

DOI: 10.20103/j.stxb.202302230315

陈浩,王刚,王成,薛菲,成海,张亚楠.野化放归丹顶鹤活动节律、家域特征和栖息地选择.生态学报,2024,44(4):1526-1538.

Chen H, Wang G, Wang C, Xue F, Cheng H, Zhang Y N. Activity rhythms, home range characteristics, and habitat selection of reintroduced red-crowned crane. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(4): 1526-1538.

野化放归丹顶鹤活动节律、家域特征和栖息地选择

陈浩¹,王刚^{2,3,4,*},王成⁵,薛菲⁶,成海¹,张亚楠¹

1 江苏盐城湿地珍禽国家级自然保护区,盐城 224333

2 盐城师范学院城市与规划学院,盐城 224007

3 盐城师范学院苏北农业农村现代化研究院,盐城 224007

4 盐城师范学院盐城城乡融合发展研究院,盐城 224007

5 安徽农业大学经济管理学院,合肥 230036

6 盐城师范学院海洋与生物工程学院,盐城 224007

摘要:了解野放丹顶鹤的运动模式、家域和栖息地选择的时间节律特征对丹顶鹤种群保护和栖息地管理尤为重要。基于 GPS-GSM 跟踪数据,综合运用 3S 技术、动态布朗桥模型、栖息地选择指数,研究了盐城海滨湿地野放丹顶鹤在不同生活周期的活动节律、家域的面积和重叠指数,以及栖息地选择。结果表明:(1)丹顶鹤日活动节律具有明显的周期性特征。丹顶鹤活动强度:育成期>越冬期>孵化期>育雏期,孵化期和育雏期日间活动强度平稳,育成期和越冬期呈“双峰”模式。(2)丹顶鹤 95%家域面积均值介于(111.18±22.15)hm²—(621.28±105.77)hm²,育成期((621.28±105.77)hm²)>育雏期((226.83±54.86)hm²)>孵化期((112.40±7.72)hm²)>越冬期((111.18±22.15)hm²);核心家域面积均值介于(0.53±0.26)—(45.78±6.66)hm²,育成期((45.78±6.66)hm²)>育雏期((12.73±3.67)hm²)>越冬期((5.18±1.59)hm²)>孵化期((0.53±0.26)hm²)。不同生活周期家域重叠值为 31.08%—46.84%,不同年份重叠值为 29.20%—76.21%。(3)家域尺度内,栖息地选择率具有周期性差异。孵化期选择中高覆盖度芦苇生境;育雏期选择水塘生境、中高覆盖度生境以及距水塘潮沟 100 m 以内生境;育成期选择水塘生境、低和中低覆盖度生境以及距离水塘 0—100 m 生境;越冬期选择水塘生境、中高覆盖度生境以及距水塘 0—100 m 生境。研究可为丹顶鹤种群保护和栖息地管理提供科学依据。

关键词:丹顶鹤;活动节律;家域;栖息地选择;盐城海滨湿地

Activity rhythms, home range characteristics, and habitat selection of reintroduced red-crowned crane

CHEN Hao¹, WANG Gang^{2,3,4,*}, WANG Cheng⁵, XUE Fei⁶, CHENG Hai¹, ZHANG Yanan¹

1 Jiangsu Yancheng National Rare Birds Nature Reserve, Yancheng 224333, China

2 School of Urban and Planning, Yancheng Teachers University, Yancheng 224007, China

3 North Jiangsu Institute of Agricultural and Rural Modernization, Yancheng Teachers University, Yancheng 224007, China

4 Yancheng Institute of Urban and Rural Integration and Development, Yancheng Teachers University, Yancheng 224007, China

5 School of Economics and Management, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

6 School of Marine and Biological Engineering, Yancheng Teachers University, Yancheng 224007, China

Abstract: Reintroduction serves as a highly effective method for biodiversity conservation, as it plays a crucial role in restoring populations of endangered species and mitigating the risk of extinction. Nonetheless, achieving successful reintroduction is no simple feat; it demands a comprehensive process of monitoring and evaluating the individual behavior of

基金项目:国家自然科学基金项目(32271662, 32201346)

收稿日期:2023-02-23; **网络出版日期:**2023-11-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangg@yctu.edu.cn

the species and its interplay with the habitat. Vital aspects such as activity rhythms, home range characteristics, and habitat selection offer valuable insights into the environmental requirements of reintroduced animals. Thus, the temporal rhythms of movement patterns, home range, and habitat selection of reintroduced red-crowned cranes play a crucial role in population conservation and habitat management. This study employed GPS-GSM tracking data and advanced analytical techniques, including 3S technology, dynamic Brown's Bridge model, and habitat selection index, to investigate the daily activity rhythms, home range characteristics, and habitat selection of reintroduced red-crowned cranes (*Grus japonensis*) in Yancheng coastal wetland. The results indicate that the daily activity rhythms of the cranes exhibit clear periodic patterns, with the highest intensity observed during the rearing period, followed by the wintering period, hatching period, and brooding period. The activity patterns during the hatching and brooding periods are characterized by a smooth intensity of daytime activity, while those during the rearing and wintering periods exhibit a bimodal pattern. The study also found that 95% home range area of the cranes varies from (111.18 ± 22.15) to (621.28 ± 105.77) hm^2 , with the largest ranges during the rearing period, followed by the brooding period, hatching period, and wintering period. Meanwhile, the core home range area varies from (0.53 ± 0.26) to (45.78 ± 6.66) hm^2 , with similar patterns as the 95% home range. The overlap values of the home ranges also show periodic variation, ranging from 31.08% to 46.84% for different life cycles and from 29.20% to 76.21% for different years. Finally, the results demonstrate that the habitat selection rates of the cranes also exhibit periodic variations, with different habitats being selected during different life cycle stages. During the hatching period, the medium to high cover reed habitat is preferred, while during the brooding period, the pond habitat, the medium to high cover habitat, and the habitat within 100 m from the tidal creek and the pond are selected. During the rearing period, the pond habitat, the low and medium-low cover habitat, and the habitat within 100 m from the pond are preferred, while during the wintering period, the pond habitat, the medium-high cover habitat, and the habitat within 100 m from the pond are selected. In conclusion, this study provides a valuable scientific foundation for conservation and habitat management of the reintroduced red-crowned crane population in Yancheng coastal wetland.

Key Words: red-crowned crane; activity rhythms; home range; habitat selection; Yancheng coastal wetland

野化放归有助于濒危物种种群恢复,降低灭绝风险,是生物多样性保护的有效手段^[1-2]。目前,全球已广泛开展了多种动物的野化放归理论与保护实践,取得了诸多实质性进展^[3]。然而,成功的野化放归并非易事,需要对物种的个体行为以及与栖息地的关系展开全过程的监测与评估^[4]。特别是,了解野放动物能否适应野生环境并繁衍后代尤为重要,这是建立稳定种群的先决条件,也是野放成功的重要标志^[5]。

活动节律、家域特征和栖息地选择可以综合反映野放动物的环境需求。活动节律研究是动物行为生态学的重要内容,旨在通过动物的活动模式^[6]和行为类型、频率、持续时间^[7]的观察和记录,来了解动物的生活习性、生理和生态需求,以及对环境的适应能力。家域被定义为动物在觅食、交配、照顾后代的正常活动中所经过的区域^[8],其受动物内部因素(例如个体特征、能量代谢)和外部因素(例如食物、隐蔽物、干扰、种间种内关系等)的影响^[9],体现了动物对环境认知^[10]。家域有明显的空间分布特征,对家域的位置^[11]、面积^[12]、重叠度^[13-14]进行估算可以提供动物空间利用动态的有价值信息。栖息地选择是指生物对资源和环境的不均衡利用,以满足成长、生存和繁殖的需求,同时使后代获得最大程度的适应度^[15-16]。栖息地选择的认知从根本上依赖于尺度^[17-18],学者们在多个尺度开展了栖息地选择研究^[19-21],其中家域尺度研究对于野生动物精细化保护与管理具有重要的指导意义。

丹顶鹤(*Grus japonensis*)是国家一级保护野生动物、国际自然保护联盟红色名录中的濒危物种,目前种群数量仅 3050 只左右^[22]。历史上,丹顶鹤繁殖地和越冬地广泛分布于我国东北区域和长江中下游地区。但近几十年来,由于栖息地丧失与退化^[19]、人为干扰^[23]、气候变化^[24]等原因,丹顶鹤分布范围逐渐向保护区集中^[21],种群数量亦呈下降趋势,丹顶鹤保护面临严峻挑战。

目前已经对丹顶鹤种群和栖息地保护开展了广泛而深入的研究,研究内容主要集中在野生种群的个体行为^[25]、营养位^[26]、种群调查^[27]、栖息地生态特征^[28]、空间格局^[19,29],以及栖息地的利用与选择^[30]等方面。研究表明,丹顶鹤是大型杂食性涉禽,常栖息于湿地内部,需要有大面积自然湿地维持其正常生存,并对人类活动高度敏感。相较野生种群,野放丹顶鹤种群有其独特的生态习性,特别是在盐城海滨湿地,野放丹顶鹤为不迁徙种群,其栖息范围较小,需要在相对固定的范围内获取多样化生存资源,以完成从孵化到越冬的完整年周期活动。然而迄今,对野放丹顶鹤种群的研究相对较少,已有的少数研究对野放丹顶鹤的活动范围^[31]、异常迁徙行为^[32]和栖息地适宜性^[33]进行了报道,但仍缺乏野放丹顶鹤的完整年周期的研究,对其活动节律、家域特征和栖息地选择的认知亦存不足。鉴于此,本研究基于 GPS-GSM 连续跟踪数据,综合运用 3S 技术、动态布朗桥模型、栖息地选择指数,研究了不同的繁殖年份内,盐城海滨湿地野放丹顶鹤的活动节律、家域的面积和重叠特征,以及栖息地选择规律。研究可为丹顶鹤种群和栖息地保护提供科学依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

选择盐城湿地珍禽国家级自然保护区核心区(32°34'9"—34°30'19" N, 119°46'30"—121°6'59" E)为研究区域(图 1)。研究区总面积约 157.8 km²,研究区所在的盐城海滨湿地生物多样性极为丰富,拥有国家一级保护野生动物 14 种,国家二级保护野生动物 76 种,主要保护对象为湿地珍禽以及海滨湿地生态系统,是“世界生物圈保护区网络”、“东北亚鹤类保护网络”、“东亚—澳大利亚涉禽迁徙网络”成员,2002 被列入“拉姆萨尔国际重要湿地”名录,2019 年被列入世界自然遗产地名录。区域位处于暖温带与北亚热带过渡地带,日照充足,降雨充沛,年平均气温为 14.1 °C,年平均降雨量为 1014.7 mm。区内地势平坦,平均高程小于 2 m。植被主要由芦苇(*Phragmites australis*)、海三棱藨草(*Scirpus mariqueter*)、白茅(*Imperata cylindrica*)、碱蓬(*Suaeda salsa*)、互花米草(*Spartina alterniflora*)组成,由海向陆形成演替序列。盐城海滨湿地为丹顶鹤等珍禽提供了优良的栖息地,来此越冬的丹顶鹤数量最多达 1128 只,占中国越冬种群的 80%—90%^[19]。

1.2 数据获取

1.2.1 丹顶鹤 GPS-GSM 跟踪数据获取

卫星跟踪数据来自于两只野外放归丹顶鹤。研究团队于 2013 年和 2015 年放归了 14 只丹顶鹤。放归前

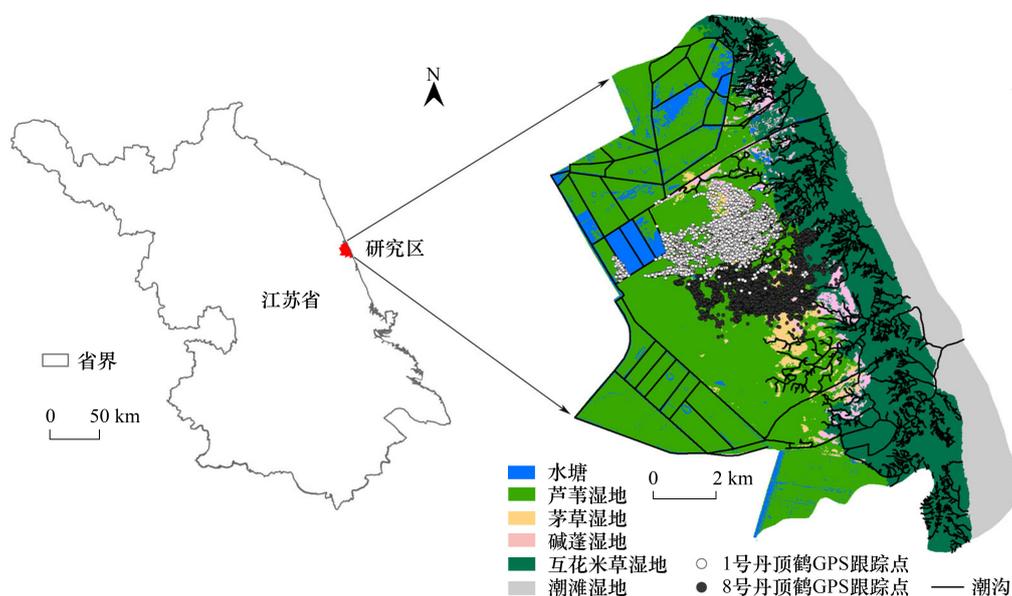


图 1 研究区位置图和丹顶鹤 GPS 跟踪点

Fig.1 Location of study area and GPS tracking points of red-crowned crane

为丹顶鹤安装了背负式小型卫星信号发射器(PPTs, 湖南环球信士), 发射器重量小于丹顶鹤体重 5%。发射器定位精度为 5 m, 电量充足时以 1 次/小时的频率自动记录位置数据, 同时记录时间、速度、高度、温度、精度等信息。至 2016 年, 因丹顶鹤死亡、受伤回收、失联, 以及发射器脱落、电池耗竭等原因, 12 只丹顶鹤失去信号, 剩余 2 只丹顶鹤(1 号丹顶鹤和 8 号丹顶鹤)的发射器信号仍能正常工作。1 号丹顶鹤自 2016 年出现营巢行为, 2017 年、2019 年成功孵化幼鹤, 至 2020 年 1 月信号丢失, 共出雏 2 次。8 号鹤从 2015 年—2017 年成功出雏 3 次, 2018 年 2 月信号丢失, 共出雏 3 次。由于 2015 年 8 号鹤电池电量低, 信号不完整, 因此, 为了反映丹顶鹤完整的年周期行为特征, 摒弃 2015 年数据。最终选取 2017 年和 2019 年 1 号丹顶鹤跟踪数据、2016 年和 2017 年 8 号丹顶鹤跟踪数据进行分析。

根据野外实地调查和 GPS 信号分析, 将丹顶鹤生活年周期划分为孵化期(3—4 月)、育雏期(5—7 月)、育成期(8—10 月)和越冬期(11—2 月), 该时间划分可以和实际的孵化、伴雏游荡、练飞、越冬等行为相对应。为了获得丹顶鹤地面活动信息, 删除了所有速度 > 4.0 m/s(野外观察到的最大地面行进速度)的跟踪记录后, 共保留了 28846 个跟踪记录(图 1)。

1.2.2 丹顶鹤活动节律特征分析

通过计算丹顶鹤 0—24 点的连续每小时运动速率来评估活动节律特征。对每只丹顶鹤的每年跟踪数据, 分别计算孵化期、育雏期、育成期和越冬期内每相邻小时点位之间的欧式距离平均值。以不同时期的时均移动距离和日均移动距离, 表示丹顶鹤活动强度, 数值以平均值 ± 标准误表示。绘制 X 轴为当地时间, Y 轴为移动速率(m/h)的折线图, 图中误差线表示标准误($n=4$)。数据统计分析使用 R 语言完成。

1.2.3 丹顶鹤家域估算和重叠指数计算

使用动态布朗桥运动模型(dynamic Brownian bridge movement mode, dBBMM)计算生成丹顶鹤家域及核心家域。使用 95% 分布等值线表示家域, 50% 分布等值线表示核心家域。分别计算 1 号鹤和 8 号鹤在不同生活周期的家域和核心家域面积, 以及年内不同生活周期和年际间家域、核心家域重叠值。家域 α 和 β 的重叠指数 I 计算如下(公式 1)^[34]:

$$I = \sqrt{\frac{O}{A_{\alpha}} \times \frac{O}{A_{\beta}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, A_{α} 和 A_{β} 分别表示家域 α 和 β 的面积, O 表示家域 α 和 β 的重叠面积, 重叠指数 I 越大表示家域 α 和 β 重叠程度越高。使用 R 语言 move 包^[35]和 adehabitatLT 包^[36]计算家域, window 取值为 13, margin 取值为 5, 家域面积统计值以平均值 ± 标准误表示。使用 ArcGIS 10.8 的叠置分析工具计算家域重叠面积。

1.2.4 丹顶鹤栖息地选择率

根据生境利用和可用性特征, 分别从生境类型、覆盖度、距水塘距离、距潮沟距离方面, 在个体水平上^[18]和家域尺度内^[37]计算丹顶鹤栖息地选择率。生境类型、覆盖度、水塘距离、潮沟距离数据的获取方法如下:

(1) 利用哨兵-2 影像并结合野外调查对研究区生境类型进行划分。选取了 2018 年 6 月 8 日影像(云量小于 3%)进行解译, 该时期芦苇处于茂盛生长期, 互花米草处于萌发期, 其他植被光谱信息具有较大差异, 可以避免异物同谱现象。使用随机森林进行影像分类, 基于野外调查选取的 165 个样点, 将生境类型分为 6 类(图 1)。应用混淆分类矩阵进行精度评价, 总体分类精度 93.5%, Kappa 系数 91.7%。分类精度较好。(2) 使用像元二分模型生成植被覆盖度栅格数据。再根据自然断点法, 将研究区植被覆盖度分为低、中低、中、中高、高 5 类, 获得覆盖度分类栅格数据。(3) 从前述生境类型数据中提取水塘矢量数据, 基于高分 2 号遥感影像, 结合目视解译和野外调查对潮沟进行矢量化。然后计算生成水塘和潮沟欧氏距离, 再按 0—100 m、100—200 m、200—400 m、>400 m 进行分类, 最后获得潮沟距离和水塘距离分类栅格数据。使用 Google earth engine^[38]进行遥感影像解译, 使用 ArcGIS 10.8 软件进行栅格数据处理分析, 栅格数据分辨率统一设为 10 m。

栖息地选择率计算如下(公式 2)^[18,37]:

$$W_i = O_i / P_i \quad (2)$$

式中, W_i 是 i 类栖息地的选择指数; O_i 是 i 类栖息地的利用率, 定义为家域范围内 i 类栖息地中 GPS 点位数占 GPS 点位总数的比例; P_i 是 i 类栖息地的可用性, 定义为家域范围内栖息地类型 i 占研究区总面积的比例。使用 R 包 `adehabitatHS` 的 `widesIII` 函数分别计算不同生活周期(孵化期、育雏期、育成期、越冬期), 两只丹顶鹤的四年 W_i 均值, 同时计算 95% 置信区间(95%CI) 并进行卡方检验($n=4$)。选择指数 W_i 的 95%CI 大于 1.0 表示正选择或偏好选择, 小于 1.0 的值表示负选择或回避, 等于 0 表示无选择。

2 结果与分析

2.1 丹顶鹤活动节律特征

丹顶鹤的活动强度: 育成期 > 越冬期 > 孵化期 > 育雏期。育成期活动强度最大, 每小时平均移动距离 (191.82 ± 56.66) m, 每日平均移动距离 (4580.03 ± 1383.22) m (表 1)。育雏期活动强度最小, 每小时平均移动距离 (84.63 ± 21.63) m, 每日平均移动距离 (2025.60 ± 524.46) m (表 1)。

表 1 不同生活周期丹顶鹤活动强度特征

Table 1 Characteristics of the activity intensity of red-crowned crane in different life cycles

生活周期 Life cycle	时均移动距离/m Average move distance per hour	日均移动距离/m Average move distance per day	样本量 Sample size
孵化期 Hatching period	115.98 ± 1.60	2783.61 ± 38.53	4
育雏期 Brooding period	84.63 ± 21.63	2025.60 ± 524.46	4
育成期 Rearing period	191.82 ± 56.66	4580.03 ± 1383.22	4
越冬期 Wintering period	147.94 ± 14.29	3550.53 ± 342.20	4

丹顶鹤日活动节律呈现两种模式: 孵化期和育雏期呈“倒 U”模式, 育成期和越冬期呈“双峰”模式 (图 2)。孵化期和育雏期, 日间活动强度较为平稳。在孵化期, 丹顶鹤 6:00—7:00 开始活动, 16:00—17:00 后活动强度下降, 20:00—21:00 后开始夜栖; 育雏期, 丹顶鹤 5:00—6:00 开始活动, 18:00—19:00 后活动强度下降, 21:00—22:00 后开始夜栖。育成期和越冬期, 日间活动强度出现两个明显峰值。育成期活动高峰期出现在 6:00—7:00 和 18:00—19:00; 越冬期活动高峰期出现在 7:00—8:00 和 18:00—19:00 (图 2)。

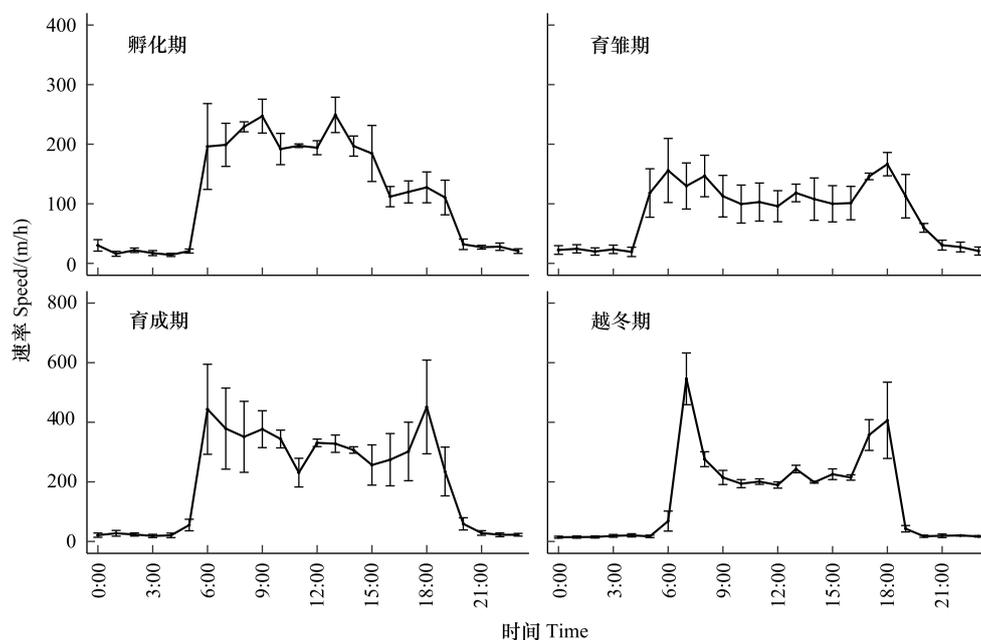


图 2 丹顶鹤活动节律

Fig. 2 Activity rhythms of red-crowned crane

2.2 丹顶鹤家域面积和重叠

利用 GPS 跟踪数据,分析得到丹顶鹤家域(图 3)、核心家域(图 4)。分析结果表明:丹顶鹤各时期家域面积均值介于 $(111.18 \pm 22.15) - (621.28 \pm 105.77) \text{ hm}^2$, 育成期 $((621.28 \pm 105.77) \text{ hm}^2) >$ 育雏期 $((226.83 \pm 54.86) \text{ hm}^2) >$ 孵化期 $((112.40 \pm 7.72) \text{ hm}^2) >$ 越冬期 $((111.18 \pm 22.15) \text{ hm}^2)$, ANOVA 检验表明家域面积存在显著差异,育成期家域面积显著大于其他时期 $(P < 0.05)$ (表 2)。各时期核心家域面积均值介于 $(0.53 \pm 0.26) - (45.78 \pm 6.66) \text{ hm}^2$, 育成期 $((45.78 \pm 6.66) \text{ hm}^2) >$ 育雏期 $((12.73 \pm 3.67) \text{ hm}^2) >$ 越冬期 $((5.18 \pm 1.59) \text{ hm}^2) >$ 孵化期 $((0.53 \pm 0.26) \text{ hm}^2)$, ANOVA 检验表明核心家域面积存在显著差异,育成期核心家域面积显著大于其他时期 $(P < 0.05)$ (表 2)。

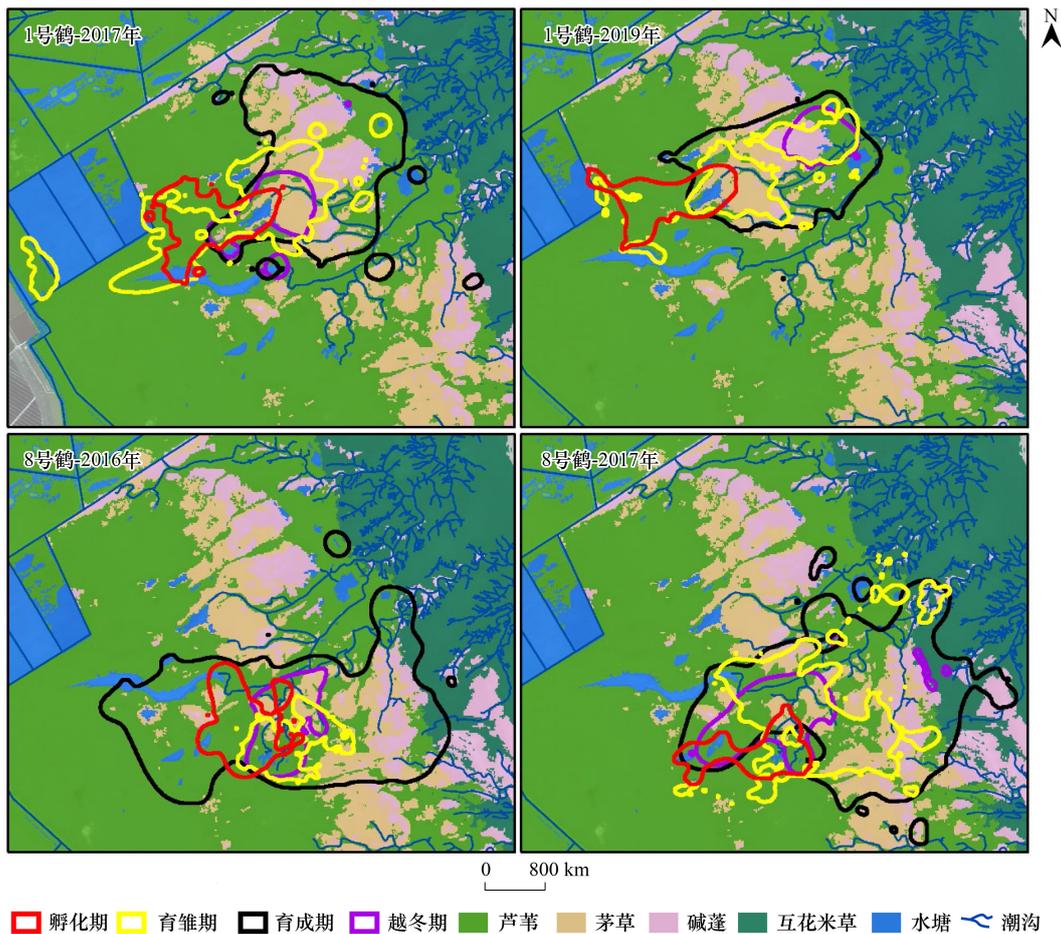


图 3 丹顶鹤家域分布

Fig.3 Home range distribution of red-crowned cranes

分别计算孵化期和育雏期之间、育雏期和育成期之间、育成期和越冬期之间家域和核心家域的重叠值。计算结果表明:家域重叠值均值介于 31.08%—46.84%,核心家域重叠值均值介于 6.53%—16.64%,家域重叠值远高于核心家域重叠值。育雏期和育成期之间家域重叠值显著高于孵化期和育雏期,其他时期差异不显著。育成期和越冬期之间核心家域重叠值显著高于其他时期(表 3)。

分别计算两只丹顶鹤不同年份的家域和核心家域重叠值。计算结果表明:家域重叠值平均值介于 29.20%—76.21%,其中孵化期>育成期>育雏期>越冬期。核心家域重叠值平均值介于 6.88%—18.92%,其中育成期>育雏期>孵化期>越冬期(表 4)。

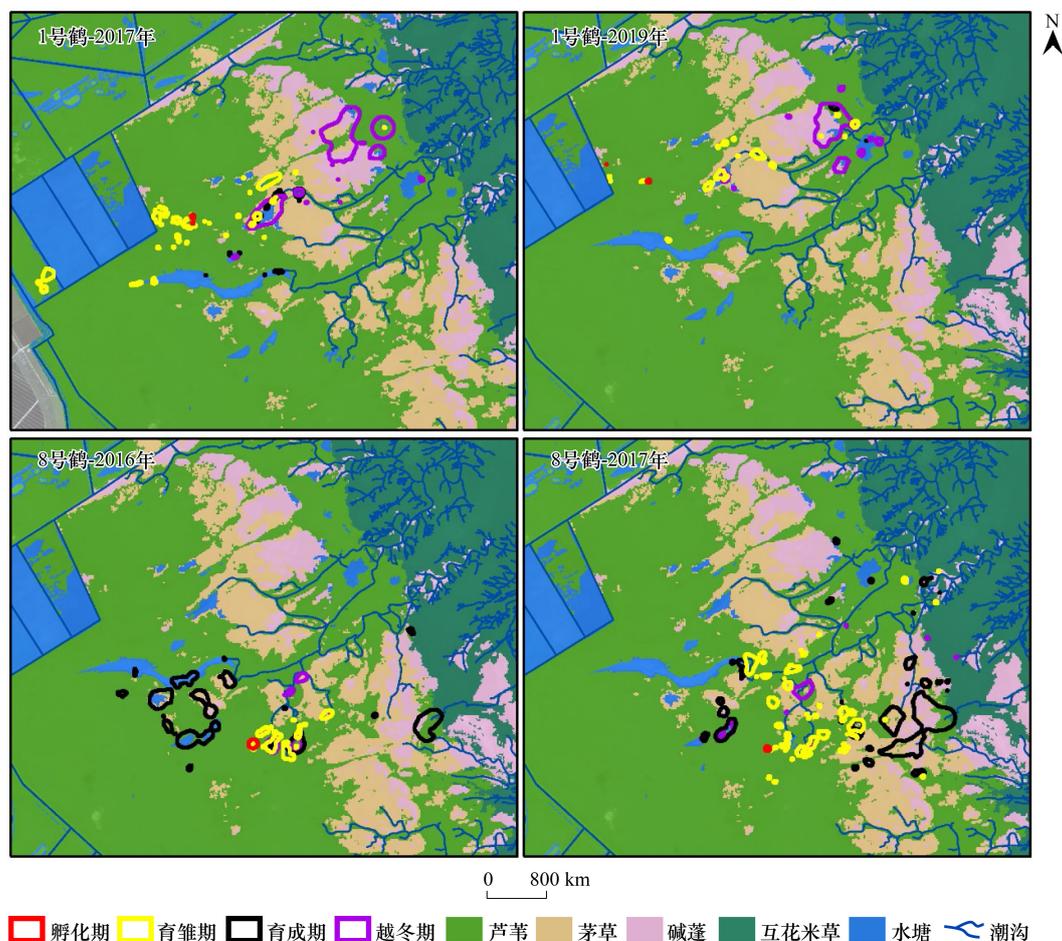


图4 丹顶鹤核心家域分布

Fig.4 Core home range distribution of red-crowned cranes

表2 丹顶鹤家域、核心家域面积/hm²

Table 2 Home range and core home range area of red-crowned crane

生活周期 Life cycle	家域面积均值 (最小值-最大值) Average home range area (minimum-maximum)	核心家域面积均值 (最小值-最大值) Average core home range area (minimum-maximum)	样本量 Sample size
孵化期 Hatching period	112.40±7.72a(91.92—124.55)	0.53±0.26a(0.19—1.29)	4
育雏期 Brooding period	226.83±54.86a(96.80—329.28)	12.73±3.67b(6.07—23.09)	4
育成期 Rearing period	621.28±105.77b(371.60—806.92)	45.78±6.66c(27.25—58.73)	4
越冬期 Wintering period	111.18±22.15a(61.74—168.23)	5.18±1.59ab(1.35—7.88)	4

字母表示 ANOVA 检验结果,同一列中相同字母表示差异不显著,否则差异显著

2.3 家域范围内栖息地选择特征

根据生境利用和可用性特征,从生境类型、覆盖度、距水塘距离、距潮沟距离方面,计算各生活周期丹顶鹤的栖息地选择特征(图5):

(1) 生境类型选择特征

在孵化期,丹顶鹤对芦苇生境正选择($W_i = 1.09$),对茅草($W_i = 0.25$)负选择。在育雏期,丹顶鹤对水塘生境正选择($W_i = 3.74$),对茅草($W_i = 0.50$)、碱蓬($W_i = 0.45$)、互花米草生境($W_i = 0.40$)负选择。在育成期,丹顶鹤对水塘生境正选择($W_i = 7.61$),对茅草($W_i = 0.72$)、芦苇($W_i = 0.38$)、互花米草生境($W_i = 0.43$)负选择。在

越冬期,丹顶鹤对水塘生境正选择 ($W_i = 5.10$),对茅草 ($W_i = 0.31$)、芦苇 ($W_i = 0.63$)、碱蓬 ($W_i = 0.30$) 负选择 (图 5)。

表 3 丹顶鹤不同生活周期家域、核心家域重叠值

Table 3 Overlap values of home ranges and core home ranges of red-crowned crane in different life cycles

家域类型 Home range type	分组 Group	重叠值 Overlapping value/%		
		孵化期 \cap 育雏期 Hatching \cap brooding	育雏期 \cap 育成期 Brooding \cap rearing	育成期 \cap 越冬期 Rearing \cap wintering
家域 Home range	1号鹤—2017年	46.69	39.24	41.13
	1号鹤—2019年	24.73	62.48	40.76
	8号鹤—2016年	29.44	34.40	37.93
	8号鹤—2017年	23.46	51.24	38.78
	平均值	31.08 \pm 5.36a	46.84 \pm 6.30b	39.65 \pm 0.77ab
核心家域 Core home range	1号鹤—2017年	4.12	5.05	14.53
	1号鹤—2019年	0.00	9.90	21.94
	8号鹤—2016年	12.00	6.12	17.91
	8号鹤—2017年	9.99	5.53	12.16
	平均值	6.53 \pm 2.74a	6.65 \pm 1.10a	16.64 \pm 2.12b

表 4 丹顶鹤不同年份家域和核心家域重叠值

Table 4 Overlap values of home ranges and core home ranges of red-crowned crane in different years

家域类型 Home range type	分组 Group	重叠值 Overlapping value/%		
		1号鹤, 2017年 \cap 2019年 Crane No. 1, 2017 \cap 2019	8号鹤, 2016年 \cap 2017年 Crane No. 8, 2016 \cap 2017	平均值 Mean value
家域 Home range	孵化期	76.09	76.33	76.21
	育雏期	43.28	46.00	44.64
	育成期	67.84	70.70	69.27
	越冬期	0.00	58.40	29.20
核心家域 Core home range	孵化期	14.05	17.72	15.89
	育雏期	12.05	19.87	15.96
	育成期	12.94	24.90	18.92
	越冬期	0.00	13.76	6.88

(2) 覆盖度选择特征

在孵化期、育雏期、越冬期,丹顶鹤对中高覆盖度生境正选择 ($W_i = 1.10—1.38$);在育成期,对低覆盖度和中低覆盖度生境正选择 ($W_i = 2.35—3.96$)。在孵化期,丹顶鹤对中高覆盖度以外的其余所有覆盖度生境(低、中低、中、高覆盖度)负选择 ($W_i = 0.25—0.37$);在育成期,对中高和高覆盖度生境负选择 ($W_i = 0.18—0.32$) (图 5)。

(3) 水塘距离选择特征

在育雏期、育成期、越冬期,丹顶鹤对距离水塘 0—100 m 生境正选择 ($W_i = 1.64—2.62$)。在孵化期,丹顶鹤对距离水塘 0—100 m ($W_i = 0.60$) 生境负选择;育雏期,对距离水塘 100—200 m ($W_i = 0.65$)、200—400 m 生境负选择 ($W_i = 0.67$);育成期,对距水塘 200—400 m ($W_i = 0.58$)、>400 m ($W_i = 0.56$) 生境负选择;越冬期,对距水塘 100—200 m ($W_i = 0.21$)、200—400 m ($W_i = 0.19$)、>400 m ($W_i = 0.48$) 生境负选择 ($W_i = 0.54—0.58$) (图 5)。

(4) 潮沟距离选择特征

在育雏期,丹顶鹤对距离潮沟 0—100 m 生境正选择 ($W_i = 1.36$)。在孵化期,丹顶鹤对距潮沟 0—100 m ($W_i = 0.59$)、100—200 m ($W_i = 0.38$) 生境负选择;育雏期,对距离潮沟 >400 m 生境负选择 ($W_i = 0.76$);越冬期,对距离潮沟 200—400 m 生境负选择 ($W_i = 0.80$)。育成期对潮沟距离无选择 (图 5)。

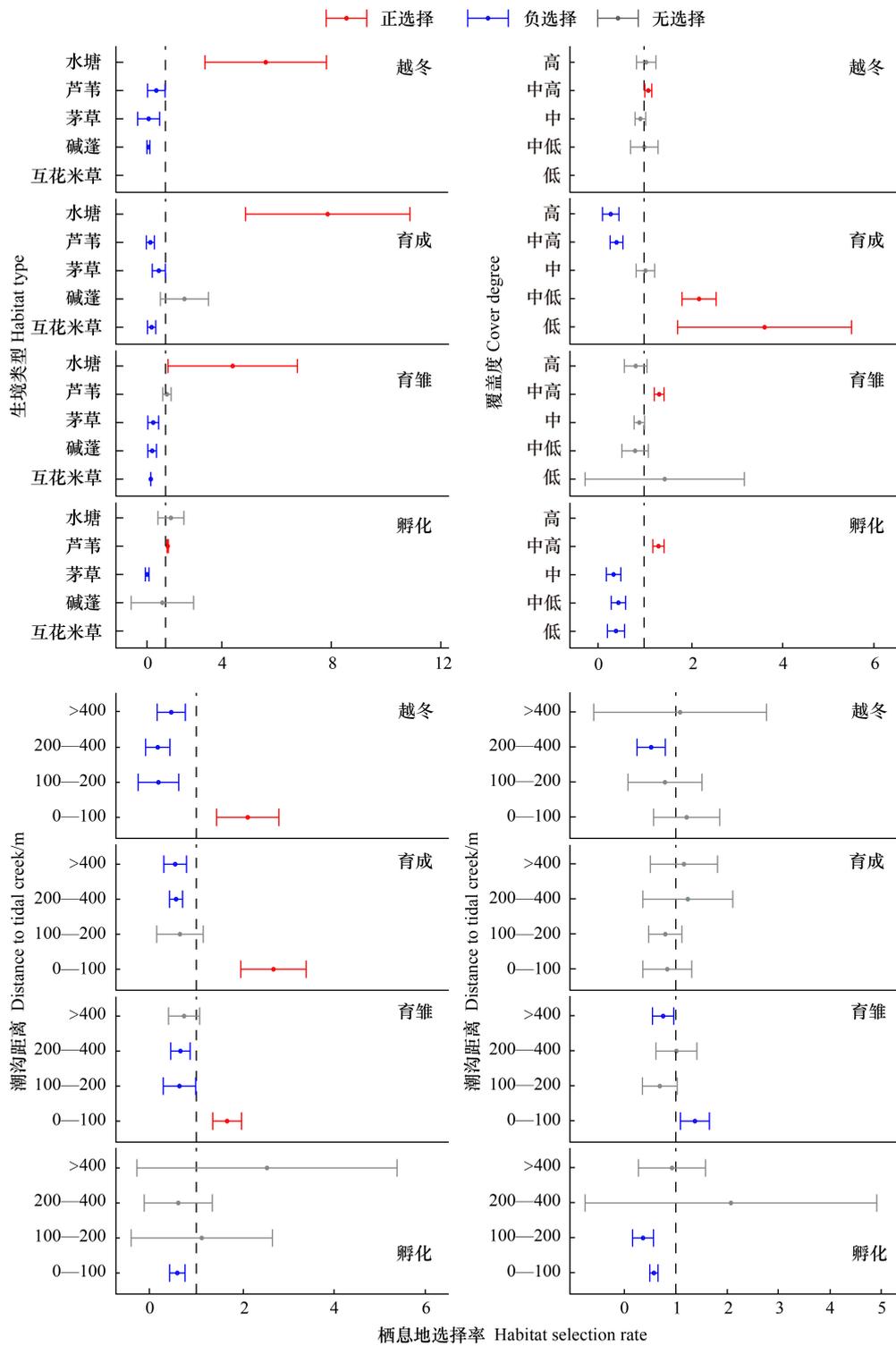


图5 丹顶鹤栖息地选择率
 Fig.5 Habitat selection rate of red-crowned cranes

总之,野放丹顶鹤在孵化期选择中高覆盖度芦苇生境,育雏期选择水塘以及靠近水塘、潮沟的中高覆盖度生境,育成期选择水塘以及靠近水塘的低覆盖度和中低覆盖度生境,越冬期选择水塘以及靠近水塘的中高覆盖度生境。

3 讨论

3.1 丹顶鹤活动节律

活动强度反映了野化放归丹顶鹤在不同时期的生活习性。以往研究表明,丹顶鹤^[39]和黑颈鹤^[40]等鹤类在孵化期以补巢、产卵、孵化等繁殖行为为主,在育雏期以伴雏、护雏行为为主,因此这两个时期运动距离较短、活动强度较低。随着幼鹤活动能力增加,亲鹤开始伴幼鹤练飞,因此育成期活动距离最高,这与前人研究一致^[41]。在越冬期,丹顶鹤一方面通过减少活动强度以降低能量代谢,另一方面仍需较多觅食以满足冬季生存的需要,因此该时期活动强度仍然较高。但与其他鹤类 GPS 跟踪记录相比,本研究中丹顶鹤越冬期活动强度低于木扎提河流域灰鹤^[42]、鄱阳湖白枕鹤^[43]、扎龙湿地丹顶鹤^[44],这可能和丹顶鹤对人为活动的敏感性以及研究区生境质量有关:(1)丹顶鹤对人为干扰高度敏感,活动多集中在自然湿地,而灰鹤等鹤类常飞行至远离自然湿地的农田生境觅食^[45],因此相比而言,丹顶鹤活动强度较低;(2)本研究区作为中国最大的丹顶鹤越冬地,生境质量较好,因此丹顶鹤可以较低的活动强度获得较多的食物、水源等生存资源。

研究利用 GPS 跟踪数据揭示了野化放归丹顶鹤在不同生活周期的活动节律。传统的活动节律研究多在固定地点、某一时间段(如繁殖期、越冬期)进行观察记录,从取食、警戒、游走等体态动作等方面来分析鸟类行为状态的时间分配节律^[25,46]。相比较传统的直接观察记录法,GPS 跟踪数据能获得更加连续的空间和时间上的运动模式数据,增加了活动节律分析的全面性和可靠性,是传统方法的有益补充。研究表明,丹顶鹤活动节律性呈现出两种模式:(1)孵化期和育雏期的“平稳”模式,以及(2)育成期和越冬期的“双峰”模式。在孵化期,两只亲鹤轮流换孵,跟踪个体在非孵卵期间自始至终进行觅食、警戒等活动,因此活动的节律性不明显。在育雏期初期亲鹤主要在巢区附近活动,之后伴随幼鹤四处游荡。受限于幼鹤的活动能力,亲鹤无法自由调节觅食运动距离以满足每天不同时段能量需求,因此该期间日活动的节律性亦不明显。育成期和越冬期表现出明显的晨昏“双峰”活动模式。这是因为丹顶鹤夜栖后需要尽快迁往觅食地以补充身体消耗的能量,夜栖前增加觅食活动以补足能量,这与前人对白枕鹤^[43]、灰鹤^[45,47]等鹤类的研究一致,表明非繁殖期的“晨昏双峰型”活动模式可能是鹤类中普遍存在的活动模式。

3.2 丹顶鹤家域的空间分布

研究基于 GPS 跟踪数据,分析了野化放归丹顶鹤在不同生活周期的家域面积,结果表明野化放归丹顶鹤家域面积及其变化具有明显的时间节律特征。以往对丹顶鹤家域的研究较少,并且主要集中在丹顶鹤孵化和育雏期。如邹红菲等^[48]研究结果表明,整个繁殖期丹顶鹤家域约为 0.51 km²。李方满等^[49]研究表明,繁殖地丹顶鹤孵化期家域均为 1.00 km²。本研究丹顶鹤孵化期和育雏期家域面积介于 112.40—225.83 hm²,与前人研究结果有所差异。其原因可能在于以下两点:其一,前人通过邻近巢址距离推断家域范围,或者通过野外调查手工绘制家域多边形,与基于 GPS 跟踪数据的动态布朗桥方法存在方法上的差异;其二,前人研究在繁殖地的不同年度开展,并且繁殖地与越冬地的景观特征、资源可用性状况有一定差异,因此家域面积在也有所差别。这也说明,为了对野化放归丹顶鹤进行有效管理,有必要开展区域针对性研究。丹顶鹤育成期家域研究鲜有报道,但与其他珍稀鹤类相比,丹顶鹤育成期家域面积较大,核心域面积接近。如 GPS 跟踪数据表明,黑颈鹤育成期家域面积为 2.34—2.53 km²,小于丹顶鹤家域面积,而核心域 0.43—0.44 km²,与丹顶鹤核心域接近^[50]。相比其他时期,育成期家域面积较大,这是由于该时期幼鹤具有飞行能力,亲鹤能伴其自由运动,另外,丹顶鹤需要为越冬期储备足够能量,因此需要在较大的范围内进行频繁觅食,这也可以由前述运动距离数据验证。越冬期家域急剧缩小,面积不足育成期的 1/5,与孵化期接近。有研究认为,在冬季资源贫乏的条件下,动物为获取更多资源,会增加活动范围,因此家域面积会增加^[51]。而本研究结论与此相反,其原因可能和该期间丹顶鹤种群密度增加有关。近年来,每年由繁殖地迁徙来此越冬的丹顶鹤有 400 只左右。野化放归丹顶鹤可能会通过缩小家域以避免竞争,即表现为“密度-家域”负响应空间利用模式^[52]。

家域重叠值反映动物对栖息地的忠诚度,研究可从以下两方面提供对丹顶鹤栖息的生态过程的洞察:

(1)首先,从年际家域重叠来看,丹顶鹤在不同繁育年份具有较高的栖息地忠诚度。鸟类通常采取“胜留/输变(Win-Stay/Lose-Switch, WSLS)”的空间利用策略,即动物个体倾向于重返成功繁殖或觅食的生境,而放弃未能成功繁殖或觅食的生境^[53-54]。因此,高年际忠诚度可能意味着家域的资源条件能够较好的满足野化放归丹顶鹤的繁殖、觅食等活动需求,致使其在不同年份仍选择相对固定的家域。例如,丹顶鹤孵化期家域重叠值高达76.21%,这说明丹顶鹤有沿用旧巢区的习惯;育成期家域重叠值高达69.27%,说明丹顶鹤能获得较丰沛的食物资源。相比而言,不同年份的核心家域重叠值很低,说明不同年份各时期集中利用的区域差异较大。孵化期核心域重叠值低表明丹顶鹤虽沿用旧巢区,但每年新巢与旧巢有一定距离。其他时期核心家域低重叠值可能和年际间食物等资源的不均匀分布有关。(2)其次,丹顶鹤同一年份的不同生活周期对栖息地的忠诚度相对较低。在同一年份,孵化期、育雏期、育成期、越冬期家域重叠小于50%,核心家域重叠值小于20%,该结果说明,在不同的生活周期,丹顶鹤生存所需资源条件有较大差异。这提示我们,在栖息地管理中,应当提供多样化的生境以供野化放归丹顶鹤全年生活周期的利用。

3.3 丹顶鹤栖息地选择

栖息地选择率综合了栖息地利用性和可用性。丹顶鹤在年周期内,具有不同的栖息地选择特征。孵化期选择生境极其专一,仅选择中高覆盖度芦苇生境,避免选择其他覆盖度,以及距离水塘和潮沟较近的生境。育雏期、育成期、越冬期均选择水塘以及靠近水塘的生境,这是由于水塘既能提供食物、水等资源,也能提供夜栖的安全条件,这与前人对灰鹤^[45]、黑颈鹤^[55]的研究一致,也提示在管理工作中需要注意对水塘生态功能的维护。在育雏期、育成期、越冬期,除水塘以外,丹顶鹤对各种植被生境类型(如芦苇、碱蓬、茅草、互花米草等)均不表现出正选择性,但对于覆盖度具有明显的选择特征,如丹顶鹤在育雏期和越冬期选择中高覆盖度生境,在育成期选择低和中低覆盖度生境。值得注意的是,丹顶鹤栖息地选择和利用存在一定的差异,这可以从资源的可用性差异来解释。例如,育雏期丹顶鹤对芦苇生境的利用率较高,但育雏期家域内芦苇面积占比亦很高,因此计算结果显示该期间对芦苇生境无正选择性。

3.4 丹顶鹤种群保护与栖息地管理建议

建议根据野放丹顶鹤的活动节律、家域和家域内栖息地选择特征开展针对性保护与管理措施。首先,减少人为干扰。丹顶鹤是敏感物种,日常巡护工作应避免进入丹顶鹤核心活动区域,以防对丹顶鹤的繁育活动产生负面影响。其次,根据家域范围做好栖息地面积管理。丹顶鹤需要较大的连续栖息地,考虑到两只丹顶鹤均在保护区核心区中心路以南建立稳定的家域,年际间栖息地忠诚度较高,而南部以自然栖息地为主,北部以人工栖息地为主,因此这提示我们在栖息地恢复中应注重营造更具自然特征的栖息地,避免修建过多巡护道路和密集的人工水塘,从而挤压自然栖息地面积、产生破碎化生境格局特征。另外,丹顶鹤在不同生活周期对栖息地的忠诚度相对较低,因此应当提供多样化的生境以供野化放归丹顶鹤全年生活周期的利用。再次,家域内栖息地选择特征提示我们恢复某种单一植被类型并不能改善丹顶鹤生境条件,需重点关注水塘生境生态功能的维持,并结合丹顶鹤在各生活周期的生态习性进行植被覆盖度管理。建议修复适当面积的、具有自然水文连通特征的水塘生境,并在水塘100 m范围内营造中高及以下覆盖度多种植被生境,控制高密度的芦苇和互花米草扩张,以满足野放丹顶鹤全生活周期的生态需求。最后,未来应加强野生种群和野放种群的联合监测与研究,以进行更全面的种群保护和栖息地管理工作。

4 结论

野放动物的运动模式和栖息地选择研究有助于阐明其生态需求,也是进行种群保护和栖息地管理的前提。研究表明:

(1)野放丹顶鹤日活动节律具有明显的周期变化特征。孵化期和育雏期活动强度低,日活动节律不明显;育成期和越冬期活动强度高,日活动节律呈“晨昏双峰型”。

(2)野放丹顶鹤家域面积具有明显的时间节律变化特征,育成期家域和核心域面积远高于育雏期、孵化

期和越冬期。丹顶鹤在不同繁育年份具有较高的栖息地忠诚度;不同生活周期对栖息地的忠诚度相对较低。

(3) 栖息地选择率综合了栖息地利用性和可用性。水塘以及中高及以下覆盖度植被对野放丹顶鹤成功繁育至关重要。未来应加强野生种群和野放种群的联合监测与研究,以进行更全面的种群保护和栖息地管理工作。

参考文献 (References):

- [1] Batson W G, Gordon I J, Fletcher D B, Manning A D. REVIEW: Translocation tactics: a framework to support the IUCN Guidelines for wildlife translocations and improve the quality of applied methods. *Journal of Applied Ecology*, 2015, 52(6): 1598-1607.
- [2] Kirkwood J K. Guidelines for reintroductions and other conservation translocations. *Animal Welfare*, 2013, 22(4): 489-490.
- [3] Seddon P J, Griffiths C J, Soorae P S, Armstrong D P. Reversing defaunation: restoring species in a changing world. *Science*, 2014, 345(6195): 406-412.
- [4] Berger-Tal O, Blumstein D T, Swaisgood R R. Conservation translocations: a review of common difficulties and promising directions. *Animal Conservation*, 2020, 23(2): 121-131.
- [5] Ewen J G. *Reintroduction biology: integrating science and management*. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2012.
- [6] 吴运佳, 程芸, 袁磊, 张诗, 张烁, 刘少创. 库木塔格沙漠地区野骆驼活动节律与家域特征. *生物多样性*, 2021, 29(9): 1206-1214.
- [7] 王子健, 高明, 吕洪伟, 周亮, 易华清, 刘莉, 刘冬平. 北戴河朱鹮野化种群非繁殖期日间活动时间分配和行为节律. *生态学报*, 2021, 41(13): 5487-5494.
- [8] Mazerolle D F, Hobson K A. Territory size and overlap in male Ovenbirds: contrasting a fragmented and contiguous boreal forest. *Canadian Journal of Zoology*, 2004, 82(11): 1774-1781.
- [9] 张晋东, Hull V, 欧阳志云. 家域研究进展. *生态学报*, 2013, 33(11): 3269-3279.
- [10] Powell R A, Mitchell M S. What is a home range? *Journal of Mammalogy*, 2012, 93(4): 948-958.
- [11] 黄田, 徐正刚, 周立波, 赵运林. 水位波动对洞庭湖越冬小天鹅家域的影响. *生态学报*, 2019, 39(22): 8657-8666.
- [12] 王昱熙, 谢彦波, Batbayar N, 朱宝光, 董树斌, Barma A, Sasin A, 曹垒. 基于卫星追踪探讨黄河流域自然保护区对 3 种水鸟栖息地的保护现状. *生物多样性*, 2020, 28(12): 1483-1495.
- [13] Haverland A A, Green M C, Weckerly F, Wilson J K. Eastern black rail (*Laterallus jamaicensis jamaicensis*) home range and habitat use in late winter and early breeding season in coastal Texas, USA. *Waterbirds*, 2021, 44(2): 222-233.
- [14] Puehringer-Sturmayer V, Krejci J, Schuster R, Kleindorfer S, Kotrschal K, Frigerio D, Loretto M C. Space use and site fidelity in the endangered Northern Bald Ibis *Geronticus eremita*: effects of age, season, and sex. *Bird Conservation International*, 2022, 33: e10.
- [15] Mayor S J, Schneider D C, Schaefer J A, Mahoney S P. Habitat selection at multiple scales. *Écoscience*, 2009, 16(2): 238-247.
- [16] Jones J. Habitat selection studies in avian ecology: a critical review. *The auk*, 2001, 118(2): 557-562.
- [17] McGarigal K, Wan H Y, Zeller K A, Timm B C, Cushman S A. Multi-scale habitat selection modeling: a review and outlook. *Landscape Ecology*, 2016, 31(6): 1161-1175.
- [18] Johnson D H. The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology*, 1980, 61(1): 65-71.
- [19] Wang G, Wang C, Guo Z R, Dai L J, Wu Y Q, Liu H Y, Li Y F, Chen H, Zhang Y N, Zhao Y X, Cheng H, Ma T W, Xue F L. Integrating Maxent model and landscape ecology theory for studying spatiotemporal dynamics of habitat: suggestions for conservation of endangered Red-crowned crane. *Ecological Indicators*, 2020, 116: 106472.
- [20] Barzen J A, Gossens A P, Lacy A E, Yandell B S. Applying hierarchical resource selection concepts to solving crop damage caused by birds. *Conservation Science and Practice*, 2020, 3(3): e207.
- [21] 谢富赋, 刘红玉, 李玉凤, 王娟, 刘伶. 基于极坐标定位的丹顶鹤多尺度越冬生境选择研究——以江苏盐城自然保护区为例. *生态学报*, 2018, 38(15): 5584-5594.
- [22] 张婷婷, 彭昭杰, 张昊楠, 鲁长虎, 周大庆. 2000—2015 年丹顶鹤重要繁殖地景观格局变化研究. *生态学报*, 2019, 39(10): 3770-3776.
- [23] 刘伶, 刘红玉, 李玉凤, 王娟, 谢富赋. 苏北地区丹顶鹤越冬种群数量及栖息地分布动态变化. *生态学报*, 2018, 38(3): 926-933.
- [24] Liu L W, Liao J S, Wu Y B, Zhang Y L. Breeding range shift of the red-crowned crane (*Grus japonensis*) under climate change. *PloS one*, 2020, 15(3): e0229984.
- [25] 周晓禹, 刘振生, 吴建平, 滕丽微, 王晓明. 丹顶鹤繁殖期行为时间分配及活动规律. *东北林业大学学报*, 2002, 30(1): 60-62.
- [26] 罗金明, 王永洁, 王文锋, 高忠燕. 食物资源的枯竭对丹顶鹤营养位的影响. *应用生态学报*, 2017, 28(7): 2315-2320.
- [27] 马志龙, 金辛, 曾朝辉, 刘化金, 李天芳, 王强, 周学红. 兴凯湖湿地丹顶鹤迁徙与繁殖数量调查. *动物学杂志*, 2017, 52(1): 138-143.
- [28] 刘红玉, 李兆富. 基于景观斑块谱特征分析的湿地景观变化对丹顶鹤栖息地影响研究. *自然资源学报*, 2009, 24(4): 602-611.

- [29] Wang C, Wang G, Guo Z R, Dai L J, Liu H Y, Li Y F, Chen H, Zhao Y X, Zhang Y N, Cheng H. Effects of land-use change on the distribution of the wintering red-crowned crane (*Grus japonensis*) in the coastal area of northern Jiangsu Province, China. *Land use policy*, 2020, 90: 104269.
- [30] 宫兆宁, 苏朔, 杜博, 关晖, 张强. 扎龙湿地丹顶鹤繁殖栖息地的选择及扩散. *自然资源学报*, 2021, 36(8): 1964-1975.
- [31] 崔多英, 杜洋, 刘佳, 赵永强, 吴晓宇, 成海, 吕士成, 贾婷, 张金国. 重引入丹顶鹤野放初期活动范围及变化规律. *野生动物学报*, 2017, 38(1): 28-34.
- [32] Cheng C Y, Dou H S, Liu S T, Guo Y M. Rectification of abnormal migration recorded in hand-reared red-crowned cranes (*Grus japonensis*). *Waterbirds*, 2020, 42(4): 425.
- [33] Wang G, Wang C, Guo Z R, Dai L J, Wu Y Q, Liu H Y, Li Y F, Chen H, Zhang Y N, Zhao Y X, Cheng H, Ma T W, Xue F. A multiscale approach to identifying spatiotemporal pattern of habitat selection for red-crowned cranes. *Science of the Total Environment*, 2020, 739: 139980.
- [34] Minta S C. Tests of spatial and temporal interaction among animals. *Ecological Applications*, 1992, 2(2): 178-188.
- [35] Kranstauber B, Kays R, LaPoint S D, Wikelski M, Safi K. A dynamic Brownian bridge movement model to estimate utilization distributions for heterogeneous animal movement. *Journal of Animal Ecology*, 2012, 81(4): 738-746.
- [36] Calenge C. The package "adehabitat" for the R software: a tool for the analysis of space and habitat use by animals. *Ecological Modelling*, 2006, 197(3/4): 516-519.
- [37] Manly B F, McDonald L, Thomas D L, McDonald T L, Erickson W P. *Resource Selection by Animals: Statistical Design and Analysis for Field Studies*. 2nd edition. Springer Science & Business Media, 2007.
- [38] Gorelick N, Hancher M, Dixon M, Ilyushchenko S, Thau D, Moore R. Google earth engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 202: 18-27.
- [39] 姜娜, 李晓民. 七星河自然保护区丹顶鹤孵化期行为研究. *野生动物*, 2013, 34(1): 29-31.
- [40] 邝粉良, 仓决卓玛, 李建川, 杨乐, 刘宁. 藏北黑颈鹤孵卵期的昼间时间分配和行为节律. *楚雄师范学院学报*, 2015, 30(6): 22-25, 41.
- [41] 吴庆明, 张新刚, 于云飞. 扎龙保护区丹顶鹤育雏生境选择初探. *野生动物*, 2007, 28(6): 8-10.
- [42] 李军伟, 马鸣, 孟凡娟, Ilyashenko E I, Ilyashenko V Y, Belyalov O V, Gavrilov A E, Zaripova S K, Batbayar N, 曹垒. 灰鹤在天山木扎提河湿地越冬及行为观察. *生态与农村环境学报*, 2020, 36(5): 573-579.
- [43] 程雅畅. 基于 GPS 遥测的江西鄱阳湖越冬白枕鹤 (*Grus vipio*) 活动区和栖息地选择研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2015.
- [44] 高忠燕, 罗金明, 吴铁宇, 张宁, 徐伟衍. 扎龙湿地越冬丹顶鹤的活动规律研究. *湿地科学与管理*, 2022, 18(5): 2-7.
- [45] 段亚甜, 刘强, 雷宇, 李俊冬, 刘文, 李振吉, 王汝斌. 基于卫星跟踪个体的越冬灰鹤栖息地选择. *生态学杂志*, 2020, 39(7): 2392-2399.
- [46] Fan Y G, Zhou L Z, Cheng L, Song Y W, Xu W B. Foraging behavior of the Greater White-fronted Goose (*Anser albifrons*) wintering at Shengjin Lake: diet shifts and habitat use. *Avian Research*, 2020, 11(1): 65-73.
- [47] 蒋剑虹, 戴年华, 邵明勤, 黄志强, 卢萍. 鄱阳湖区稻田生境中灰鹤越冬行为的时间分配与觅食行为. *生态学报*, 2015, 35(2): 270-279.
- [48] 邹红菲, 吴庆明. 扎龙自然保护区丹顶鹤 (*Grus japonensis*) 巢的内分布型及巢域. *生态学报*, 2009, 29(4): 1710-1718.
- [49] 李方满, 李佩珣. 丹顶鹤与白枕鹤的领域比较研究. *动物学报: 英文版*, 1998, 44(1): 109-111.
- [50] Li X, Huettmann F, Pei W, Yang J, Se Y, Guo Y. Habitat selection across nested scales and home range assessments of the juvenile black-necked crane (*Grus nigricollis*) in the post-breeding period. *Global Ecology and Conservation*, 2022, 34: e02011.
- [51] Ullmann W, Fischer C, Pirhofer-Walzl K, Kramer-Schadt S, Blaum N. Spatiotemporal variability in resources affects herbivore home range formation in structurally contrasting and unpredictable agricultural landscapes. *Landscape Ecology*, 2018, 33(9): 1505-1517.
- [52] Abril-Colón I, Alonso J, Palacín C, Ucero A, Álvarez-Martínez J. Factors modulating home range and resource use: a case study with Canarian houbara bustards. *Movement Ecology*, 2022, 10(1): 1-16.
- [53] Schmidt K A. Site fidelity in temporally correlated environments enhances population persistence. *Ecology Letters*, 2004, 7(3): 176-184.
- [54] Gerber B D, Hooten M B, Peck C P, Rice M B, Gammonley J H, Apa A D, Davis A J. Extreme site fidelity as an optimal strategy in an unpredictable and homogeneous environment. *Functional Ecology*, 2019, 33(9): 1695-1707.
- [55] Liu Q, Yang J X, Yang X J, Zhao J L, Yu H Z. Foraging habitats and utilization distributions of Black-necked Cranes wintering at the Napahai Wetland, China. *Journal of Field Ornithology*, 2010, 81(1): 21-30.