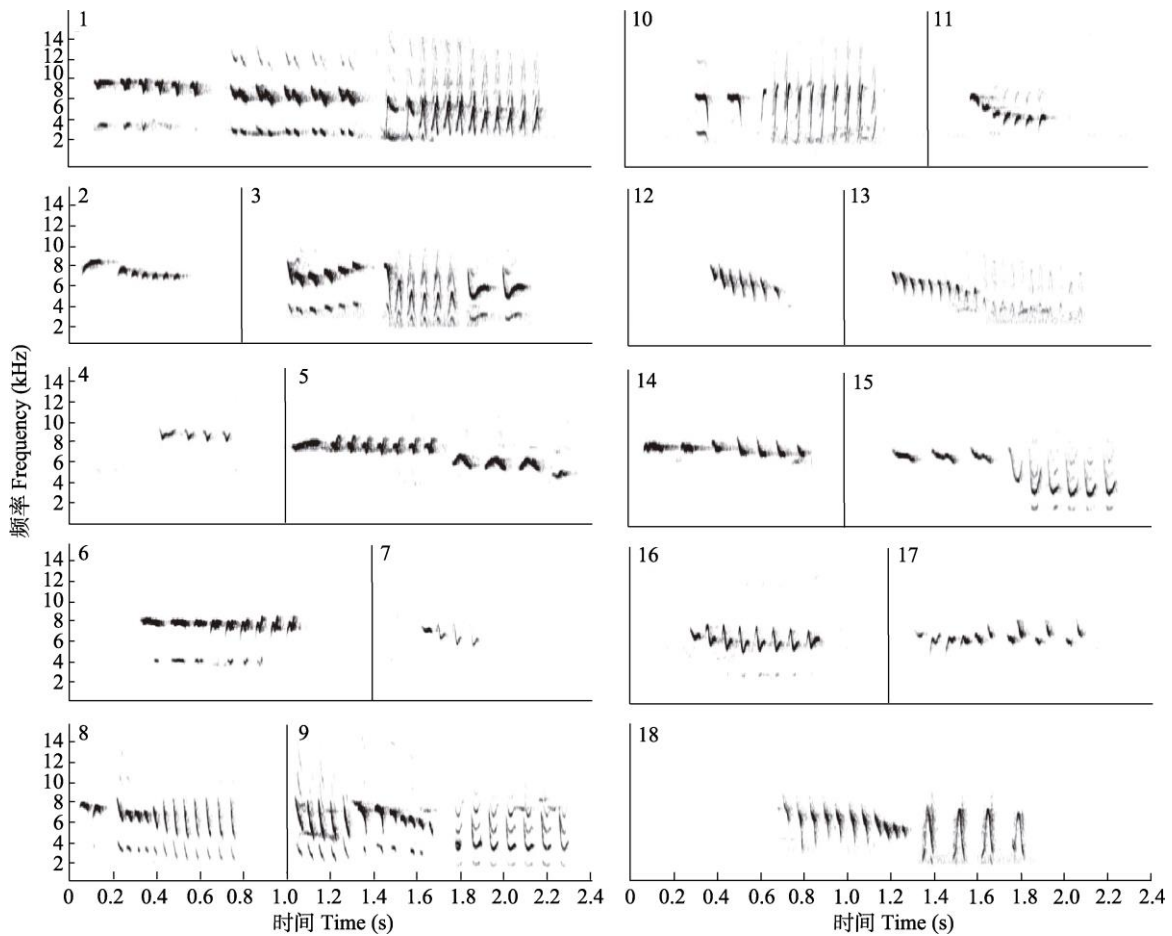


图 3 火尾绿鹏鸣唱的 18 种鸣唱型

Fig. 3 The 18 song types of male songs of Fire-tailed Myzornis

类鸣声进行了回放实验,已经固定领域的火尾绿鹇会迅速飞至音箱附近,并表现出攻击的反应,有时可诱发该雄性发出同样的鸣唱。因此认为鸣唱有保护领地和雄性竞争的功能。火尾绿鹇的鸣唱相对其他类型的鸣叫更为复杂,仅6只个体就有51个音节型。复杂的鸣唱对异性选择中的作用十分重要。对不同地理种群的黑顶林莺(*S. atricapilla*)的鸣声特征分析表明,不同迁徙策略和性选择压力导致鸣唱的多样化(Collins et al. 2009)。我们在高黎贡山片马垭口区域有长期繁殖生态研究的野外工作,但很少观察到火尾绿鹇鸣唱,其原因可进一步通过野外实验进行研究。

雏鸟的乞食鸣叫是了解亲鸟和雏鸟交流的关键,其鸣叫随不同日龄而发生变化(Marques et al. 2010)。从语图结构来看,火尾绿鹇雏鸟鸣声的音节随日龄而增加,逐渐和出飞幼鸟相似,这与棕背伯劳(*Lanius schach*) (胡婧等 2006)和双色树燕(*Tachycineta bicolor*) (Leonard et al. 2006)雏鸟鸣声的发育模式相似。比如,棕背伯劳在出飞前乞食鸣叫逐渐变为威胁鸣叫(胡婧等 2006)。雏鸟的鸣声从单音节至多音节的转变,为雏鸟与亲鸟之间的交流和雏鸟的学习奠定了基础(胡婧等 2006)。和其他鸣叫类型相比,火尾绿鹇幼鸟鸣叫和成鸟联络鸣叫语图最为相似,这与棕顶雀鹀(*Spizella passerina*)的研究结果类似(Liu et al. 2009)。火尾绿鹇雏鸟鸣声在发育过程中语图逐渐变得清晰,音节变得越来越少,句子持续时间变短,但是单个音节持续时间越来越长,野外观察表明,火尾绿鹇雏鸟在出飞后缺乏主动捕食的能力,仍需亲鸟继续给其喂食,这使得雏鸟在鸣声学习的早期阶段优先学习其成鸟的联络鸣叫。

鸟类鸣唱特征的差异往往与种间系统发育关系相关(Price et al. 2002, Odom et al. 2014)。在分子系统发育树上,火尾绿鹇与宝兴鹇雀属(*Moupinia*)、金胸雀鹀属(*Lioparus*)和雀鹀属(*Fulvetta*)亲缘关系较近,而与噪鹛属

(*Garrulax*)、凤鹛属(*Yuhina*)、希鹛属(*Minla*)、相思鸟属(*Leiothrix*)关系较远(Cai et al. 2019)。火尾绿鹇鸣唱的频率范围约为4 500~8 500 Hz,高于传统意义上的鹇类各类群,比如噪鹛和相思鸟的鸣唱主频一般在2 000~4 000 Hz,凤鹛的鸣唱主频为2 000~6 000 Hz,希鹛2 000~5 000 Hz(Rasmussen et al. 2012)。从语图结构上来看,火尾绿鹇鸣唱的频率范围和音节特征与白眶林莺(Palmero et al. 2012)、白喉林莺(*Sylvia curruca*) (Klit 1999)及黑顶林莺(Collins et al. 2009)相似,而较三趾鸦雀(*Paradoxornis paradoxus*) (刘如笋等 1998)和其他鸦雀属鸟类(Rasmussen et al. 2012)的鸣唱更为复杂,频率也更高。

**致谢** 西南林业大学的高歌和李兴权参与野外鸣声录制,高黎贡山国家级自然保护区泸水管护局的王新文和王斌在野外提供了便利,在此一并感谢。

## 参 考 文 献

- Boeckle M, Bugnyar T. 2012. Long-term memory for affiliates in ravens. *Current Biology*, 22(9): 801–806.
- Cai T L, Cibois A, Alström P, et al. 2019. Near-complete phylogeny and taxonomic revision of the world's babblers (Aves: Passeriformes). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 130: 346–356.
- Cardoso G C. 2012. Paradoxical calls: the opposite signaling role of sound frequency across bird species. *Behavioral Ecology*, 23(2): 237–241.
- Catchpole C K, Slater P J B. 1995. *Bird Song: Biological Themes and Variations*. Cambridge UK: Cambridge University Press, 8–10.
- Collins S A, de Kort S R, Pérez-Tris J, et al. 2009. Migration strategy and divergent sexual selection on bird song. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1656): 585–590.
- Dale J, Lank D B, Reeve H K. 2001. Signaling individual identity versus quality: a model and case studies with ruffs, queleas, and house finches. *The American Naturalist*, 158(1): 75–86.
- Hartshorne C. 1956. The monotony threshold in singing birds. *Auk*, 73(2): 176–192.



- Howard R D. 1974. The influence of sexual selection and interspecific competition on mocking bird song (*Mimus polyglottos*). *Evolution*, 28(3): 428–438.
- Klit I. 1999. The function of song forms in the lesser whitethroat *Sylvia curruca*. *Bioacoustics*, 10(1): 31–45.
- Kroodsmas D E, Byers B E. 1991. The function(s) of bird song. *Integrative and Comparative Biology*, 31(2): 318–328.
- Leonard M L, Horn A G. 2006. Age-related changes in signalling of need by nestling Tree Swallows (*Tachycineta bicolor*). *Ethology*, 112(10): 1020–1026.
- Liang D, Gao G, Han L X, et al. 2017. Breeding biology of Fire-Tailed Myzornis (*Myzornis pyrrhoura*) in an alpine environment in southwestern China. *Wilson Journal of Ornithology*, 129(3): 568–575.
- Liang W. 2017. Crafty cuckoo calls. *Nature Ecology & Evolution*, 1(10): 1427–1428.
- Liu W L, Wada K, Nottebohm F. 2009. Variable food begging calls are harbingers of vocal learning. *PLoS One*, 4(6): e5929.
- Marques P A M, Araújo C B D E, Vicente L. 2010. Nestling call modification during early development in a colonial passerine. *Bioacoustics*, 20(1): 45–58.
- Odom K J, Hall M L, Omland K E, et al. 2014. Female song is widespread and ancestral in songbirds. *Nature Communications*, 5: 3379
- Päckert M, Martens J, Sun Y H, et al. 2004. The radiation of the *Seicercus burkii* complex and its congeners (Aves: Sylviidae): molecular genetics and bioacoustics. *Organisms Diversity & Evolution*, 4(4): 341–364.
- Palmero A M, Illera J C, Laiolo P. 2012. Song characterization in the spectacled warbler (*Sylvia conspicillata*): acircum-Mediterranean species with a complex song structure. *Bioacoustics*, 21(3): 175–191.
- Payne R B. 1979. Song structure, behaviour, and sequence of song types in a population of village indigobirds, *Vidua chalybeata*. *Animal Behaviour*, 27(11): 997–1013.
- Price J J, Lanyon S M. 2002. Reconstructing the evolution of complex bird song in the Oropendolas. *Evolution*, 56(7): 1514–1529.
- Rasmussen P C, Anderton J C. 2012. *Birds of South Asia: the Ripley Guide*. Vols. 1 and 2. 2nd ed. Washington D C, Michigan and Barcelona: National Museum of Natural History-Smithsonian Institution, Michigan State University and Lynx Edicions.
- Tibbetts E A, Dale J. 2007. Individual recognition: it is good to be different. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(10): 529–537.
- Tracy T T, Baker M C. 1999. Geographic variation in syllables of House Finch songs. *Auk*, 116(3): 666–676.
- Xia C, Xiao H, Zhang Y. 2010. Individual variation in brownish-flanked bush warbler songs. *The Condor*, 112(3): 591–595.
- Yang C, Zhang Y, Cai Y, et al. 2011. Female crowing and differential responses to simulated conspecific intrusion in male and female Hainan Partridge (*Arborophila ardens*). *Zoological Science*, 28(4): 249–253.
- 胡婧, 官天培, 周材权, 等. 2006. 棕背伯劳雏鸟鸣声发育的初步研究. *西华师范大学学报: 自然科学版*, 27(2): 161–166.
- 姜仕仁, 陈水华. 2006. 同一生境中强脚树莺鸣声的个体差异及多样性. *动物学研究*, 27(5): 473–480.
- 雷富民, 王爱真, 尹祚华, 等. 2004. 鸟类鸣唱曲目与复杂性. *动物分类学报*, 29(3): 406–414.
- 雷富民, 王钢, 尹祚华. 2003. 鸟类鸣唱的复杂性和多样性. *动物分类学报*, 28(1): 163–171.
- 刘如箐, 愈清, 赵欣如. 1998. 三趾鸦雀的鸣叫型. *动物学杂志*, 33(4): 18–21.
- 夏灿玮, 张雁云. 2016. 四种鸣禽个体间曲目的差异与领域维持时间的 Meta 分析. *动物学杂志*, 51(3): 353–362.
- 约翰·马敬能, 卡伦·菲利普斯, 何芬奇. 2000. *中国鸟类野外手册*. 长沙: 湖南教育出版社, 110–111.