

大鹰鸱鸣声的日节律

黄婉萍^① 徐姝婷^{①#} 梁伟^② 夏灿玮^{①*}

① 生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 北京师范大学生命科学学院 北京 100875; ② 热带动植物生态学省部共建教育部重点实验室, 海南师范大学生命科学学院 海口 571158

摘要: 鸟类的鸣唱具有吸引配偶和保卫领域的功能, 多为雀形目雄性鸟类发出, 在其婚配、繁殖中起重要作用。非雀形目鸟类缺乏内鸣肌, 发出的声音较为单调。但杜鹃科 (Cuculidae) 等少数非雀形目鸟类, 利用鸣叫来吸引异性和宣示领域, 功能上类似雀形目鸟类的鸣唱。鸟类在繁殖期面临觅食等基本生理活动与求偶行为的时间权衡。而鸣唱是雄性鸟类在繁殖期耗能较多的求偶行为, 鸣唱的活跃程度受到外界环境和鸟类自身习性的影响。通过研究鸟类鸣声的日节律, 有助于了解鸟类对生活史策略的响应。本研究于 2016 年和 2017 年鸟类繁殖季在北京小龙门森林公园 (40°00'N, 115°26'E) 进行。2016 年和 2017 年在大鹰鸱 (*Hierococcyx sparverioides*) 活动区利用录音机 (美国 Wildlife Acoustics 公司, 型号 SM4) 分别录制了 3 d 和 43 d 的录音。通过 Kaleidoscope Pro 4.0.3 软件 (美国 Wildlife Acoustics 公司), 量化录音并提取反应大鹰鸱鸣声特征的参数, 进而自动识别出录音中大鹰鸱的鸣声。在优化识别条件后, 对大鹰鸱鸣声识别的正确率可以达到 60.26%, 探测率可以达到 44.71%。发现大鹰鸱有两个鸣叫的高峰, 一个在 3:00 时, 另一个在 19:00 时。与同域分布的其他鸟类相比, 大鹰鸱鸣声的高峰时段持续的时间更长, 且具有夜间鸣叫的特点。结合大鹰鸱的生活史, 我们对其鸣声日节律进行了讨论。

关键词: 大鹰鸱; 鸣声日节律; 声音识别

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2017) 06-945-09

Daily Vocal Pattern of Large Hawk Cuckoo (*Hierococcyx sparverioides*)

HUANG Wan-Ping^① XU Shu-Ting^{①#} LIANG Wei^② XIA Can-Wei^{①*}

① Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity and Ecological Engineering, College of Life Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875; ② Ministry of Education Key Laboratory for Tropical Animal and Plant Ecology, College of Life Sciences, Hainan Normal University, Haikou 571158, China

Abstract: Bird song is a vocal behavior that serves as a means of territory defense and/or mate attraction during the breeding season. In non-Passeriformes birds, vocalizations are often simple and stereotyped, without song behavior. However, for certain non-Passeriformes birds, such as cuckoos (Cuculidae), their

基金项目 北京市自然科学基金项目 (No. 5173030), 中央高校基本科研业务费专项资金项目 (No. 2015NT11);

* 通讯作者, E-mail: xiacanwei@bnu.edu.cn;

第一作者介绍 黄婉萍, 女, 本科生; 研究方向: 神经退行性疾病的模型构建和机制研究; E-mail: huangwp@mail.bnu.edu.cn;

共同第一作者介绍 徐姝婷, 女, 本科生; 研究方向: 人类干细胞及生殖细胞分化机制; E-mail: xust@mail.bnu.edu.cn。

收稿日期: 2017-05-27, 修回日期: 2017-07-15 DOI: 10.13859/j.cjz.201706003

vocalizations, although stereotyped (Fig. 1), are also important in territory defense and attracting females, similar to the function of songs in Passeriformes birds. During the breeding season, birds face the trade-offs in investment between breeding and survival. Bird song as a costly sexually display, its activity can be influenced by bird's life history and ambient environment. In this study, we investigated the daily variation of call activity of Large Hawk Cuckoo *Hierococcyx sparveroides*, based on recordings from Xiaolongmen National Forestry Park (40°00'N, 115°26'E) in Beijing. These audio recordings were collected with recorders (Wildlife Acoustics, USA) from May 30th to June 1st in 2016, and May 14th to June 25th in 2017. Detections of Large Hawk Cuckoo call events were obtained with automated sound recognition in Kaleidoscope Pro 4.0.3 software (Wildlife Acoustics, USA), with the accuracy rate and detection rate for detecting of 60.26% and 44.71%, respectively (Fig. 2). In general, there is more investment in vocal behavior in Large Hawk Cuckoo than most other sympatric bird species in our study area (Fig. 3). There were two peaks (more than 100 calls per hour in each recorder) in vocal output, with one around 3:00, and the other around 19:00 (Fig. 4). The Large Hawk Cuckoo also had nocturnal calls, with about 50 calls per hour in each recorder at midnight (Fig. 4). We discussed the potential relationship between daily vocal pattern and life history of the bird.

Key words: Large Hawk Cuckoo, *Hierococcyx sparveroides*; Daily vocal pattern; Sound detection

鸣唱多为处于繁殖期的雀形目雄性鸟类发出, 一般委婉而复杂, 起到保卫领域和吸引配偶的作用 (Collins 2004)。非雀形目鸟类由于缺乏内鸣肌, 无法发出复杂的鸣声。但鸱形目 (Cuculiformes) 和鸮形目 (Strigiformes) 鸟类的鸣叫也起到保卫领域或吸引配偶的作用, 在功能上和雀形目鸟类的鸣唱类似 (König et al. 1999, Payne 2005)。繁殖期鸟类的鸣唱是一个高耗能的行为 (Thomas 2002, Ward et al. 2004, Barnett et al. 2007)。鸣唱行为本身会导致能量消耗的提高, 如对乌鸫 (*Turdus merula*) 和斑胸草雀 (*Taeniopygia guttata*) 的研究显示, 鸣唱时的能量消耗是基础代谢率的 1.1 倍至 4 倍 (Clark 2012)。鸟类为了鸣唱声音的传播, 通常会选择在树顶等开阔处发出声音, 而开阔处体温的丧失加剧了能量的消耗 (Ward et al. 2005)。最为重要的是鸣唱限制了鸟类觅食的时间, 进而减少了能量的获取 (Barnett et al. 2007)。Hutchinson 等 (1993, 2002) 认为鸟类在鸣唱投入 (繁殖) 和觅食活动 (生存) 中存在权衡, 并从理论上推导出鸟类具有晨、昏两个鸣唱的高峰。晨、昏时由于光线不足, 鸟类

觅食效率较低, 相应鸣唱的代价较少, 故多数鸟类鸣唱的日节律呈现晨、昏两个高峰, 白天鸣唱较少的模式 (Thomas et al. 2002, Berg et al. 2006, Ockendon et al. 2009)。

鸟类由于生活史策略的多样性, 鸣唱的日节律在不同类群中也有较大的变化 (Marler 1955, Kempenaers et al. 2010, Sethi et al. 2011)。比如, 日行性鸟类早高峰的鸣唱强度要大于晚高峰, 而夜行性鸟类却恰好相反 (Hardouin et al. 2008, Penteriani et al. 2009)。鸟类为了适应所在的生境, 即使是同一物种的不同种群也存在鸣唱日节律的差异, 如城市生活的乌鸫和大山雀 (*Parus major*) 受到城市灯光和交通噪音的影响, 会提前鸣唱早高峰开始的时间 (Gil et al. 2015, Silva et al. 2016); 热带雨林中高音量的蝉鸣会导致同域分布鸟类鸣唱时长缩短 (Hart et al. 2015, Stanley et al. 2016)。正因为鸟类鸣唱的日节律与鸟类生活史策略密切相关, 故而得到研究者的关注 (Foote et al. 2008, Snijders et al. 2015)。

大鹰鸮 (*Hierococcyx sparveroides*) 是鸱形目杜鹃科 (Cuculidae) 的鸟类, 为我国东部

地区常见的夏候鸟 (Payne 2005)。同多数的杜鹃科鸟类一样, 大鹰鹃具有巢寄生的习性: 将卵产在其他鸟类 (宿主) 的巢中, 由宿主鸟类代为孵化和抚育 (Marler 1955, Erritzøe et al. 2012)。杜鹃科鸟类进化出一系列的行为来适应巢寄生的生活, 如产模拟宿主卵色的卵 (Honza et al. 2014, Yang et al. 2015), 利用鸟类离巢较多的下午产卵 (Gloag et al. 2014, Soler 2014), 羽色模仿猛禽以驱赶宿主获得产卵的机会 (Gluckman et al. 2013)。已有的研究多关注杜鹃科的雌鸟与宿主鸟类之间的相互关系, 近年来对雄鸟鸣声的研究亦得到重视, 如杜鹃科雄鸟鸣声的个体差异 (Jung et al. 2014, Zsebok et al. 2017); 通过杜鹃科雄鸟鸣声的数量来反映生境中鸟类的多样性 (Tryjanowski et al. 2015, Møller et al. 2016); 利用鸣声研究杜鹃科雄鸟之间的社群结构 (Moskkat et al. 2017); 利用雄鸟鸣声研究杜鹃科鸟类种下和种间的分化 (Wei et al. 2015, Xia et al. 2016)。但目前尚缺乏对杜鹃科鸟类鸣声日节律的研究。考虑到鸣声日节律与鸟类生活史策略的密切联系, 我们以大鹰鹃为研究对象, 通过声音自动识别技术来定量研究大鹰鹃鸣声的日节律, 并探讨其对巢寄生生活的适应。

1 材料与方法

1.1 录音获取

野外工作于鸟类繁殖季在北京小龙门森林

公园 (40°00'N, 115°26'E) 开展。分别于 2016 年 5 月 30 日至 6 月 1 日使用 9 台录音机 (美国 Wildlife Acoustics 公司, 型号 SM4), 2017 年 5 月 14 日至 6 月 25 日使用 6 台录音机 (型号同上), 在大鹰鹃活动区域录制声音。录音机全天工作, 录音参数设置为: 采样频率 22.05 kHz, 采样精度 16 bit, 保存为 wav 格式。2016 年相邻录音点间隔约 250 m, 2017 年相邻录音点间隔约 500 m, 均大于录音机的有效录音范围 (约 100 m), 以确保不同录音机不会录到同一段声音。2016 年录音机全部正常工作, 获得 27 天次的录音。2017 年有一台录音机缺失 13 d 的录音, 获得 245 天次的录音。

1.2 大鹰鹃鸣声量化

使用 Avisoft-SASLab Pro 5.1.09 软件 (Avisoft Bioacoustics, 德国) 将录音经快速傅里叶变换 (fast Fourier transform) 为语图 (sound spectrograms)。生成语图的参数设置为: 重采样 (resampling) = 8 kHz, 步长 (length) = 256 points, 哈明窗口 (Hamming window), 帧长 (frame size) = 100%, 重叠 (overlap) = 50%, 频率分辨率 (frequency resolution) = 31 Hz, 时间分辨率 = 16 ms。大鹰鹃的鸣声有两种句型 (图 1): 一种为频率几乎不变的单音素构成 (句型 I), 另一种为频率变化较大的双音素构成 (句型 II)。在野外观察中, 我们发现大鹰鹃主要发出句型 II 的鸣声, 句型 I 多出现在每段鸣叫的起始阶段。由于句型 I 在鸣叫中的比率

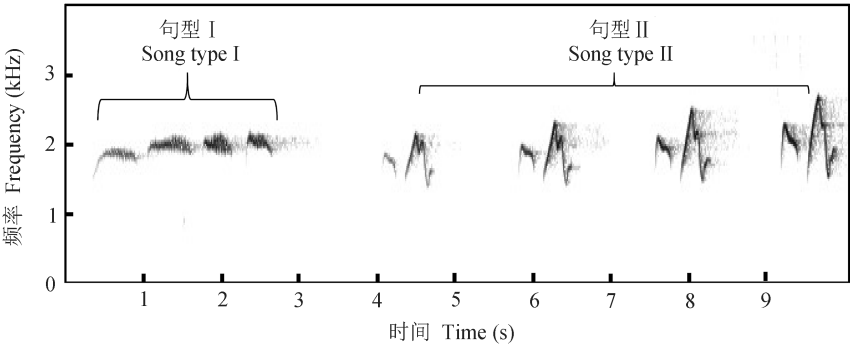


图 1 大鹰鹃鸣声的语图
Fig. 1 Spectrograms of *Hierococcyx sparverii*

较低,且易与其他鸟类的鸣声相混淆(King 2001),参照 King(2005)和 Lindholm 等(2007)研究,我们只关注句型 II 的鸣声。结合语图和人耳识别,标出了 4 台录音机 2016 年 5 月 30 日全天录音中大鹰鹃句型 II 的音节数量和出现的时间,用于后续自动识别大鹰鹃鸣声的校正。

1.3 大鹰鹃鸣声自动识别

使用 Kaleidoscope Pro 4.0.3 软件(美国 Wildlife Acoustics 公司)自动识别录音中大鹰鹃的鸣声。该软件通过提取声音时频参数和建立模型两个步骤来实现目标声音的自动识别。声音提取时,我们选择信噪比大于 5 dB,频率范围 1.5~2.8 kHz,持续时间为 0.1~7.5 s 的声音作为候选声音(candidate vocalization)。候选声音的时间跨度略大于大鹰鹃鸣声,以减少自动识别时大鹰鹃鸣声的遗漏。建立模型时,软件通过离散余弦变换(discrete cosine transform)提取候选声音的特征建立模型。并且可以通过手动剔除不属于大鹰鹃的鸣声完成模型的修正。修正后的模型用于自动识别出所有录音中大鹰鹃的鸣声,进而计算出每小时大鹰鹃鸣声的音节数量。

1.4 计算声学复杂度指数

利用基于 R 3.3.2(R Development Core Team, 2016)的程序包 seewave 计算声学复杂度指数(acoustics complexity index)(Sueur et al. 2008)。该指数反应生境中鸟类发出鸣声的活跃程度(Farina et al. 2011, Pieretti et al. 2011),可用于近似衡量群落中鸟类总体鸣声的日节律(伦可环等 2017)。其中 2016 年布设的一台录音机因靠近公路,受到交通噪音影响,在计算声学复杂度指数时排除在外。对 2016 年 8 台录音机共 24 天次录音,分小时计算了声学复杂度指数。

1.5 数据分析

自动识别出的声音,可分为大鹰鹃鸣叫的音节(正确识别)和非大鹰鹃鸣叫的音节(错误识别)。使用探测率(detection rate)和正确率(accuracy rate)来评估自动识别的优劣(Jahn

et al. 2017)。探测率为自动识别的大鹰鹃鸣叫音节数量占真实鸣叫音节数量的比率,正确率为自动识别的大鹰鹃鸣叫音节数量占自动识别全部音节数量(正确识别加错误识别之和)的比率。其中大鹰鹃真实鸣叫的音节数量以 4 天次录音中人工识别的大鹰鹃鸣叫音节数量为准。利用配对样本 *T* 检验比较基于时频参数提取大鹰鹃鸣声和基于模型自动识别大鹰鹃鸣声这两个步骤的探测率和正确率的变化。

计算了每台录音机每小时录到的大鹰鹃鸣声音节数量的均值,以此反应大鹰鹃鸣声的日节律。利用 Pearson 相关分析比较了 2016 年录音中大鹰鹃鸣声日节律与群落中鸟类总体鸣声日节律的关联。利用重复性检验(repeatability analysis)(Nakagawa et al. 2010)比较 2017 年 43 d 录音中大鹰鹃鸣声日节律的变化。重复性检验比较不同日期同一时间大鹰鹃鸣叫音节数量的变异程度与同一日期不同时间大鹰鹃鸣叫音节数量的变异程度,若后者显著的大于前者,则表明大鹰鹃鸣声的日节律在整个录音期间具有稳定性。

统计分析利用 R 3.3.2(R Development Core Team, 2016)完成,其中重复性检验基于“rptR”包实现(Nakagawa et al. 2010)。数据用“平均值 ± 标准误”的形式表示。所有检验在 $P < 0.05$ 时认为差异显著。基于参数检验的数据均不拒绝正态分布的零假设(K-S 检验, $P > 0.05$)。本研究经过北京师范大学生命科学学院动物伦理委员会的许可,许可证号为 CLS-EAW-2016-017。

2 结果

2.1 大鹰鹃鸣声的自动识别

计算人工量化的 4 天次录音(来自 2016 年 5 月 30 日 4 台录音机)在自动识别中的正确率和探测率(图 2)。采用时频参数提取大鹰鹃鸣声,最低探测率为 42.63%,最高探测率为 75.12%,平均探测率为 59.16%;最低正确率为 7.73%,最高正确率为 49.44%,平均正确率为

24.84%。建立模型后的自动识别, 最低探测率为 26.21%, 最高探测率为 63.34%, 平均探测率为 44.71%; 最低正确率为 30.63%, 最高正确率为 89.73%, 平均正确率为 60.26%。相比于时频参数提取大鹰鹃鸣声, 建立模型后自动识别的探测率下降了 14.45% (配对样本 T 检验, $t_3 = 12.206$, $P < 0.01$), 而正确率上升了 35.42% (配对样本 T 检验, $t_3 = 4.223$, $P < 0.05$)。

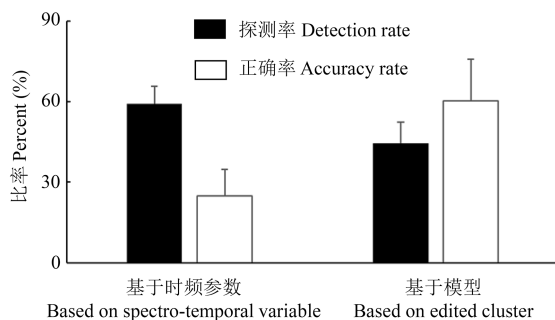


图 2 基于时频参数和模型识别大鹰鹃鸣声的探测率和正确率 (平均值 $\pm$ 标准误)

Fig. 2 Detection rate and accuracy rate for detecting *Hierococcyx sparverii* call based on spectro-temporal variable and edited cluster (Mean $\pm$ SE)

2.2 大鹰鹃鸣声的日节律

基于 2016 年的录音 (5 月 30 日至 6 月 1 日), 以声学复杂度指数反应的鸟类群落鸣声日节律与大鹰鹃鸣声日节律有显著的相关性 (Pearson 相关系数为 0.609, $P < 0.01$): 二者均存在黎明和傍晚两个鸣声高峰 (图 3)。大鹰鹃鸣声早高峰 3:00 时开始, 而群落中的鸟类多在 4:00 时以后开始鸣唱。晚高峰时群落中鸟类鸣声活跃程度要低于早高峰, 而大鹰鹃晚高峰鸣叫的音节数量与早高峰相当。大鹰鹃彻夜发出鸣声, 尤其是午夜有一个鸣声的小高峰 (音节数量 100 个/h), 而群落中大部分鸟类在夜间基本不发出鸣声。

基于 2017 年 43 d (5 月 14 日至 6 月 25 日) 的录音, 大鹰鹃鸣声的日节律在整个监测时期有很强的稳定性 (重复性分析, 重复性系数为

0.270 ± 0.061 , $P < 0.01$)。与 2016 年类似 (图 3), 2017 年大鹰鹃鸣声存在两个高峰 (图 4)。鸣声音节数量的最大值为 147 个/h, 出现在 3:00 时。随后鸣声活跃程度下降, 8:00 ~ 17:00 时鸣声音节数量不足 50 个/h。19:00 时为鸣声的晚高峰, 音节数量为 114 个/h。21:00 时和 22:00 时为全天鸣声的最低谷, 音节数量分别为 11 个/h 和 12 个/h。23:00 时以后, 鸣声活跃程度逐渐上升 (音节数量约为 50 个/h), 直至次日 3:00 时达到鸣声活跃程度的最高峰。

3 讨论

我们量化了北京小龙门森林公园大鹰鹃的鸣声。基于 2016 年 27 天次的录音, 发现相比于群落鸟类鸣声活跃程度, 大鹰鹃鸣声的早高峰更早, 晚高峰持续时间更长, 且具有夜间鸣叫的特点。基于 2017 年 245 天次的录音, 发现大鹰鹃有两个鸣声的高峰: 一个在 3:00 时, 另一个在 19:00 时, 此时段每台录音机平均可录到 100 个/h 以上的音节。在这两个高峰期之间的低谷, 音节数不足 50 个/h。21:00 时和 22:00 时大鹰鹃鸣声最不活跃, 每台录音机仅录到 11 个/h 和 12 个/h 音节。随后大鹰鹃鸣声活跃程度逐渐增加, 午夜前后每台录音机平均可录到约 50 个/h 音节。

通过软件自动识别目标声音, 相比于人耳从录音中辨识声音, 可以大幅减少工作量 (Potamitis 2014, Jahn et al. 2017)。但由于野外录音环境复杂, 生物噪音 (非目标物种的鸣声) 和非生物噪音 (风声、交通噪音) 均会影响自动识别声音的准确性 (Towsey et al. 2012, Ganchev et al. 2015)。为提高自动识别的精度, 我们使用 Kaleidoscope Pro 4.0.3 软件, 基于大鹰鹃鸣叫音节的时频参数和软件提取的声音特征两个步骤来识别出录音中大鹰鹃的鸣声。基于时频参数识别大鹰鹃鸣声的正确率较低, 只有 24.84%。是由于我们使用的时频参数略大于大鹰鹃实际鸣声的范围, 目的是减少识别时大鹰鹃鸣声的遗漏, 提供更多的候选声音供软件

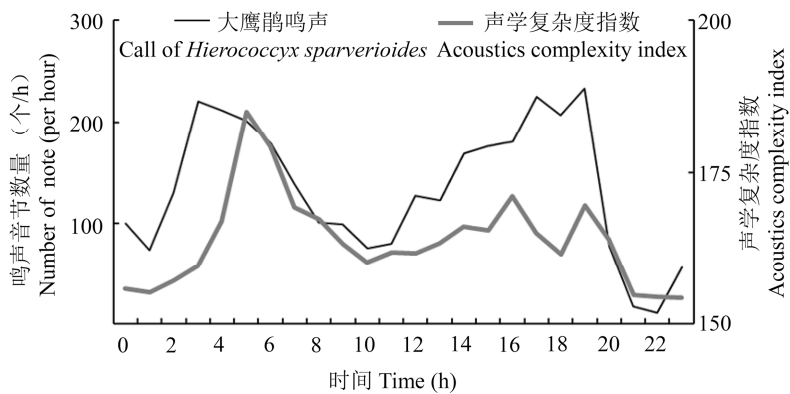


图3 大鹰鹃鸣声的日节律和声学复杂度指数的日变化 (2016)

Fig. 3 Daily vocal pattern in *Hierococcyx sparveroides* and daily variation of acoustics complexity index (2016)

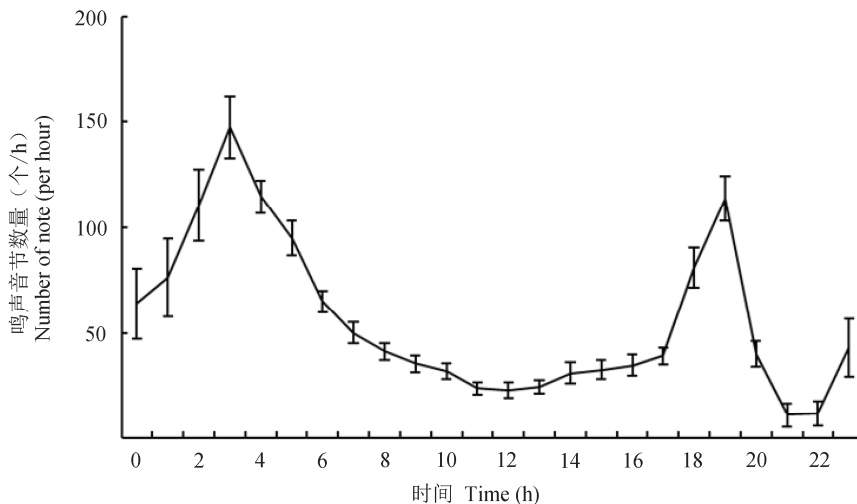


图4 大鹰鹃鸣声的日节律 (2017) (平均值 $\pm$ 标准误)

Fig. 4 Daily vocal pattern in *Hierococcyx sparveroides* (2017) (Mean $\pm$ SE)

提取声音特征。软件基于离散余弦变换对候选声音提取特征后,自动识别的正确率显著上升,增加到 60.26%。虽然仍有错误识别和未识别的音节,但由于正确率 (60.26%) 和探测率 (44.71%) 相当,识别出的音节数量较为接近真实的鸣声数量 (Jahn et al. 2017)。通过核对录音,我们发现背景噪音大 (大鹰鹃鸣声音量未超出背景音量 5 dB) 是导致探测率低的主要原因。群落中鸟类鸣声较为活跃的日出和日落两个时段,大鹰鹃鸣声的音节数量要比基于自动识别的更多。总之,虽然自动识别大鹰鹃鸣声存在错误识别和未识别的音节,但并不影响

本研究发现大鹰鹃存在日出和日落两个鸣声高峰,及夜间鸣叫的日节律。

同雀形目鸟类鸣唱的功能类似,杜鹃的鸣声被认为起到保卫领域和吸引配偶的作用 (Marler 1955, Erritzøe et al. 2012)。雀形目鸟类,尤其是雄鸟参与孵卵和育雏的类群,雄鸟在孵卵开始后会大幅度降低鸣唱强度 (Catchpole 1973, Birkhead et al. 1992),反应了能量分配的权衡 (Shutler 2011)。大鹰鹃营巢寄生生活,亲鸟不需要投入能量用于孵卵和育雏,这可能是导致大鹰鹃鸣声高峰时段持续时间长的原因。此外,随着雄鸟密度增加导致

性内竞争加剧,也会增加鸣唱强度 (Schmidt et al. 2007, Xia et al. 2014)。但由于缺乏不同地区大鹰鹃密度的比较,尚无法检验种群密度对大鹰鹃鸣声日节律的影响。

从大鹰鹃鸣声的日节律看,早高峰鸣叫的音节数量多于晚高峰,具有日行性鸟类的特点。但大鹰鹃在夜晚仍然会鸣叫,并且在午夜时鸣声活跃程度就开始上升。夜间空气温度低、背景噪音小,有利于声音的传播 (Wiley et al. 1978, Naguib et al. 2008, Brumm et al. 2009),可能是大鹰鹃利用夜间鸣叫的原因。此外,对新疆歌鸲 (*Luscinia megarhynchos*) 的研究显示,夜间鸣唱和白天鸣唱具有不同的功能,前者主要为吸引异性,而后者更多的用于保卫领域 (Amrhein et al. 2002, Naguib et al. 2011)。大鹰鹃夜间鸣声是否与白天鸣声存在功能的分化,尚有待进一步的验证。

致谢 感谢北京师范大学张雁云教授的悉心指导,北京小龙门森林公园、北京师范大学实习团队的支持,以及北京师范大学生命科学学院鸟类研究组的陈功、李扬、邓竹青、胥帅帅和伦可环同学的帮助及提供的宝贵建议。

参 考 文 献

- 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.
- Barnett C A, Briskie J V. 2007. Energetic state and the performance of dawn chorus in silvereyes (*Zosterops lateralis*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 61(4): 579–587.
- Berg K S, Brumfield R T, Apanius V. 2006. Phylogenetic and ecological determinants of the neotropical dawn chorus. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273(1589): 999–1005.
- Birkhead T R, Møller A P. 1992. *Sperm Competition in Birds: Evolutionary Causes and Consequences*. London: Academic Press.
- Brumm H, Naguib M. 2009. Environmental acoustics and the evolution of bird song. *Advances in the Study of Behavior*, 40: 1–33.
- Catchpole C K. 1973. The functions of advertising song in the sedge warbler *Acrocephalus schoenobaenus* and the reed warbler *A. scirpaceus*. *Behaviour*, 46(3): 300–320.
- Clark C J. 2012. The role of power versus energy in courtship: what is the ‘energetic cost’ of a courtship display? *Animal Behaviour*, 84(1): 269–277.
- Collins S A. 2004. Vocal fighting and flirting: the functions of birdsong // Marler P, Slabbekoorn H. *Nature’s Music the Science of Birdsong*. New York: Elsevier Academic Press, 39–79.
- Erritzøe J, Mann C F, Brammer F P, et al. 2012. *Cuckoos of the World*. London: Christopher Helm.
- Farina A, Pieretti N, Piccioli L. 2011. The soundscape methodology for long-term bird monitoring: a Mediterranean Europe case-study. *Ecological Informatics*, 6(6): 354–363.
- Foote J R, Fitzsimmons L P, Mennill D J, et al. 2008. Male chickadees match neighbors interactively at dawn: support for the social dynamics hypothesis. *Behavioral Ecology*, 19(6): 1192–1199.
- Ganchev T D, Jahn O, Marques M I, et al. 2015. Automated acoustic detection of *Vanellus chilensis lampronotus*. *Expert Systems with Applications*, 42(15): 6098–6111.
- Gil D, Honarmand M, Pascual J, et al. 2015. Birds living near airports advance their dawn chorus and reduce overlap with aircraft noise. *Behavioral Ecology*, 26(2): 435–443.
- Gloag R, Keller L A, Langmore N E. 2014. Cryptic cuckoo eggs hide from competing cuckoos. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1792): 20141014.
- Gluckman T L, Mundy N I. 2013. Cuckoos in raptors’ clothing: barred plumage illuminates a fundamental principle of Batesian mimicry. *Animal Behaviour*, 86(6): 1165–1181.
- Hardouin L A, Robert D, Bretagnolle V. 2008. A dusk chorus effect in a nocturnal bird: support for mate and rival assessment functions. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 62(12): 1909–1918.
- Hart P J, Hall R, Ray W, et al. 2015. Cicadas impact bird communication in a noisy tropical rainforest. *Behavioral Ecology*, 26(3): 839–842.
- Honza M, Sulc M, Jelinek V, et al. 2014. Brood parasites lay eggs matching the appearance of host clutches. *Proceedings of the*

- Royal Society B: Biological Sciences, 281(1774): 20132665
- Hutchinson J M C. 2002. Two explanations of the dawn chorus compared: how monotonically changing light levels favour a short break from singing. *Animal Behaviour*, 64(4): 527–539.
- Hutchinson J M C, McNamara J M, Cuthill I C. 1993. Song, sexual selection, starvation and strategic handicaps. *Animal Behaviour*, 45(6): 1153–1177.
- Jahn O, Ganchev T D, Marques M I, et al. 2017. Automated sound recognition provides insights into the behavioral ecology of a tropical bird. *PLoS One*, 12(1): e0169041.
- Jung W J, Lee J W, Yoo J C. 2014. “cu-coo”: Can you recognize my stepparents? a study of host-specific male call divergence in the common cuckoo. *PLoS One*, 9(3): e90468.
- Kempenaers B, Borgstrom P, Loes P, et al. 2010. Artificial Night lighting affects dawn song, extra-pair siring success, and lay date in songbirds. *Current Biology*, 20(19): 1735–1739.
- King B. 2001. The *Hierococcyx fugax*, Hodgson's Hawk Cuckoo, complex. *Bulletin of the British Ornithologists' Club*, 122(1): 74–80.
- King B. 2005. The taxonomic status of the three subspecies of *Cuculus saturatus*. *Bulletin of the British Ornithologists' Club*, 125(1): 48–55.
- König C, Weick F, Becking J H. 1999. *Owls: A Guide to the Owls of the World*. New Haven: Yale University.
- Lindholm A, Linden A. 2007. Some notes on the distribution and songs of two oriental cuckoo taxa, *Cuculus (saturatus) saturatus* and *Cuculus (saturatus) optatus*. *Forktail*, 23: 12–16.
- Marler D P. 1955. Characteristics of some animal calls. *Nature*, 176(4470): 6–8.
- Møller A P, Morelli F, Mousseau T A, et al. 2016. The number of syllables in Chernobyl cuckoo calls reliably indicate habitat, soil and radiation levels. *Ecological Indicators*, 66: 592–597.
- Moskkat C, Elek Z, Ban M, et al. 2017. Can common cuckoos discriminate between neighbours and strangers by their calls? *Animal Behaviour*, 126: 253–260.
- Naguib M, Kunc H P, Sprau P, et al. 2011. Communication networks and spatial ecology in nightingales. *Advances in the Study of Behavior*, 43: 239–271.
- Naguib M, Schmidt R, Sprau P, et al. 2008. The ecology of vocal signaling: male spacing and communication distance of different song traits in nightingales. *Behavioral Ecology*, 19(5): 1034–1040.
- Nakagawa S, Schielzeth H. 2010. Repeatability for Gaussian and non-Gaussian data: a practical guide for biologists. *Biological Reviews*, 85(4): 935–956.
- Ockendon N, Davis S E, Toms M P, et al. 2009. Eye size and the time of arrival of birds at garden feeding stations in winter. *Journal of Ornithology*, 150(4): 903–908.
- Payne R B. 2005. *The Cuckoos*. New York: Oxford University Press.
- Penteriani V, del Mar Delgado M. 2009. The dusk chorus from an owl perspective: eagle owls vocalize when their white throat badge contrasts most. *PLoS One*, 4(4): e4960.
- Pieretti N, Farina A, Morri D. 2011. A new methodology to infer the singing activity of an avian community: the acoustic complexity index (ACI). *Ecological Indicators*, 11(3): 868–873.
- Potamitis I. 2014. Automatic classification of a taxon-rich community recorded in the wild. *PLoS One*, 9(5): e96936.
- Schmidt R, Amrhein V, Kunc H P, et al. 2007. The day after: effects of vocal interactions on territory defence in nightingales. *Journal of Animal Ecology*, 76(1): 168–173.
- Sethi V K, Bhatt D, Kumar A. 2011. The effect of mate removal on dawn singing behaviour in male pied bush chats. *Current Zoology*, 57(1): 72–76.
- Shutler D. 2011. Sexual selection: when to expect trade-offs. *Biology Letters*, 7(1): 101–104.
- Silva A D, Valcu M, Kempenaers B. 2016. Behavioural plasticity in the onset of dawn song under intermittent experimental night lighting. *Animal Behaviour*, 117: 155–165.
- Snijders L, van Rooij E P, Henskens M F A, et al. 2015. Dawn song predicts behaviour during territory conflicts in personality-typed great tits. *Animal Behaviour*, 109: 45–52.
- Soler M. 2014. Long-term coevolution between avian brood parasites and their hosts. *Biological Reviews*, 89(3): 688–704.
- Stanley C Q, Walter M H, Venkatraman M X, et al. 2016. Insect noise avoidance in the dawn chorus of Neotropical birds. *Animal Behaviour*, 112: 255–265.
- Sueur J, Aubin T, Simonis C. 2008. Seewave, a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics*, 18(2): 213–226.

- Thomas R J. 2002. The costs of singing in nightingales. *Animal Behaviour*, 63(5): 959–966.
- Thomas R J, Szekely T, Cuthill I C, et al. 2002. Eye size in birds and the timing of song at dawn. *Proceedings of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences*, 269(1493): 831–837.
- Towsey M, Planitz B, Nantes A, et al. 2012. A toolbox for animal call recognition. *Bioacoustics*, 21(2): 107–125.
- Tryjanowski P, Morelli F. 2015. Presence of cuckoo reliably indicates high bird diversity: a case study in a farmland area. *Ecological Indicators*, 55: 52–58.
- Ward S, Lampe H M, Slater P J B. 2004. Singing is not energetically demanding for pied flycatchers, *Ficedula hypoleuca*. *Behavioral Ecology*, 15(3): 477–484.
- Ward S, Slater P J B. 2005. Raised thermoregulatory costs at exposed song posts increase the energetic cost of singing for willow warblers *Phylloscopus trochilus*. *Journal of Avian Biology*, 36(4): 280–286.
- Wei C T, Jia C X, Dong L, et al. 2015. Geographic variation in the calls of the common cuckoo (*Cuculus canorus*): isolation by distance and divergence among subspecies. *Journal of Ornithology*, 156(2): 533–542.
- Wiley R H, Richards D G. 1978. Physical constraints on acoustic communication in the atmosphere: implications for the evolution of animal vocalizations. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 3(1): 69–94.
- Xia C, Liang W, Carey G J, et al. 2016. Song characteristics of oriental cuckoo *Cuculus optatus* and himalayan cuckoo *Cuculus saturatus* and implications for distribution and taxonomy. *Zoological Studies*, 55: 38.
- Xia C, Wei C, Lloyd H, et al. 2014. Dawn singing intensity of the male brownish-flanked bush warbler: effects of territorial insertions and number of neighbors. *Ethology*, 120(4): 324–330.
- Yang C, Wang L, Cheng S J, et al. 2015. Deficiency in egg rejection in a host species as a response to the absence of brood parasitism. *Behavioral Ecology*, 26(2): 406–415.
- Zsebok S, Moskat C, Ban M. 2017. Individually distinctive vocalization in common cuckoos (*Cuculus canorus*). *Journal of Ornithology*, 158(1): 213–222.
- 伦可环, 张雁云, 夏灿玮. 2017. 基于声音指数的鸟类多样性监测. *生物学通报*, 52(12): 1–5.