

基于自动录音技术研究三种雉类 鸣叫特征和节律

郝佩佩 张雁云*

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院 北京 100875

摘要: 自动录音机是一种低成本、高效、可以在较长时间和较大空间范围内对物种的活动进行有效监测的设备。2019年4至6月,在北京小龙门地区(40°00' N, 115°26' E)褐马鸡(*Crossoptilon mantchuricum*)、勺鸡(*Pucrasia macrolopha*)和环颈雉(*Phasianus colchicus*)的栖息地内布设了 songmeter 自动录音机,对三种雉类的鸣声进行为期2个月的连续收集。利用 Kaleidoscope 软件(Wildlife Acoustics 公司,美国),对不同雉类鸣声进行了人工辅助的机器学习和自动识别,从录制的 22 536 h 录音数据中提取了褐马鸡、勺鸡和环颈雉的鸣声。优化鸣声提取的时频参数后,勺鸡鸣声提取的正确率为 73.32%,探测率为 52.91%;环颈雉鸣声提取的正确率为 89.32%,探测率为 67.36%;褐马鸡鸣声提取的正确率较低,仅为 8.69%,探测率为 58.54%。结合三种雉类的繁殖资料,揭示了三种雉类的鸣声节律:褐马鸡和环颈雉有早晚两个鸣叫高峰期,但高峰时段不尽相同,勺鸡只存在鸣叫早高峰;褐马鸡、勺鸡和环颈雉在交配期、孵卵前期具有一个鸣叫高峰。

关键词: 褐马鸡; 勺鸡; 环颈雉; 鸣叫节律; 自动录音

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2020) 05-552-08

Acoustic Characteristics and Vocal Rhythms of Three Pheasant Species Using Automatic Recording in Xiaolongmen, Beijing

HAO Pei-Pei ZHANG Yan-Yun*

Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity and Ecological Engineering, College of Life Sciences,

Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: Automatic acoustic recorder is a low-cost, high-efficiency research equipment that can effectively monitor the activity level of species in a large space range and long-time span. To understand the rhythm of the Galliformes birds, vocalization of Brown Eared Pheasant (*Crossoptilon mantchuricum*), Koklass Pheasant (*Pucrasia macrolopha*) and Ring-necked Pheasant (*Phasianus colchicus*) were recorded using 40 automatic recorders in the Xiaolongmen National Forestry Park during 2019 breeding season (from April 27th to June

基金项目 国家重点研发计划项目 (No. 2016YFC0503200) 和国家自然科学基金项目 (No. 31872243);

* 通讯作者, E-mail: zhangyy@bnu.edu.cn;

第一作者介绍 郝佩佩, 女, 硕士研究生; 研究方向: 生态学; E-mail: 201921200053@mail.bnu.edu.cn.

收稿日期: 2020-04-20, 修回日期: 2020-06-28 DOI: 10.13859/j.cjz.202005002

31st). The calls of Brown Eared Pheasant, Koklass Pheasant and Ring-necked Pheasant were extracted based on human-assisted machine learning. By optimizing the time-frequency parameters of the sound extraction, the correct rates of call extraction of the Koklass Pheasant and Ring-necked Pheasant were 73.32% and 89.32%, with the detection rates of 52.91% and 67.36%; however, the correct rate of call extraction of Brown Eared Pheasant was only 8.69% with the detection rate of 58.54%. Peak frequency, syllable duration, number of syllables and strophe duration were measured for each species. Acoustic characteristics were compared among species using *K-S* test and *F*-test. The calls of Brown Eared Pheasant were occurred rich in harmonics, while Koklass Pheasant and Ring-necked Pheasant were relatively few harmonics (Fig. 1, Table 1). Both breeding rhythms and daily rhythms on vocal activity were compared among species using *T*-test. In terms of breeding rhythms, all these three pheasant species had a peak of vocal activity during mating and early hatching periods (Fig. 2); in terms of daily rhythm, the Brown Eared Pheasant and the Ring-necked Pheasant had two peaks in the morning and evening, while Koklass Pheasant only had one peak of dawn calling (Fig. 3).

Key words: Brown Eared Pheasant, *Crossoptilon mantchuricum*; Koklass Pheasant, *Pucrasia macrolopha*; Ring-necked Pheasant, *Phasianus colchicus*; Vocal rhythm; Automatic recording

动物声音的记录和分析, 在行为学、分类学、生态学等研究中发挥着重要的作用 (Abrahams 2019)。与传统录音方法不同, 野外自动录音技术是将自动录音机放置在动物的自然生境中, 依照设定好的录音程序自动、长时间录音。避免了录音过程中, 人携带录音机和麦克风去现场录音对动物的干扰, 也降低了传统鸟类调查由于野外经验和识别能力而产生的偏差, 使数据收集更客观、标准 (Venier et al. 2012)。通过在一个区域长时间布设自动录音机矩阵, 可覆盖较大的空间和跨越较长时间收集数据, 同步录音也消除了样本之间的时间差异 (Alquezar et al. 2015)。随着自动录音和声音分析技术的不断完善与发展, 自动录音技术已广泛应用于物种监测、生物多样性评估、行为研究等工作中 (Darras et al. 2018)。

鸟类在繁殖期通常会发出响亮的鸣声, 发出鸣声的频次与占区、维持配偶关系等繁殖活动密切相关。雄鸟在繁殖期不同阶段鸣唱节律会发生改变, 如交配后的雄性新疆歌鸲 (*Luscinia megarhynchos*) 在配偶产卵前会停止夜间鸣唱, 未配对的雄性新疆歌鸲则会一直鸣唱到繁殖季结束 (Amrhein 1999)。鸟类的鸣声还表现出 24 h 为周期的日节律, 常存在早晚

两个鸣声高峰, 如大鹰鸲 (*Hierococcyx sparveroides*) 分别在 3:00 时和 19:00 时左右出现两个鸣唱高峰 (黄婉萍等 2017)。通过对整个繁殖期鸣声节律的分析, 可推断鸟类的繁殖进程, 通过对鸣声日节律的分析, 可深入揭示鸟类的行为特征。

鸡形目鸟类鸣声简单、易分析, 研究却相对薄弱, 已有工作集中在鸣声特征和鸣叫行为描述 (郑光美 2015)、分类和系统发育关系 (Mandiwana-Neudani et al. 2014)、对回放鸣声的反应 (Yang et al. 2011) 等。且鸡形目鸟类多生活在隐秘生境中, 大多性胆怯、易受惊扰, 不易观察和研究, 自动录音技术可以获得其自然、无干扰状态下的大量鸣声资料 (Abrahams et al. 2018, Abrahams 2019), 为多样性调查、种群监测、行为研究等提供支撑。褐马鸡 (*Crossoptilon mantchuricum*)、勺鸡 (*Pucrasia macrolopha*) 和环颈雉 (*Phasianus colchicus*) 是北京西部山区同域繁殖的三种鸡形目鸟类 (张建志 2016), 其中, 褐马鸡是国家 I 级重点保护野生动物, 被 IUCN 红色名录列为易危物种 (IUCN 2019), 勺鸡是国家 II 级重点保护野生动物, 环颈雉是我国分布最广的雉类。

本研究通过自动录音机连续收集了三种雉

类的录音,通过人工辅助的机器学习提取了目标物种的鸣声,查明了三种雉类繁殖季节的鸣声特征及鸣声节律,探讨鸣声行为及其与繁殖周期的关系,为利用鸣声自动分析技术开展雉类种群动态监测和行为学研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 研究地和研究对象

研究地点位于北京百花山国家级保护区小龙门保护站(40°00'N, 115°26'E),该区地处太行山脉北段,属小五台山支脉,其西、南分别与河北涿鹿、涞水两县接壤,海拔 1 000 ~ 1 700 m;属于暖温带半湿润季风气候,气候特点是昼夜温差大,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥,年平均气温 7 °C,年降水量 550 mm,全年无霜期 170 d 左右。植被类型以次生天然落叶阔叶林、温带针叶林、落叶松林和落叶阔叶灌丛为主。研究地点内有野生植物 844 种,其中,药用植物 109 余种,分属于 47 科 85 属;野生动物 700 余种,其中,哺乳动物 40 多种,鸟类 150 多种,雉类有褐马鸡、勺鸡和环颈雉。

褐马鸡是中国特产珍稀鸟类,分布范围窄,种群数量少。主要栖息在次生针阔混交林中,一般在 3 月份占区,雄鸟之间常常为争夺配偶而进行激烈搏斗,4 月底产卵,窝卵数 4 ~ 17 枚,5 月开始孵卵,孵卵由雌鸟承担,雄鸟在巢附近活动和警戒,孵卵期 26 d (赵正阶 2001)。勺鸡分布较为广泛,但分布区不连续,种群密度低,是典型的森林雉类。主要栖息于落叶阔叶林或针阔混交林,4 月中下旬雌雄配对,5 月上旬营巢产卵,窝卵数 5 ~ 7 枚,孵卵期 22 d (周天林等 1996),5 月下旬和 6 月上旬在北京地区可见巢卵(蔡其侃 1988)。环颈雉分布范围广,种群数量稳定。栖息于不同海拔的开阔林地、灌木丛、半荒漠及农耕地。依据蔡其侃(1988)的记录和北京师范大学多年的监测,研究区内的环颈雉一般 4 月下旬开始占区,随后开始交配、产卵,5 月下旬到 6 月可见雏鸟,窝卵数 6 ~ 15 枚,孵卵期 22 ~ 29 d。

1.2 鸣声的自动录制、识别和提取

2019 年 4 月 27 日至 6 月 31 日鸟类繁殖季开展野外工作,在褐马鸡、勺鸡和环颈雉活动区域布设 40 台自动录音机(美国 Wildlife Acoustics 公司,型号 SM4)录制声音,覆盖面积约为 1.885 km²,相邻录音点间的间隔约为 200 m。自动录音机的有效录音范围约 50 m,相邻录音点间的间隔远大于录音机的有效录音范围,确保不同录音机不会清晰录到同一段鸣声。40 台自动录音机中,10 台设置为全天录音,30 台设置为早晚录音,分别录制日出前后 1 h 和日落前后 1 h 的声音,1 台早晚录音的设备出现故障,未获得数据,共收集了 22 536 h 的录音数据。自动录音机录音参数设置为:采样频率 22.05 kHz,采样精度 16 bit,保存为 wav 格式。

应用声音分析软件 Avisoft-SASLab Pro (Avisoft Bioacoustics, 德国)对获取的录音文件进行重采样,采样精度设置为 16 bit、采样频率设置为 11.05 kHz,并保存为“.wav”格式,然后将转换后的鸣声生成语图。生成语图的参数设置如下:快速傅里叶变换(fast Fourier transform, FFT),长度(length) 256 points, 哈明窗口(Hamming window),帧长(frame size) 100%,重叠(overlap) 75%,频率分辨率(frequency resolution) 86 Hz,时间分辨率(temporal resolution) 2.902 5 ms。选取褐马鸡、勺鸡和环颈雉鸣声的清晰语图,根据三种雉类的鸣声特征,确定用于建模和鸣声自动识别的鸣声时频参数。将设定的时频参数输入 Kaleidoscope Pro 4.0.3 软件(Wildlife Acoustics 公司,美国),利用聚类分析功能,自动识别和提取录音中褐马鸡、勺鸡及环颈雉的鸣声。

褐马鸡鸣声提取时,将频率范围 1.6 ~ 2.1 kHz、持续时间为 5 ~ 14 s、音节间最大间隔为 0.6 s 的声音作为候选声音。由于褐马鸡鸣声录音数量少、鸣声复杂和声音清晰度较差,无法通过候选声音的特征建立物种鸣声模型,通过手动对候选声音进行逐一甄别,确认所有录音

中褐马鸡的鸣声。

勺鸡鸣声提取时, 将频率范围 1.0 ~ 2.0 kHz、持续时间为 1.4 ~ 1.8 s、音节间最大间隔为 0.3 s 作为候选声音。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, 通过人工辅助对勺鸡鸣声模型进行修正。

环颈雉鸣声提取时, 将频率范围 0.9 ~ 1.2 kHz、持续时间为 0.7 ~ 0.9 s、音节间最大间隔为 0.4 s 的声音作为候选声音。建立模型, 用于自动识别出所有录音中环颈雉的鸣声, 计算出每小时环颈雉的鸣声数量。

1.3 数据分析

软件自动识别声音的结果, 可通过探测率和正确率来评估。探测率指正确识别的目标物种鸣声数量与录音中该物种鸣声数量真实值的比率; 正确率指正确识别的目标物种鸣声数量与自动识别的总数量 (错误识别和正确识别数量之和) 的比值。通过人工检视所有语图, 计算出分析录音中褐马鸡、勺鸡和环颈雉鸣叫的真实值。通过录音机一天各个时段内录到的褐马鸡、勺鸡和环颈雉鸣声数均值的变化反映鸣声的日节律。

采用 Avisoft-SASLab Pro 软件对鸣声的主峰频率、音节时长、句子的音节数以及持续时

间等参数进行分析。采用 R 3.6.3 (R Development Core Team, 2020) 对实验数据进行统计分析; 数据经正态分布检验 (Kolmogorov-Smirnov test) 和方差检验 (F test), 比较不同物种间的鸣声差异, 利用 T 检验比较理论繁殖阶段鸣叫的活跃程度 (每天鸣叫的次数) 和其他阶段鸣叫的活跃程度, 分析繁殖期的鸣叫高峰。数据用“平均值 \pm 标准误”的形式表示, 所有检验在 $P < 0.05$ 认为差异显著, $P < 0.01$ 认为差异极显著。

2 研究结果

2.1 鸣声的识别

三种鸡形目鸟类中, 褐马鸡的鸣声变异较大, 勺鸡次之, 环颈雉鸣声最稳定 (表 1)。通过优化时频参数提取褐马鸡、勺鸡和环颈雉的鸣声, 经人工辅助机器识别后, 褐马鸡正确率仍比较低, 正确率为 8.69%, 探测率为 58.54%。

通过提取候选声音的特征建立模型后, 勺鸡鸣声提取的正确率为 73.32%, 探测率为 52.91%; 环颈雉鸣声提取的正确率为 89.32%, 探测率为 67.36%。

2.2 三种鸡形目鸟类的鸣声特征

利用褐马鸡 (275 句)、勺鸡 (831 句) 和环颈雉 (420 句) 的清晰鸣声, 进行三种雉类

表 1 同域分布的 3 种鸡形目鸟类鸣声特征

Table 1 3 species of Galliformes bird chirping characteristics distributed in the same domain

物种 Species	主峰频率 (kHz) Peak frequency	音节时长 (s) Syllable duration	句子时长 (s) Song duration	音节数 Syllable number within song
褐马鸡 <i>Crossoptilon mantchuricum</i>	1.599 \pm 0.027 ^a 0.680 ~ 2.320	0.411 \pm 0.009 ^a 0.145 ~ 0.806	8.919 \pm 0.833 ^a 3.100 ~ 17.100	14.1 \pm 1.5 ^a 5 ~ 30
勺鸡 <i>Pucrasia macrolopha</i>	1.536 \pm 0.009 ^a 0.940 ~ 1.980	0.296 \pm 0.003 ^b 0.116 ~ 1.097	1.581 \pm 0.009 ^b 1.399 ~ 2.153	4.1 \pm 0.0 ^b 4 ~ 5
环颈雉 <i>Phasianus colchicus</i>	1.014 \pm 0.003 ^b 0.680 ~ 1.550	0.299 \pm 0.005 ^b 0.121 ~ 0.592	0.905 \pm 0.010 ^c 0.505 ~ 1.126	2 ^c

表中各时频参数值右上角的字母 a、b、c 表示物种间该参数差异的显著性, 同一列数值右上角字母相同的表示数值间无差异, 同一列数值右上角字母不同的表示数值间存在显著差异。

The letter a, b, c in the upper right corner of each time-frequency parameter value in the table indicates the significance of the parameter difference between species. The same letter in the upper right corner of the same column indicates no difference between the values, and the different letter in the upper right corner of the same column indicates that there is a difference between the values significant differences.

声音特征分析, 鸣声时频参数见表 1。

三种雉类中, 褐马鸡鸣声谐波丰富, 除基频外, 多具 3~4 个能量较强和 4~8 个能量较弱的谐波, 环颈雉和勺鸡的谐波相对较少; 褐马鸡每一段鸣声持续时间长、音节数量多, 一段鸣声会有 5~30 个音节, 勺鸡和环颈雉每段鸣声分别由 4~5 个和 2 个连续的音节组成(图 1)。三种雉类每段鸣声的音节数、持续时间有显著差异(表 1)。

2.3 鸣声节律

2.3.1 鸣声在繁殖季的变化 三种雉类的鸣叫活动在整个繁殖季内波动较大, 但在繁殖初期均呈现出明显的鸣叫高峰, 6 月中下旬鸣叫数量显著下降。

褐马鸡在 4 月底、5 月初的产卵期出现鸣叫高峰 (T 检验, $t = 4.29, P < 0.01$), 随后鸣叫活跃度开始下降并趋于稳定, 6 月 15 日之后很少鸣叫。勺鸡的鸣叫高峰出现在 5 月上旬孵卵期 (T 检验, $t = 2.27, P < 0.05$), 在 6 月下旬之后鸣叫频次明显减弱。环颈雉发出的鸣声数量在 5 月中和上旬交配、产卵期出现明显的高峰 (T 检验, $t = 7.08, P < 0.01$), 5 月下旬开始下降, 6 月中下旬后很少发出鸣声(图 2)。

2.3.2 鸣声的日节律 三种雉类约凌晨 4:00

时开始鸣叫, 均存在鸣叫早高峰, 但高峰时段每日的鸣叫次数变化较大(图 3)。

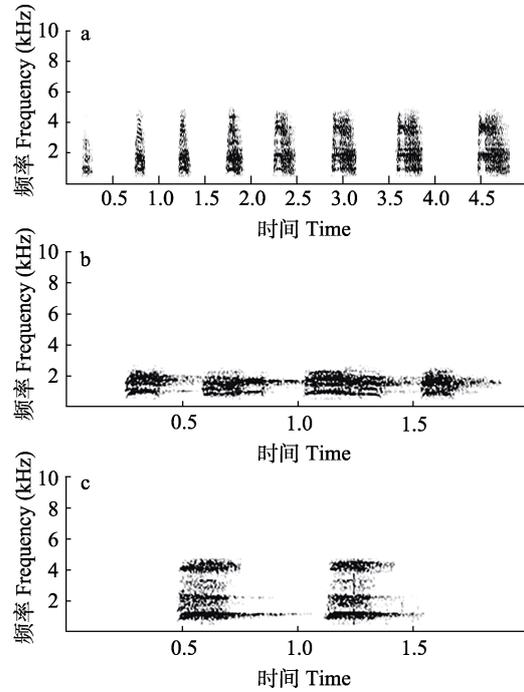


图 1 鸡形目 3 种鸟类鸣声语图

Fig. 1 spectrogram of three Galliformes species

a. 褐马鸡; b. 勺鸡; c. 环颈雉。a. *Crossoptilon mantchuricum*; b. *Pucrasia macrolopha*; c. *Phasianus colchicus*.

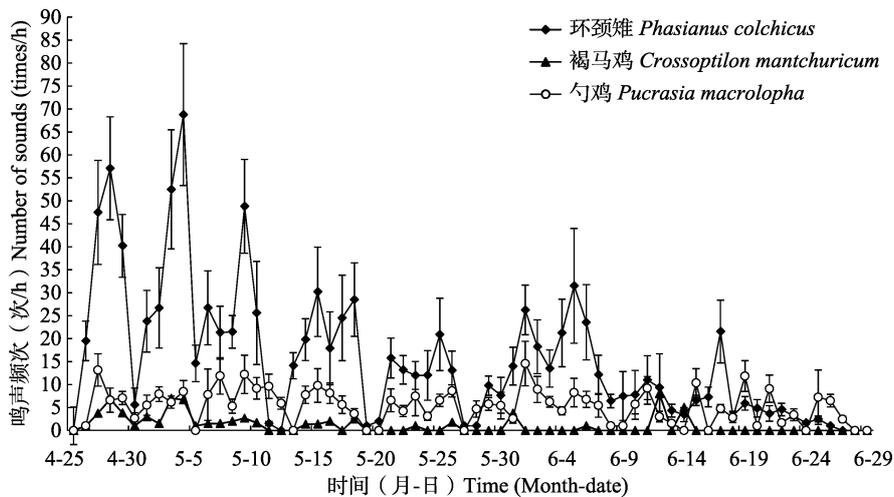


图 2 三种雉类鸣声的季节节律 (平均值 ± 标准误)

Fig. 2 Seasonal rhythm of three pheasant songs (Mean ± SE)

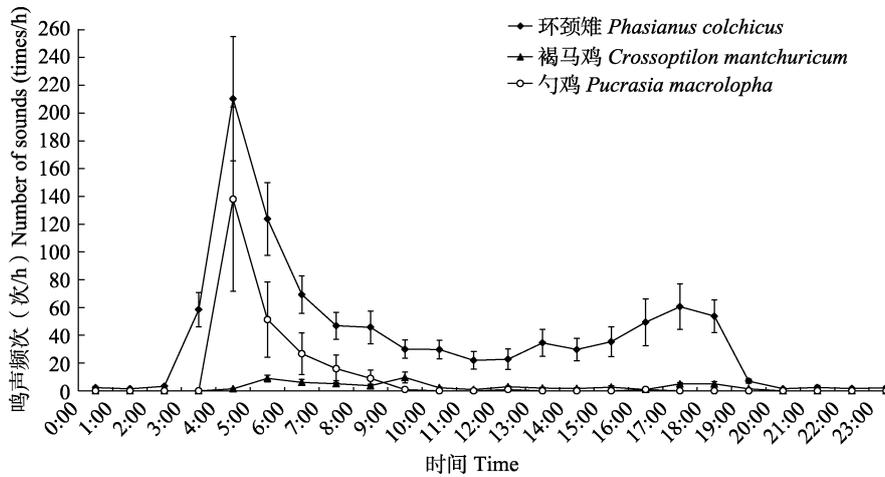


图3 三种雉类鸣声的日节律 (平均值 ± 标准误)

Fig. 3 Daily rhythm of three pheasant songs (Mean ± SE)

褐马鸡在 5:00 ~ 6:00 时和 9:00 ~ 10:00 时期间出现 2 个鸣叫早高峰, 鸣声数量分别为 (9.0 ± 2.4) 次/h (3 ~ 16 次/h) 和 (9.7 ± 3.8) 次/h (4 ~ 17 次/h), 此后鸣叫活跃度下降, 但在下午 17:00 ~ 19:00 时出现一个晚高峰, 鸣叫次数是 (5.0 ± 1.3) 次/h (1 ~ 9 次/h), 早高峰鸣叫次数显著多于晚高峰 ($P < 0.05$)。

勺鸡和环颈雉均在 4:00 ~ 5:00 时出现鸣叫早高峰。勺鸡早高峰的鸣叫次数为 (138.0 ± 66.3) 次/h (1 ~ 484 次/h), 随后鸣声数量快速下降, 9:00 时之后基本不发出鸣叫。环颈雉早高峰的鸣叫次数为 (210.3 ± 44.8) 次/h (34 ~ 414 次/h), 早高峰后鸣叫活跃度下降, 在 17:00 ~ 18:00 出现一个鸣声的晚高峰, 鸣叫次数为 (60.6 ± 16.4) 次/h (5 ~ 148 次/h), 早高峰的鸣叫次数极显著地多于晚高峰 ($P < 0.01$)。

3 讨论

3.1 探测率和正确率

勺鸡和环颈雉的鸣声结构简单, 通过提取候选声音的特征建立模型后, 机器自动识别的探测率 (分别为 52.91% 和 67.36%) 和提取的正确率 (分别为 73.32% 和 89.32%) 均较高。Abrahams 等 (2018) 对松鸡 (*Tetrao urogallus*)

13 d 录音的研究中, 用同样的软件提取其鸣声, 正确率为 83.6%, 探测率为 35.1%, 分析探测率比较低的原因与松鸡鸣声结构相关。经对鸣声的人工核查, 发现本研究中未能正确提取到的鸣声是由于背景中的生物 (其他鸟类鸣叫) 和非生物 (风声、雨声等) 噪音过大, 或目标物种距录音机较远、声音不清晰所导致。利用同样的录音设备和分析软件, 在同一区域对大鹰鹄的鸣声识别中, 正确率为 60.26%, 探测率为 44.71% (黄婉萍等 2017)。

褐马鸡数量少, 鸣声句子长短不一、谐波丰富、不同音节差异较大、音节之间间隔不规律, 即使在人工辅助优化参数后, 自动提取和识别效果仍不理想, 虽能探测出一半以上的褐马鸡鸣声 (58.54%), 但正确率较低 (仅为 8.69%), 需要进一步调整时频参数和典型的目标音节, 提升探测率和正确率。除褐马鸡外, 勺鸡和环颈雉的探测率和正确率较高, 且这两种雉类鸣声简单、结构清晰, 今后在查明鸣声的个体性的基础上, 可实现利用自动录音鸣声监测勺鸡和环颈雉的种群动态、活动性等。

在录音过程中, 录音位置、左右声道录到的鸣声清晰度存在较大差异, 直接影响鸣声的探测率。Turgeon 等 (2017) 提出自动录音的

监测范围、物种、背景噪音、麦克风等都会对探测率产生影响。利用自动录音技术监测野生动物，还要关注不同物种鸣声传播距离、录音机布设数量、布局，以获得更高质量的录音。

3.2 鸣声节律

鸟类发出鸣声的强度与繁殖阶段存在相关性。Gil 等 (1999) 发现配对形成后，雄性鸣叫的活跃程度明显降低，表明鸟类的鸣叫在吸引配偶方面发挥着重要作用。Hoi-Leiner 等 (1995) 对黑顶林莺 (*Sylvia atricapilla*) 的研究发现，繁殖成功的雄鸟在繁殖前期的鸣唱频次明显高于繁殖失败雄鸟的鸣唱频次。本研究发现，同域分布的三种鸡形目鸟类在整个繁殖季的鸣叫节律基本相同，褐马鸡、勺鸡和环颈雉均在产卵或孵卵前期具有一个鸣叫高峰。产卵期雄性鸣声强度增大，以保卫领域、维持配偶关系并阻止竞争的雄性。本区域的三种雉类在 6 月中下旬鸣叫活跃性明显减弱，提示在 6 月中下旬以后，不宜在本区域通过鸣叫计数法调查雉类种群数量，否则会导致结果偏低。

对褐马鸡繁殖期鸣声的研究发现，褐马鸡雄鸟在 6:00 ~ 7:00 时和 9:00 ~ 11:00 时向雌鸟发出急促高亢的鸣声，出现了两个早高峰，在日落前 30 min 左右进入栖宿活动，雄鸟选好夜宿的栖枝，发出鸣叫呼唤雌鸟上树 (王美平等 2018)。环颈雉天刚亮时开始鸣叫，17:00 时后环颈雉逐渐上树夜栖并发出鸣叫 (陆克俭 1989)。上述工作与本研究对褐马鸡和环颈雉鸣声日节律的分析结果接近，但早、晚高峰的出现时间存在差异。王岐山和胡小龙 (1983) 认为，勺鸡约 6:00 时开始鸣叫，鸣叫时间可持续 0.5 h，早高峰鸣叫活跃程度高于晚高峰。本研究通过自动录音机对全天鸣叫进行的监测发现，勺鸡从凌晨到上午会持续鸣叫，但鸣叫强度逐渐降低，9:00 时以后不再鸣叫，在傍晚也未监测到鸣声，更不存在晚高峰。相比褐马鸡和环颈雉，勺鸡性胆怯、行为隐秘，白天减少鸣叫可能是一种保护和生存策略。

通过布放自动录音设备，我们获得了小龙

门保护站核心保护区域内三种雉类 60 多天的连续鸣声资料，并通过人工辅助的识别技术，从海量的录音资料中提取目标物种的声音，查明了三种雉类的鸣声特征和节律。今后，在建立鸣声个体性标准的基础上，实现利用鸣声资料监测种群动态；并通过挖掘自动录音设备矩阵中的录音信息，探测发出鸣声的动物位置，计算其活动性和活动范围，为研究和保护工作提供支撑。

参 考 文 献

- Abrahams C. 2019. Comparison between lek counts and bioacoustic recording for monitoring Western Capercaillie (*Tetrao urogallus* L.). *Journal of Ornithology*, 160(3): 685–697.
- Abrahams C, Denny M J H. 2018. A first test of unattended, acoustic recorders for monitoring Capercaillie *Tetrao urogallus* lekking activity. *Bird Study*, 65(2): 197–207.
- Alquezar R D, Machado R B. 2015. Comparisons between autonomous acoustic recordings and avian point counts in open woodland savanna. *Wilson Journal of Ornithology*, 127(4): 712–723.
- Amrhein V. 1999. Das Revierverhalten der Nachtigall *Luscinia megarhynchos*. Diploma thesis, Universität Basel.
- Darras K, Batary P, Furnas B, et al. 2018. Comparing the sampling performance of sound recorders versus point counts in bird surveys: a meta-analysis. *Journal of Application Ecology*, 55(6): 2575–2586.
- Gil D, Graves J A, Slater P J B. 1999. Seasonal patterns of singing in the Willow Warbler: evidence against the fertility announcement hypothesis. *Animal Behaviour*, 58(5): 995–1000.
- Hoi-Leitner M, Nechtelberger H, Hoi H. 1995. Song rate as a signal for nest site quality in Blackcaps (*Sylvia atricapilla*). *Behaviour Ecology and Sociobiology*, 37(6): 399–405.
- IUCN. 2019. Red List of Threatened Species: Version 2019.4. [DB/OL]. [2020-03-20]. <http://www.iucnredlist.org>.
- Mandiwana-Neudani T G, Bowie R C K, Hausberger M, et al. 2014. Taxonomic and phylogenetic utility of variation in advertising calls of Francolins and Spurfowls (Galliformes: Phasianidae). *African Zoology*, 49(1): 54–82.

- Turgeon P J, Vvan Wilgenburg S L, Drake K L. 2017. Microphone variability and degradation: implications for monitoring programs employing autonomous recording units. *Avian Conservation Ecology*, 12(1): 9.
- Venier L A, Holmes S B, Holborn G W, et al. 2012. Evaluation of an automated recording device for monitoring forest birds. *Wildlife Society Bulletin*, 36(1): 30–39.
- Yang C C, Zhang Y Y, Cai Y, et al. 2011. Female crowing and differential responses to simulated conspecific intrusion in the male and female Hainan partridge (*Arborophila ardens*). *Zoological Science*, 28(4): 249–253.
- 蔡其侃. 1988. 北京鸟类志. 北京: 北京出版社, 184–185.
- 黄婉萍, 徐姝婷, 梁伟, 等. 2017. 大鹰鹄鸣声的日节律. *动物学杂志*, 52(6): 945–953.
- 陆克俭. 1989. 雉鸡的行为观察. *中国家禽*, (2): 19–21.
- 王美平, 白锦荣, 张爱军, 等. 2018. 小五台山自然保护区珍禽褐马鸡行为学研究. *绿色科技*, (2): 11–12.
- 王岐山, 胡小龙. 1983. 勺鸡的生态观察. *动物学杂志*, 18(5): 11–12, 43.
- 张建志. 2016. 北京地区三种雉类的种群现状与栖息地利用特征研究. 北京: 北京师范大学硕士学位论文, 37–49.
- 赵正阶. 2001. 中国鸟类志. 长春: 吉林科学技术出版社, 380–381.
- 郑光美. 2015. 中国雉类. 北京: 高等教育出版社, 65–635.
- 周天林, 王丕贤, 韩芬茹. 1996. 关山林区勺鸡生态的初步研究. *动物学研究*, 17(1): 52–58.

《动物学杂志》第十二届编辑委员会

名誉主编: 马 勇

主 编: 宋延龄

副 主 编: 赵 勇 彭景榭 孙悦华 梁 冰 (常务)

编 委: (以姓氏笔画为序)

丁长青 马 勇 马志军 马建章 王德华 计 翔 石树群 边疆晖 刘迺发

孙青原 孙悦华 宋延龄 宋林生 宋昭彬 张正旺 张明海 张春光 张树义

张堰铭 李 明 李枢强 李保国 李春旺 李新正 杨增明 陈广文 宛新荣

郑光美 费 梁 赵 勇 赵亚辉 夏国良 徐宏发 桂建芳 梁 冰 彭贤锦

彭景榭 曾治高 蒋志刚 蒋学龙 谢 锋 戴家银 魏辅文

编 辑: 梁 冰