

韩培鑫, 刘彬, 初鹏飞, 乔征磊, 原宝东. 2025. 基于红外相机的普通燕鸥繁殖期活动节律和时间分配. 生态学杂志, 44(5): 1525–1531.

Han YX, Liu B, Chu PF, Qiao ZL, Yuan BD. 2025. Monitoring activity rhythm and time allocation of common tern during breeding period using infrared cameras. *Chinese Journal of Ecology*, 44(5): 1525–1531.

基于红外相机的普通燕鸥繁殖期活动节律和时间分配

韩培鑫¹ 刘彬² 初鹏飞¹ 乔征磊^{1*} 原宝东^{3*}

(¹牡丹江师范学院生命科学与技术学院, 黑龙江牡丹江 157011; ²江苏省大丰麋鹿国家级自然保护区, 江苏盐城 224145; ³聊城大学农业与生物学院, 山东聊城 252000)

摘要 为探究普通燕鸥 (*Sterna hirundo*) 繁殖期的活动节律和时间分配模式, 进而分析其繁殖期行为模式, 2019年4—7月在江苏省大丰麋鹿国家级自然保护区采用红外相机对普通燕鸥在巢期间的行为进行录制并对采集数据进行分析。结果表明, 20台红外相机累计工作320 d, 记录了100个鸟巢, 其中96个有普通燕鸥活动。普通燕鸥繁殖期在巢期间的行为以坐巢和鸣叫为主, 分别占总行为发生频次的43.8%±7.7%和30.1%±7.2%, 其次为防御占6.2%±2.6%, 其余行为占比较低。进一步分析显示, 普通燕鸥在夜间坐巢时间比日间多16%, 而夜间鸣叫时间比日间少33%, 且在繁殖中期, 坐巢行为的比例显著高于前期和后期, 分别为60.0%±3.3%、30.8%±6.5%和40.6%±5.7%。此外, 坐巢行为具有明显的节律性, 在12:00—14:00和22:00—24:00处于高峰期, 在06:00—08:00和14:00—16:00处于低谷期, 其他行为无明显节律性。乞食与育雏、鸣叫呈极显著正相关 ($P<0.01$), 理羽与坐巢呈极显著正相关 ($P<0.01$), 觅食与筑巢呈极显著正相关 ($P<0.01$), 育雏与筑巢、防御呈显著正相关 ($P<0.05$), 觅食与理羽、坐巢呈显著正相关 ($P<0.05$), 其他行为无显著相关性。研究结果将为大丰麋鹿国家级自然保护区繁殖期普通燕鸥的保护管理及该物种的后续繁殖生态学研究提供基础数据。

关键词 普通燕鸥; 繁殖期; 活动节律; 时间分配

Monitoring activity rhythm and time allocation of common tern during breeding period using infrared cameras. HAN Yuxin¹, LIU Bin², CHU Pengfei¹, QIAO Zhenglei^{1*}, YUAN Baodong^{3*} (¹College of Life Science and Technology, Mudanjiang Normal University, Mudanjiang 157011, Heilongjiang, China; ²Jiangsu Dafeng Milu National Nature Reserve, Yancheng 224145, Jiangsu, China; ³College of Agriculture and Biology, Liaocheng University, Liaocheng 252000, Shandong, China).

Abstract: We investigated the activity rhythms and time allocation patterns of common terns (*Sterna hirundo*) and analyzed their behavioral patterns during breeding season from April to July 2019 in Dafeng Elk National Nature Reserve, Jiangsu Province, China. Infrared cameras were used to record the behaviors during the nest-building period of common terns. Twenty infrared cameras were deployed for a total of 320 d, and 100 nests were recorded, 96 of which recorded common tern activities. The behavior of breeding common terns was dominated by nest-sitting and calling (43.8%±7.7% and 30.1%±7.2% of the total behavioral frequency, respectively), followed by defense (6.2%±2.6%). Other behaviors accounted for a relatively low percentage. Common terns spent 16% more time sitting on the nest at night than during the daytime and 33% less time calling at night than during the daytime. The proportion of nest-sitting behavior was significantly higher in the mid-breeding period than that in the pre-breeding and post-breeding periods (60.0%±3.3%, 30.8%±6.5%, and 40.6%±5.7%, respectively). Nest-sitting had a rhythmicity, with peaks during 12:00–14:00 and 22:00–24:00 and troughs during 06:00–08:00 and 14:00–16:00. In contrast, the other behaviors showed no rhythmicity. Begging was significantly positively correlated with brooding and calling ($P<0.01$). Feather-grooming was significantly positively correlated with nest-sitting ($P<0.01$). Foraging was significantly positively correlated with nesting ($P<0.01$). Brooding was significantly positively

山东省自然科学基金面上项目(ZR2023MC016)资助。

收稿日期: 2024-03-22 接受日期: 2024-12-17

* 通信作者 E-mail: yuanbao365@163.com; swxqzl@126.com

correlated with nesting and defending ($P < 0.05$). Foraging was significantly positively correlated with feather-grooming and nest-sitting ($P < 0.05$). No significant correlation was observed for other behaviors. This study provides basic data for the conservation and management of breeding common terns and for subsequent breeding ecological studies.

Keywords: *Sterna hirundo*; breeding season; activity rhythm; time allocation

活动节律与行为时间分配规律是动物行为学研究中的重要内容(尚玉昌,2014),通常受生物学因素(性别、群体规模等)、环境刺激(气候、温度、降雨、风速等)和人为因素的影响(Brivio *et al.*, 2016; Hicham *et al.*, 2018)。动物活动节律和时间分配的研究结果能够反映出动物个体的生存压力及在不同环境中的应对策略和行为特点,体现了动物对各种环境条件变化的综合适应情况,揭示了动物对自身时间和能量需求与繁殖需要付出的时间和能量之间的权衡机制,对制定野生物种的保护措施具有十分重要的意义(Baaziz *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2010; 唐创斌等, 2020)。同时,在鸟类研究领域,繁殖行为一直是行为学研究中备受关注的方向(郑光美等, 1989),研究鸟类繁殖,不仅是鸟类生态学的一项重要内容,也是研究环境因子对鸟类影响以及鸟类种群动态趋势的重要途径(杜恒勤等, 2000)。通过对鸟类繁殖期行为的深入研究,我们可以深入了解鸟类在该地区的生存状态和繁殖生态,从而提出更具针对性的鸟类保护建议。

尽管活动节律与行为时间分配规律的研究是理解动物生存策略的重要基础(孙儒泳, 2001),但目前对于普通燕鸥在繁殖期的行为模式了解仍然十分有限。国外的研究多聚焦于普通燕鸥的繁殖生态、重金属污染、微塑料污染、禽疟疾和迁徙策略等领域(Bracey *et al.*, 2020; Wingate *et al.*, 2020; ElHak *et al.*, 2021; Simon *et al.*, 2022; Carrillo *et al.*, 2023; Schumm *et al.*, 2023),而对于其繁殖期间的活动节律和时间分配的系统性研究相对较少。国内对于普通燕鸥的研究则聚焦在巢址选择、巢卵参数、幼雏生长和线粒体基因组等多个方面(汪青雄等, 2010; 杨超等, 2013; 刘利等, 2015),但对于普通燕鸥繁殖行为的详细记录和分析仍然缺乏。因此,本研究旨在通过观察和分析普通燕鸥在繁殖期的行为模式,为理解其生活习性和生态需求提供参考数据,进而对保护措施的制定提供一定的科学依据。此外,研究采用的红外相机监测方法,相较于传统的观察方法,具有显著的优势(Olson *et al.*, 2012)。红外相机能够在不干扰鸟类自然行为的情况下,连续不间断地

记录动物活动(李晟等, 2014),获取更为真实和精确的行为数据。通过这种连续监测,我们能够更准确地揭示普通燕鸥的行为节律和时间分配模式,进而评估其对环境变化的适应性和生存策略。这不仅为普通燕鸥的保护提供了新的视角,也为其他鸟类的繁殖期行为学研究提供了参考。

普通燕鸥属鸥形目(Lariformes) 鸥科(Laridae) 燕鸥属(*Sterna*),在江苏省大丰麋鹿国家级自然保护区内具有较高的种群密度,是当地常见的夏候鸟。普通燕鸥将保护区内的多处小岛作为繁殖地,其中仅一处小岛据估算就有300余只普通燕鸥在岛上栖息。在繁殖地内普通燕鸥常成群聚集在一起营巢繁殖,在湿地泥地上的浅凹处用收集的树枝和羽毛筑巢,鸟巢分布密集(江苏省林业局, 2010)。在江苏省大丰麋鹿国家级自然保护区利用红外相机技术对普通燕鸥繁殖期在巢期间的行为开展监测,以期掌握其时间分配及活动节律,为保护区对普通燕鸥的保护和管理提供科学依据,同时填补普通燕鸥繁殖期行为研究的空白。

1 研究方法

1.1 研究地点

研究地点位于江苏省大丰麋鹿国家级自然保护区,该保护区位于江苏省盐城市大丰区东南部,地理坐标为 $32^{\circ}56'N-33^{\circ}36'N$, $120^{\circ}42'E-120^{\circ}51'E$,地处黄海之滨,保护区总面积约78000 hm^2 ,其中核心区2668 hm^2 ,缓冲区2220 hm^2 ,实验区73112 hm^2 。研究地位于实验区内,处于亚热带与暖温带的过渡地带为典型的滨海湿地,受海洋性气候和季风性气候影响,春夏季、秋冬季界限不明显,冬季气温偏暖,常年平均气温 $14.5^{\circ}C$,无霜期299 d,常年降水量751.0 mm,日照2325.4 h。植被类型为盐生草甸、水生植被、人工林、人工牧草(蒋琪, 2010)。

1.2 调查方法

2019年4月末—7月末,在保护区内的普通燕鸥栖息地以 $1 km \times 1 km$ 样方为单位(刘芳等, 2012),在栖息地内共划定20个样方。每个样方内通过野外调查识别出普通燕鸥的巢址聚集区,随后

在聚集区内布设了一台红外相机(优威 UVL3, 深圳市优威视讯科技股份有限公司)。布设相机时, 利用三脚架或绑带将相机固定在普通燕鸥巢址附近隐蔽的草丛中或树干上, 使之处于距地面 45~100 cm 的位置, 镜头略倾向地面, 朝向普通燕鸥巢址聚集区, 使红外相机可以同时拍摄多个鸟巢, 记录相机布设时间、相机编号、周围植被类型、经纬度等信息。相机参数设置为“照片+视频”、触发时间间隔 1 s、敏感度中等、每次触发为连拍 3 张照片后录制 10~15 s 视频, 每隔一个月采集 1 批数据并查看是否需要更换电池和内存卡。

1.3 数据分析

本研究参考了白额燕鸥(*Sterna albifrons*) 的行为定义(林少娜等, 2021), 同时根据自己的实际观察对普通燕鸥进行行为定义, 将普通燕鸥繁殖期在巢期间的行为划分为 8 种(表 1)。对于采集的红外相机数据采用动物监测数据分析系统(Data-mining Platform for Wildlife Monitoring) 进行整理, 统计数据中普通燕鸥的数量、行为发生的持续时间和次数等信息(不区分性别)。单台红外相机在野外持续工作 24 h 记为 1 个有效工作日(柴鑫等, 2024); 为降低同一物种照片的自相关性, 将同一相机位点的拍摄时间间隔小于 30 min 的连续相同物种照片(视频视为照片) 算作 1 张独立有效照片(Yasuda, 2004; 李佳等, 2017)。根据保护区日出日没的时刻, 将 1 d 划分为两个时段, 其中白昼为 06:00—18:00, 黑夜为 18:00—次日 06:00。根据普通燕鸥的繁殖习性, 将整个繁殖期以普通燕鸥在巢内产满卵和第一只雏

表 1 普通燕鸥繁殖期的行为定义
Table 1 Behavior definition of *Sterna hirundo* during breeding period

行为分类 Behavioral classification	行为定义 Behavioral definitions
坐巢 Nest-sitting	成年普通燕鸥在筑造的巢中久卧进行孵化幼鸟行为
筑巢 Nest-building	成年普通燕鸥在选定巢址后在居住地周围寻找干燥的草叶或枝条的巢材进行编制鸟巢
育雏 Brooding	成年普通燕鸥对孵化成功幼鸟进行养育喂食等行为
乞食 Begging	雏鸟及孵化普通燕鸥卵的成年普通燕鸥在巢中向外出捕食的成年普通燕鸥索要带回食物
鸣叫 Call	普通燕鸥发出短促或持续的叫声起到召唤幼鸟或驱赶来物种的作用
觅食 Foraging	普通燕鸥在巢址附近寻找可食物品
理羽 Preening	成年或幼年普通燕鸥用喙梳理羽毛
防御 Defence	成年普通燕鸥在发现其他物种或同种燕鸥靠近巢时张开翅膀发出鸣叫以驱赶其他鸟类靠近

鸟孵出两个时间点为依据分为 3 个时段: 繁殖前期(营巢繁殖至巢内满卵), 繁殖中期(巢内满卵至第一只雏鸟孵出), 繁殖后期(第一只雏鸟孵出至所有卵出雏, 亲鸟带雏鸟离巢)。对整理后的数据, 由分析系统导出后在 Excel 数据表进行统计分析(卯霞等, 2014) 并采用 IBM SPSS Statistics 软件对其进行检验, 随后对通过检验的数据进行 Pearson 相关性分析。

2 结果与分析

在调查期间, 20 部红外相机拍摄范围内共有 106 个鸟巢, 其中 96 个鸟巢拍摄到普通燕鸥活动, 全部红外相机累计有效工作日 320 d。

2.1 普通燕鸥总行为时间分配

普通燕鸥在巢期间的主要行为是坐巢和鸣叫, 分别占总行为频次的 43.8%±7.7% 和 30.1%±7.2%。其次是防御行为, 占 6.2%±2.6%。而其余几种行为比例较低, 分别为育雏行为占 5.7%±4.1%、乞食行为占 5.7%±3.4%、理羽行为占 4.6%±2.8%、觅食行为占 2.3%±0.4%、筑巢行为占 1.7%±0.3%(图 1)。由于某些瞬间行为无法观测或超出拍摄范围, 视频数据缺少个别行为的监测, 如驱赶、排泄、取食等超出拍摄范围的行为。

2.1.1 坐巢和鸣叫行为时间分配的昼夜差异 普通燕鸥繁殖期在巢期间的坐巢和鸣叫行为表现出显著的昼夜差异。具体来说, 夜间鸣叫的占比(33.7%±10.7%) 比日间(66.3%±10.7%) 减少 32.6%, 而夜间坐巢的占比(42.1%±7.8%) 则比日间(57.9%±7.8%) 增加 16%(图 2)。

2.1.2 不同繁殖阶段坐巢和鸣叫行为时间分配的差异 在普通燕鸥的繁殖周期中, 普通燕鸥的坐巢时间在繁殖中期显著高于前期和后期。具体而言, 繁殖前期的坐巢占比平均为 30.8%±6.5%, 而繁殖

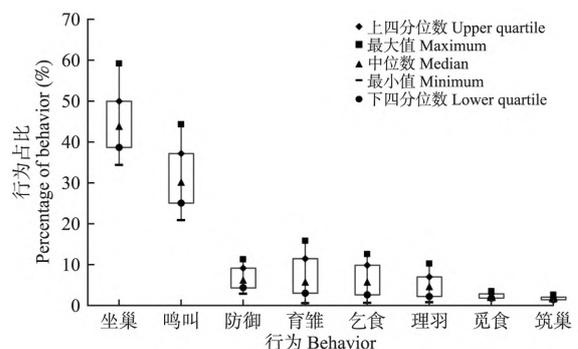


图 1 普通燕鸥繁殖期行为分配比例
Fig.1 Distribution of breeding behaviors of *Sterna hirundo*

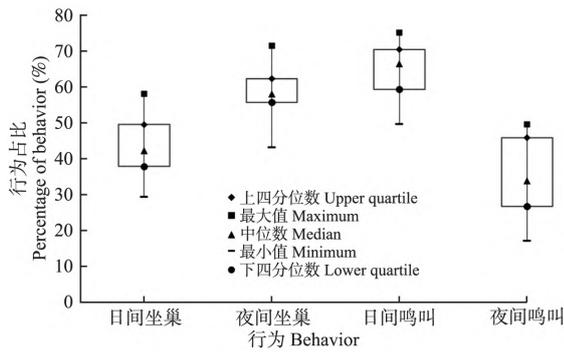


图2 普通燕鸥坐巢和鸣叫行为昼夜时间分配比例
Fig.2 Proportion of diurnal occurrences of nest sitting and calling behavior in *Sterna hirundo*

中期增加至 60.0%±3.3% ,繁殖后期则降至 40.6%±5.7%。与此同时 鸣叫行为在整个繁殖期间所占比例相对稳定 前期为 29.9%±2.58% ,中期为 30.4%±4.0% ,后期为 30.0%±5.7% ,变化不大 均维持在大约 30%的水平(图 3)。

2.2 普通燕鸥繁殖期行为日活动节律

普通燕鸥繁殖期在巢期间的坐巢行为具有

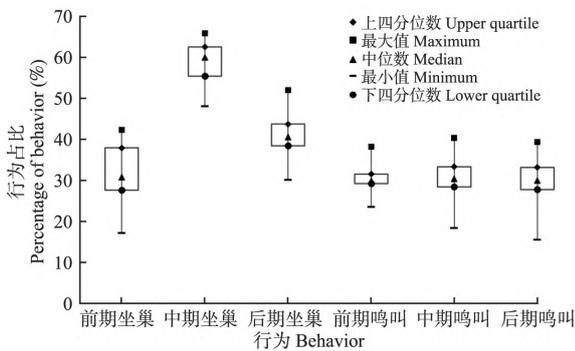


图3 普通燕鸥各繁殖时期坐巢和鸣叫行为时间分配比例
Fig.3 Proportion of time allocated to nest sitting and calling behavior by breeding period in *Sterna Hirundo*

表2 普通燕鸥繁殖期不同行为的 Pearson 相关性分析

Table 2 Pearson correlation analysis of different behaviors of *Sterna hirundo* during breeding period

行为谱 Behavioral spectrum	筑巢 Nest-building	育雏 Brooding	乞食 Begging	鸣叫 Call	觅食 Foraging	理羽 Feathering	防御 Defence
坐巢 Nest-sitting	0.415	0.337	-0.077	-0.178	0.481*	0.562**	0.321
筑巢 Nest-building		0.500*	0.158	-0.086	0.575**	0.416	0.365
育雏 Brooding			0.801**	0.346	0.253	0.071	0.545*
乞食 Begging				0.605**	-0.055	-0.206	0.415
鸣叫 Call					-0.219	-0.360	-0.207
觅食 Foraging						0.444*	0.296
理羽 Feathering							0.185

注: * 在 0.05 水平(双侧) 上显著相关 ,** 在 0.01 水平(双侧) 上显著相关。

Note: * Significantly correlated at the 0.05 level (two-tailed) , ** Significantly correlated at the 0.01 level (two-tailed) .

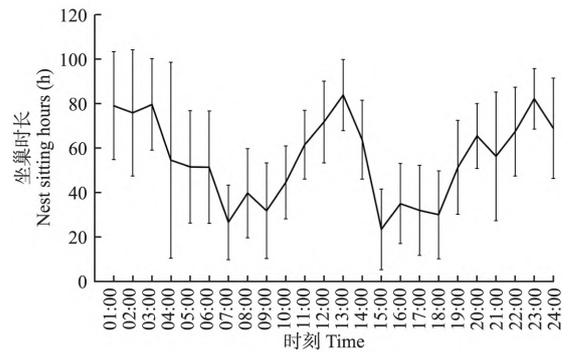


图4 普通燕鸥坐巢时间分配和节律
Fig.4 Time distribution and rhythm of nest sitting of *Sterna hirundo*

明显的日活动节律特征。从繁殖期整体来看 ,在一天中 ,普通燕鸥出现 2 个坐巢高峰和 2 个坐巢低谷 ,高峰主要集中在 12: 00—14: 00 和 22: 00—24: 00 两个时间段 ,峰值之间大约间隔 10 h ,低谷主要集中在 06: 00—08: 00 和 14: 00—16: 00 两个时间段(图 4) 。其他行为并无明显日活动节律。

2.3 普通燕鸥繁殖期行为活动的相关性

经过检验 ,发现普通燕鸥在繁殖期巢居期间的各项行为数据均符合正态分布。此外 ,这些数据之间均显示出线性关系 ,并且满足方差齐性。通过 Pearson 相关性分析得出普通燕鸥繁殖期在巢期间的行为中觅食和筑巢呈极显著正相关 ($r = 0.575$, $P = 0.006$) 、理羽和坐巢呈极显著正相关 ($r = 0.562$, $P = 0.008$) 、乞食和育雏呈极显著正相关 ($r = 0.801$, $P = 0.001$) 、育雏和筑巢呈显著正相关 ($r = 0.500$, $P = 0.021$) 、鸣叫和乞食呈极显著正相关 ($r = 0.605$, $P = 0.004$) 、觅食和坐巢呈显著正相关 ($r = 0.481$, $P = 0.027$) 、理羽和觅食呈显著正相关 ($r = 0.444$, $P = 0.044$) 、防御和育雏呈显著正相关 ($r = 0.545$, $P = 0.011$) ,其他行为之间无显著相关性(表 2)。

3 讨论

3.1 普通燕鸥繁殖期的时间分配

鸟类的行为活动具有一定的时间分配模式和节律性,特定的时间分配模式是鸟类在自然选择中产生的一种适应性机制,通过对鸟类各种行为的时间分配的研究,可以更好地分析当前鸟类对于环境的适应情况(Evers,1994;杨晓君等,1996;邢茂卓等,2013)。不同鸟类因生活习性不同在繁殖期的时间分配也不同,如东方白鹳(*Ciconia boyciana*)(段玉宝等,2010)和黑颈鹤(*Grus nigricollis*)(Yang et al.,2007)在繁殖期都以觅食行为为主,而与之相比普通燕鸥在繁殖期的巢内行为以坐巢为主,占总行为频次的43.80%,这与林少娜(2021)和伊剑锋(2017)对白额燕鸥和褐翅鸦鹃(*Centropus sinensis*)繁殖期主要行为是孵卵行为的描述相类似。这可能是因为保护区内的湿地生态系统为鸟类提供了多样化的食物资源(刘立云,2008),减轻了普通燕鸥的觅食压力,使普通燕鸥在满足自身能量需要的同时增加了坐巢时间,可以对卵采取更好的照顾,也表明普通燕鸥在繁殖期更倾向于投入时间用于孵化幼鸟繁育后代。

影响鸟类行为的因素众多,如天气因素对鸟类活动的时间分配具有一定影响(冯茜等,2021),在天气因素改变时鸟类对不同行为的时间分配也会发生改变。当处于降雨时,观察发现普通燕鸥出现防御行为减少,觅食和理羽等行为增加的现象,这与周绍春等(2005)对白枕鹤(*Grus vipio*)的研究结果相类似。降雨时,普通燕鸥理羽时间增加与空气湿度和羽毛湿度有关,其相关程度尚需进一步研究。在降雨期间,普通燕鸥防御行为的时间分配相对减少,可能是降雨使人类活动减少,进而降低了人类对普通燕鸥的干扰所致。此外,降雨时觅食行为相对增加,可能是因此时水中含氧量降低,使得大部分鱼类上升至水面呼吸,为普通燕鸥提供了更多的捕食机会,从而使其觅食行为相对增加。

普通燕鸥繁殖期间的坐巢和鸣叫行为均有显著的昼夜差异。其夜间坐巢频率显著高于日间的现象,与白额燕鸥(林少娜等,2021)繁殖期行为节律的研究结果一致,说明这种行为模式在部分燕鸥属鸟类中可能具有普遍性,而不仅仅是普通燕鸥独有的特点。在自然环境中,夜间的温度普遍低于日间,而温度又是影响胚胎发育最为重要的环境因子之一(赵波等,2016),鸟类的孵化温度可以影响胚胎的发育速度

和孵化成功率(DuRant et al.,2013;Hepp et al.,2015),因此,普通燕鸥夜间坐巢频率高于日间,可能是因夜间较低的环境温度增加了普通燕鸥维持正常孵化温度的难度,导致亲鸟采取增加坐巢频率的繁殖策略,来弥补这一不利因素,以满足孵化需求。

相比之下,普通燕鸥夜间鸣叫频率比日间明显减少,这与黄婉萍(2017)对大鹰鸮的鸣声的日节律的研究结果不同,后者显示的鸣叫行为在昼夜之间均存在明显的鸣叫高峰。这两种鸟类的差异可能源于两种鸟类生活习性的不同。普通燕鸥在繁殖期间倾向于集群营巢繁殖,其个体的鸣叫行为会受到社会因素的影响(肖华等,2009),而鸟类的鸣叫行为作为其非常有效的社会信号,又在其社群生活中发挥着极其重要的作用(尚玉昌,1998)。因此,普通燕鸥作为主要在日间活动的物种,其日间活动较为复杂,可能需要通过更频繁的鸣叫来进行沟通或警示。而在夜间,由于活动和干扰的减少,普通燕鸥的鸣叫也相应减少,从而导致了其鸣叫行为在昼夜之间的差异。

繁殖期鸟类行为时间分配不仅仅是对环境的一种适应,而且是其完成主要繁殖活动的综合体现(赵序茅等,2013)。普通燕鸥在整个繁殖期,包括前期、中期和后期,均展示坐巢和鸣叫行为。与汪青雄等(2010)对普通燕鸥和鸥嘴噪鸥繁殖生态的研究结果相比,普通燕鸥的鸣叫行为在繁殖期的3个阶段占比相对稳定,仅存在细微差异。汪青雄等(2010)研究指出,普通燕鸥和鸥嘴噪鸥在繁殖生态上存在差异,这可能影响它们的鸣叫行为。普通燕鸥的集群营巢可能提供了一定程度的安全保障,即使鸣叫可能会吸引捕食者的注意,但整个群体的警觉性和数量可能足以有效防御潜在威胁。相较之下,其坐巢行为在这3个时期则呈现出显著变化。通过分析发现,普通燕鸥的坐巢行为在繁殖前期到中期逐渐增加,中期达到高峰,后期则逐渐降低。这一现象与高红梅等(2017)对灰腹噪鹛(*Garrulax henrici*)繁殖期行为的研究结果相类似,反映出这些鸟类会根据不同的繁殖阶段来调整其坐巢频率,以适应各阶段的不同需求。造成这种现象的原因可能是在普通燕鸥的繁殖前期,亲鸟主要忙于巢址选择和巢构建,此时巢内卵数较少或无卵,而鸟类的坐巢行为又会受到窝卵数的影响(Perez et al.,2023),所以此阶段坐巢行为较少。随着繁殖进入中期,巢内卵数量增加,为了维持适合胚胎发育的温度条件,亲鸟必须保证一定的坐巢时间(赵亮等,2002a),所以

坐巢频率相应提高。进入繁殖后期,随着雏鸟的孵化,亲鸟需要更多地离巢觅食以满足雏鸟的营养需求以及弥补自身在孵卵期的大量能耗(程亚林等,2012),这导致坐巢行为相应减少。此外,随着雏鸟对温度调节能力的增强,对亲鸟保温的需求减少,可能进一步降低了亲鸟的坐巢时间,这与对角百灵(*Eremophila alpestris*)和小云雀(*Alauda gulgula*)的研究结果一致(赵亮等,2002b),表明雏鸟对温度调节能力的增强可能促使亲鸟减少坐巢行为。

3.2 普通燕鸥繁殖期的活动节律

普通燕鸥在巢期间的坐巢行为多发生在中午和午夜,显示出明显的日节律特征,这与 Orians(1961)对红翅黑鹀(*Agelaius phoeniceus*)的活动节律的研究结果和高志瑾等(2011)对灰雁(*Anser anser*)在繁殖期内的活动节律的研究结果相似。同时,通过对比江红星等(2004)对黑嘴鸥(*Larus saundersi*)繁殖期行为的研究结果,我们发现,与普通燕鸥同属鸥科鸟类,并且生活在同一地域的黑嘴鸥在繁殖期中的休整行为和警戒行为会受到人类行为的显著影响,其在有人类活动的区域,警戒行为显著增加,休整行为显著减少。故本实验中普通燕鸥在中午及夜晚的坐巢频次增加,除了对卵的孵化需要外,主要原因可能是这两个时间段内人类活动较少,环境条件相对稳定,可以间接减少防御、警戒行为的发生(陈琳等,2017),有利于鸟类进行繁殖活动。而普通燕鸥在早晨和下午坐巢频次减少,可能因为这两个时间段保护区内人类活动干扰较多或此时食物资源较丰富有利于觅食导致。普通燕鸥其他行为出现时间较为随机,不具明显节律性。

3.3 普通燕鸥繁殖期的行为相关性

普通燕鸥在繁殖期间的多种行为均存在显著的正相关性,表明这些行为在繁殖期间是相互关联的。与 Mainwaring 等(2008)对雀类的研究结果不同,普通燕鸥的觅食行为与筑巢和坐巢行为呈正相关,这可能得益于它们在食物丰富的岸边筑巢的习性,使得亲鸟在觅食时能兼顾巢内情况。普通燕鸥的理羽行为与坐巢和育雏行为呈正相关性,这与繁殖期黑颈鹤的研究结果(李义等,2020)相类似,表明理羽可能在调节这些鸟类的繁殖行为中发挥重要作用,如通过保持羽毛的蓬松状态来维持保暖能力,提高卵和雏鸟的存活率。普通燕鸥的乞食行为与育雏、鸣叫和觅食行为呈正相关性,揭示了它们可能通过社会性互动来加强亲鸟间的联系,并确保雏鸟的营养需求得到满足。普通燕鸥育雏与筑巢和防御行为

的正相关性,反映了它们在繁殖期间对雏鸟保护的重视,这可能是一种对环境压力的适应性反应。

综上所述,普通燕鸥繁殖行为之间的相互关系表现出对环境的适应性和复杂性,特别是在觅食与繁殖行为的协调、社会性互动以及雏鸟保护方面,这些行为的相互作用对于繁殖成功至关重要。此外,人类活动可能对普通燕鸥的坐巢频率产生影响,故在保护普通燕鸥繁殖的过程中,应重点注意减少人为干扰对普通燕鸥的影响,保护其繁殖场所的稳定性,减少筑巢、坐巢等行为受到干扰的可能,从而降低其卵和雏鸟的损失,例如,在普通燕鸥繁殖地周围设置围栏和公告牌,提醒游客在观赏时不要高声吵闹,并且不要走到普通燕鸥巢址附近,减少人类活动对普通燕鸥繁殖区的侵扰。同时,还应维护普通燕鸥栖息地的生态平衡,降低其觅食压力,如采取定期投放鱼苗的方式,确保普通燕鸥食物来源充足。

参考文献

- 柴鑫,杨卫诚,杨涛,等. 2024. 贵州紫云县黑颈长尾雉的活动节律及时间分配. 生态学杂志, 43(5): 1360-1366.
- 陈琳,龚利洋. 2017. 圈养红嘴巨嘴鸟夏季日行为时间分配和活动节律的研究. 特养园地, (12): 210-211.
- 程亚林,黄族豪. 2012. 乌鸫的繁殖行为与坐巢行为初步观察. 动物学杂志, 47(4): 7.
- 杜恒勤,孙捷,范丰学. 2000. 鸟类繁殖及其研究的实践意义: 读《鸟之巢》初步体会. 泰安教育学院学报宗学刊, (3): 35-37.
- 段玉宝,田秀华,朱书玉,等. 2010. 东方白鹳繁殖期行为时间分配及日节律. 生态学杂志, 29(5): 968-972.
- 冯茜,胡强,施小刚,等. 2021. 卧龙国家级自然保护区红腹角雉适宜栖息地与活动节律研究. 四川林业科技, 42(4): 12-19.
- 高红梅,王忠斌,于晶晶,等. 2017. 西藏林芝灰腹噪鹛繁殖生态及行为节律. 生态学杂志, 36(7): 1917-1922.
- 高志瑾,田秀华,巩万里,等. 2011. 灰雁繁殖期的行为日节律及时间分配. 野生动物, 32(6): 319-323.
- 黄婉萍,徐姝婷,梁伟,等. 2017. 大鹰鸱鸣声的日节律. 动物学杂志, 52(6): 945-953.
- 江红星,楚国忠,钱法文,等. 2004. 江苏盐城黑嘴鸥繁殖期不同阶段行为时间分配及活动规律. 林业科学, 40(2): 79-83.
- 江苏省林业局. 2010. 我叫普通燕鸥,我出生的地方可一点也不“普通” [EB/OL]. [2024-03-20]. http://lyj.jiangsu.gov.cn/art/2019/7/8/art_7085_8607760.html.
- 蒋琪. 2010. 江苏大丰麋鹿国家级自然保护区 [EB/OL]. [2024-03-20]. https://baike.baidu.com/reference/5940032/533aYd06cr3_z3kATPyDyPjwYy7CNd3667bbA-bpzzq IP0XOpTYDzFJg378cz-7lkGwaFs5YtR_Rax7H5CE-hE8fUQd048Raojn3_5VzbLzqC-u4Rt.
- 李佳,刘芳,李迪强,等. 2017. 基于红外相机监测分析的红腹角雉日活动节律. 林业科学, 53(7): 170-176.
- 李晟,王大军,肖治术,等. 2014. 红外相机技术在我国野生动物研究与保护中的应用与前景. 生物多样性, 22(6): 685-695.

- 李 义, 朱洪强, 兰家宇, 等. 2020. 中华秋沙鸭繁殖育雏期行为时间分配与活动节律初步观察. *野生动物学报*, **41**(1): 132-138.
- 林少娜, 钟志强, 李 艺, 等. 2021. 广东海丰国际重要湿地白额燕鸥繁殖期行为节律研究. *绿色科技*, **23**(24): 149-152.
- 刘 利, 张 乐, 司万童, 等. 2015. 包头南海子湿地普通燕鸥巢址选择研究. *湿地科学*, **13**(4): 473-477.
- 刘 芳, 李迪强, 吴记贵. 2012. 利用红外相机调查北京松山国家级自然保护区的野生动物物种. *生态学报*, **32**(3): 730-739.
- 刘立云. 2008. 江苏大丰麋鹿国家级自然保护区 [EB/OL]. [2024-03-20]. <http://www.yancheng.gov.cn/nj/2008/html/Noname260.htm>
- 卯 霞, 丁 伟, 李国强, 等. 2014. 云南巧家马树黑颈鹤日间越冬时间分配和活动节律. *野生动物学报*, **35**(3): 307-310.
- 尚玉昌. 2014. *动物行为学* (第二版). 北京: 北京大学出版社.
- 尚玉昌. 1998. *行为生态学*. 北京: 北京大学出版社.
- 孙儒泳. 2001. *动物生态学原理*. 北京: 北京师范大学出版社.
- 唐创斌, 汪国海, 施泽攀, 等. 2020. 基于红外相机技术的赤腹松鼠活动节律和时间分配分析. *广西师范大学学报* (自然科学版), **38**(1): 133-139.
- 汪青雄, 肖 红, 王中强, 等. 2010. 陕西红碱淖普通燕鸥和鸥嘴噪鸥的繁殖生态比较. *动物学杂志*, **45**(2): 39-45.
- 肖 华, 张雁云. 2009. 鸟类鸣声研究. *生物学通报*, **44**(3): 11-13.
- 邢茂卓, 张志明, 田恒玖, 等. 2013. 笼养大斑啄木鸟行为时间分配和活动节律. *动物学杂志*, **48**(1): 95-101.
- 杨 超, 汪青雄, 黄 原, 等. 2013. 基于线粒体 ND2 基因全序列探讨陕西红碱淖湿地繁殖鸥类的系统发育地位. *动物学杂志*, **48**(4): 605-618.
- 杨晓君, 杨 岚. 1996. 笼养绿孔雀行为活动时间分配的初步观察. *动物学报*, **42**(S1): 106-111.
- 伊剑锋, 林 源, 徐雪怡, 等. 2017. 桂西南褐翅鸢的孵卵行为与节律. *动物学杂志*, **52**(4): 574-582.
- 赵序茅, 马 鸣, 张 同, 等. 2013. 白头硬尾鸭行为时间分配及日活动节律. *生态学杂志*, **32**(9): 2439-2443.
- 赵 波, 杜卫国. 2016. 卵生脊椎动物胚胎对环境变化的行为响应. *中国科学: 生命科学*, **46**(1): 103-112.
- 赵 亮, 李来兴, 张晓爱. 2002a. 两种雀形目鸟类孵化行为对子代质量的影响. *动物学研究*, **23**(1): 25-30.
- 赵 亮, 张晓爱, 李来兴. 2002b. 角百灵和小云雀的孵化行为. *动物学报*, **48**(5): 695-699.
- 郑光美, 张正旺. 1989. 鸟类生态学的发展趋势. *动物学杂志*, **24**(4): 4.
- 周绍春, 张明海, 李晓民. 2005. 白枕鹤春季迁徙行为时间分配及活动规律. *东北林业大学学报*, **33**(4): 37-39.
- Baaziz N, Samraoui B. 2008. The status and diurnal behavior of wintering common coot *Fulica atra* in the Hauts Plateaux, Northeast Algeria. *European Journal of Scientific Research*, **23**: 495-512.
- Bracey AM, Etterson MA, Strand FC, et al. 2020. Foraging ecology differentiates life stages and mercury exposure in common terns (*Sterna hirundo*). *Integrated Environmental Assessment and Management*, **17**: 398-410.
- Brivio F, Bertolucci C, Tettamanti F, et al. 2016. The weather dictates the rhythms: Alpine chamois activity is well adapted to ecological conditions. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, **70**: 1291-1304.
- Carrillo MS, Archuby DI, Castresana G, et al. 2023. Microplastic ingestion by common terns (*Sterna hirundo*) and their prey during the non-breeding season. *Environmental Pollution*, **327**: 121627.
- DuRant SE, Hopkins WA, Hepp GR, et al. 2013. Ecological, evolutionary, and conservation implications of incubation temperature-dependent phenotypes in birds. *Biological Reviews*, **88**: 499-509.
- EIHak DMK, Lamia B, Kamilia F, et al. 2021. Some population aspects of common tern *Sterna hirundo* breeding in Algeria at a small Mediterranean island (east coast of Algeria). *Ekológia*, **40**: 62-69.
- Evers DC. 1994. Activity budgets of a marked common loon (*Gavia immer*) nesting population. *Hydrobiologia*, **279-280**: 415-420.
- Hepp GR, DuRant SE, Hopkins WA. 2015. Influence of incubation temperature on offspring phenotype and fitness in birds // Deeming DC, Reynolds SJ, eds. *Nests, Eggs, and Incubation*. Oxford University Press: 171-178.
- Hicham S, Mohsen C, Luis MF, et al. 2018. Effects of seasonal variation, group size and sex on the activity budget and diet composition of the addax antelope. *African Journal of Range and Forage Science*, **35**: 89-100.
- Li S, Mcshea WJ, Wang DJ, et al. 2010. The use of infrared-triggered cameras for surveying phasianids in Sichuan Province, China. *IBIS*, **152**: 299-309.
- Mainwaring MC, Hartley IR. 2008. Seasonal adjustments in nest cup lining in Blue Tits *Cyanistes caeruleus*. *Ardea*, **96**: 278-282.
- Olson ER, Marsh RA, Bovard BN, et al. 2012. Arboreal camera trapping for the critically endangered greater bamboo lemur *Prolemur simus*. *Oryx*, **46**: 593-597.
- Orians GH. 1961. The ecology of backbird (*Agelaius*) social systems. *Ecological Monographs*, **31**: 285-312.
- Perez DM, Manica LT, Medina I. 2023. Variation in nest-building behaviour in birds: A multi-species approach. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, **378**: 20220145.
- Schumm YR, Bousergent C, Lorenti E, et al. 2023. Surveillance of avian malaria and related haemoparasites in common terns (*Sterna hirundo*) on the Atlantic coast of South America. *Parasitology*, **150**: 498-504.
- Simon P, Angela OS. 2022. Revealing different migration strategies in a Baltic common tern (*Sterna hirundo*) population with light-level geolocators. *Journal of Ornithology*, **163**: 803-815.
- Wingate DB, Nisbet ICT, Mejias MA, et al. 2020. Phenology and breeding ecology of common terns (*Sterna hirundo*) in Bermuda: An ecologically distinctive island population, now critically endangered. *The Wilson Journal of Ornithology*, **132**: 271-283.
- Yang R, Wu H, Yang X, et al. 2007. Diurnal time budget of the Black-necked Crane during the breeding season. *Waterbirds*, **30**: 80-85.
- Yasuda M. 2004. Monitoring diversity and abundance of mammals with camera traps: A case study on Mount Tsukuba, central Japan. *Mammal Study*, **29**: 37-46.

作者简介 韩培鑫 男, 1999年生, 硕士研究生, 研究方向为动物生态学. E-mail: 13766962504@163.com
责任编辑 牟 琳