

新疆玛纳斯越冬大天鹅幼鸟家庭群与成鸟群活动区及其对湿地公园利用的比较

严晗^{①②③④} 王克春^{①②③④} 马雪君^{①②③⑤} 杨维康^{①②③} 徐峰^{①②③④⑤*}

① 中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 干旱区生态安全与可持续发展重点实验室 乌鲁木齐 830011; ② 中国-塔吉克斯坦生物资源保育与利用联合实验室 乌鲁木齐 830011; ③ 中国科学院新疆生态与地理研究所新疆干旱区生物多样性保育与应用重点实验室 乌鲁木齐 830011; ④ 中国科学院大学 北京 100049; ⑤ 新疆农业大学生命科学学院新疆极端环境生物生态适应与进化重点实验室 乌鲁木齐 830052

摘要: 湿地公园等现有自然保护体系能否有效保护越冬水鸟一直是鸟类保护生物学重点关注的问题, 本研究于 2021 年 1 至 3 月在新疆玛纳斯国家湿地公园采用卫星跟踪法研究了大天鹅 (*Cygnus cygnus*) 的活动区及其与湿地公园的关系。通过对 5 只来自成鸟群和 4 只来自幼鸟的家庭群 (幼鸟家庭群) 的大天鹅共 3 657 个位点的分析, 运用自相关的核密度估计法 (autocorrelated kernel density estimation, AKDE) 计算大天鹅的活动区与核心活动区, 并用广义线性混合模型 (GLMM) 对比了成鸟群和幼鸟家庭群大天鹅活动区和核心活动区面积, 以及它们对玛纳斯国家湿地公园利用程度的差异。研究结果显示: (1) 幼鸟家庭群和成鸟群大天鹅的活动区和核心活动区面积以及与湿地公园重叠的比例、日平均移动距离均没有显著差异; (2) 相较于幼鸟家庭群, 成鸟群在湿地公园外的位点距湿地公园更远、在湿地公园外停留时间更长, 表明成鸟群和幼鸟家庭群在湿地公园的利用上有差异。尽管越冬大天鹅成鸟群与幼鸟家庭群的活动区大小没有差异, 但它们对湿地公园的利用方式存在差异, 越冬大天鹅幼鸟家庭群更倾向在湿地公园内活动, 而成鸟群更多在湿地公园外活动。幼鸟家庭群偏好在国家湿地公园内活动的原因可能是那里人为活动干扰少, 食物资源更丰富, 安全性更高。基于以上结果, 建议相关部门制定有针对性的保护措施, 以实现了对大天鹅越冬地的有效保护管理。

关键词: 大天鹅; 活动区; 保护成效; 卫星跟踪; 玛纳斯国家湿地公园

中图分类号: Q985 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2024) 06-866-13

The Comparative Study on the Activity Area and Wetland Park Utilization of Wintering Juvenile Family Groups and Adult Groups of Whooper Swan in Manas, Xinjiang, China

YAN Han^{①②③④} WANG Ke-Chun^{①②③④} MA Xue-Jun^{①②③⑤}
YANG Wei-Kang^{①②③} XU Feng^{①②③④⑤*}

基金项目 第三次新疆综合科学考察项目 (No. 2021xjkk0600), 中国科学院生物多样性监测网络项目 (Sino-BON);

* 通讯作者, E-mail: xufeng@ms.xjb.ac.cn;

第一作者介绍 严晗, 男, 硕士研究生; 研究方向: 动物生态与保护生物学; E-mail: 1272812662@qq.com.

收稿日期: 2023-12-23, 修回日期: 2024-05-16 DOI: 10.13859/j.cjz.202423238

① *State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Key Laboratory of Ecological Security and Sustainable Development in Arid Areas, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011*; ② *Sino-Tajikistan Joint Laboratory for Conservation and Utilization of Biological Resources, Urumqi 830011*; ③ *Xinjiang Key Laboratory of Biodiversity Conservation and Utilization in Arid lands, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, 830011*; ④ *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*; ⑤ *Xinjiang Key Laboratory for Ecological Adaptation and Evolution of Extreme Environment Biology, College of Life Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China*

Abstract: [Objectives] The wintering phase is a critical component of the avian life cycle, providing essential habitats for waterfowl in wetland reserves. However, there is ongoing uncertainty in accurately assessing the utilization of these reserves by wintering waterbirds, raising concerns about the effectiveness of current conservation measures. Satellite tracking technology presents a real-time monitoring solution, offering crucial data for precisely measuring waterbird habitat usage during winter. This technology enables accurate quantification of waterbird wintering habitats in relation to protected areas. **[Methods]** In January 2021, a large net cage was deployed in Manas National Wetland Park, Xinjiang, China, capturing 22 Whooper Swans *Cygnus cygnus* using food triggers. These swans were subsequently equipped with ‘backpack’ solar-powered satellite trackers. Due to equipment malfunctions and a limited number of valid locations, data from nine individual swans were obtained, five from adult groups and four from juvenile family groups. After excluding data from the initial week of satellite tracking and from swans that had departed their wintering grounds, a total of 3 657 locations for nine swans were analyzed. Autocorrelated kernel density estimation (AKDE) was employed to compute individual activity areas, we then compare the sizes of activity areas between swans from the adult groups and juvenile family groups, and derive ten movement metrics. Additionally, generalized linear mixed models (GLMM) were used to investigate the relationships between movement metrics and the utilization of wetland parks by Whooper Swans in different groups. **[Results]** The daily distance covered by Whooper Swans averaged 2.43 ± 0.49 km, with an average activity area size of 4.18 ± 1.27 km. The mean activity range of juvenile family groups was 2.61 times larger than that of adult groups, and the mean core activity area size was 0.97 ± 0.30 km, with juvenile family groups being 2.49 times larger than adult family groups. Juvenile family groups consistently exhibited larger metrics than adult groups across all three aspects. Although juvenile family groups had larger wintering ranges than adult groups, the difference was not statistically significant. Activity areas overlapped with wetland park covers (14.87%) for both juvenile family and adult groups. Juvenile family groups displayed a higher proportional overlap with wetland parks compared to adult groups, indicating a greater tendency for juvenile family groups to move within wetland parks, although no significant differences were observed. Juvenile family groups had a higher rate of locations within the wetland park compared to adult groups. Adult groups exhibited a greater mean distance of locations from the wetland park than juvenile family groups, suggesting that adult family groups focus more on activities outside the wetland parks. **[Conclusion]** The results indicate that although there is no significant difference in the size of activity areas between wintering adult and juvenile family Whooper Swan groups, there are notable differences in their utilization of wetland parks. Juvenile family groups prefer to spend more time within wetland parks due to reduced human disturbance, richer food resources, and higher safety level.

Based on these findings, it is recommended that relevant management authorities develop targeted conservation measures to effectively protect and manage wintering areas for Whooper Swans.

Key words: *Cygnus cygnus*; Activity area; Protection effectiveness; Satellite tracking; Manas National Wetland Park

冬季是一个关键时期, 鸟类需要摄入足够能量以满足春季的迁徙需求, 然而低温和食物资源匮乏是越冬鸟类需要克服的困难。鸟类个体的年龄差异导致成鸟和幼鸟面临不同的生存压力, 大量研究表明, 成鸟和幼鸟通过不同的行为模式和栖息地选择方式来适应冬季环境。举例来说, 在三门峡湿地, 成年和幼年大天鹅 (*Cygnus cygnus*) 在越冬不同阶段有不同的行为, 成年大天鹅会通过警戒行为保护幼体的安全, 而幼年大天鹅的行为则主要是觅食 (邓大军等 2019)。在鄱阳湖, 越冬的成年和幼年小天鹅 (*C. columbianus*) 个体在行为节律上表现出静止和取食行为之间的显著差异 (戴年华等 2013)。另外, 越冬的成年灰鹤 (*Grus grus*) 比幼鹤表现出更多的警戒行为, 家庭群的个体比聚集群的个体有更长的警戒时间 (蒋剑虹等 2015)。研究还表明, 越冬的成年和幼年大天鹅在植被利用上也存在差异, 这与它们的生理需求和植被类型有关 (张光宇等 2022)。此外, 成年和幼年大天鹅的越冬活动范围和分布也不同, 贾茹等 (2021) 对山西省的大天鹅研究表明成年个体的活动区大于幼鸟, 部分成鸟会从湿地公园转移到圣天湖活动, 而幼鸟则扩散至平陆黄河三湾湿地过冬。因此, 在研究鸟类的越冬活动范围和分布时, 需关注不同年龄个体的不同越冬策略。

新疆北部的湿地位于“一带一路”重要节点, 受到经济开发和生产活动的影响较大 (冯异星 2010)。自然保护区和湿地公园等保护体系在保障新疆北部的水鸟繁殖、停歇和越冬等方面发挥着关键作用。每年春季 3 至 4 月以及秋季 9 至 10 月, 灰鹤、灰雁 (*Anser anser*) 等鸟类会到达玛纳斯国家湿地公园的夹河子片区停歇, 以增加迁徙期间的能量储备; 大天鹅每

年冬季选择在此越冬, 其越冬行为主要以觅食和睡眠为主, 其次是警觉和行走, 而在越冬后期 (2 月初), 大天鹅的睡眠时间减少, 觅食和行走时间增加, 其行为比例与环境温度显著相关 (杨丽红等 2022)。湿地公园等保护体系内人为干扰较小、生境质量高且食物资源充足, 为鸟类的迁徙和停留提供了庇护和能量补给。

鸟类的活动区域指在特定时间内, 鸟类进行取食、休憩、游走、繁殖和停歇等日常活动所需的范围 (Schoener 1968)。活动区的大小和分布受环境温度、栖息地内食物资源、人类干扰以及个体行为模式的影响 (Zurell et al. 2018)。此外, 活动区的大小还与家庭结构相关, Liu 等 (2020) 对 14 个黑颈鹤 (*G. nigricollis*) 家庭不同繁殖阶段的活动区研究发现, 其育雏后的活动区面积显著小于育雏前, 表明它们在不同繁殖阶段采取了不同的栖息地利用策略。另外, Gupte 等 (2019) 对 13 个白额雁 (*A. albifrons*) 家庭的迁徙策略研究发现, 有幼雁的家庭春季迁徙时间比无幼雁的家庭晚, 并且每年冬季都有许多幼雁因掉队而独立过冬。

越冬鸟类对湿地公园为主的保护体系的利用程度通常以保护体系覆盖鸟类活动区的比例来衡量。Wei 等 (2023) 的研究分析了小天鹅关键停歇地的保护空缺, 结果显示其春季迁徙停歇栖息地仅有 4.3% 的区域被保护区覆盖, 迫切需要采取措施保护小天鹅的停歇地。王昱熙等 (2020) 对黄河流域三种水鸟迁徙停歇地的保护现状研究发现, 只有斑头雁 (*A. indicus*) 的活动区被保护区覆盖较多, 而白琵鹭 (*Platalea leucorodia*) 和东方白鹳 (*Ciconia boyciana*) 的活动区存在较大的保护空缺。另外, 针对美国干龟岛国家公园 (Dry Tortugas National Park) 的白顶玄燕鸥 (*Anous stolidus*)

研究表明,该物种有 91.3% 的监测位点和 58.8% 的活动区被保护区覆盖,显示该保护区能有效保护海洋鸟类的栖息地 (Maxwell et al. 2016)。目前国内外关于鸟类运动特征与保护区关系的研究仍然有限,针对保护体系对鸟类保护有效性的研究,不仅要明晰鸟类活动区与保护体系的关系,还需考虑年龄等因素对鸟类活动区的影响以及对保护体系利用的差异。

大天鹅隶属于雁形目 (Anseriformes) 鸭科 (Anatidae) 天鹅属,是国家二级重点保护野生动物,在我国主要分布在山东、河南、陕西和山西等黄河中上游区域以及新疆等西部地区 (张国钢等 2014, 郑光美 2023)。在新疆,大天鹅主要在天山北坡、伊犁谷地和库尔勒等地区越冬 (袁国映等 1992, 马鸣等 1993)。大天鹅冬季主要以家庭群的形式集群活动,具有较高的警惕性 (才代等 1993)。冬季大天鹅的成鸟与幼鸟较难区分,只有第一年的幼鸟与成鸟可在身体形态上进行区分。大天鹅成鸟的喙为黑色,基部黄色向前延伸超过鼻孔,通体白色,颈长而弯曲;而幼鸟的羽毛颜色较暗,喙基部略带粉红色,不同于成鸟,喙尖为褐色,在成长过程中逐渐褪去灰色,第二年换羽后呈洁白色 (图 1) (郭冬生等 2015, 聂延秋 2017)。此前研究者利用卫星追踪技术研究了大天鹅迁徙时间的影响因素,禽流感传播、年龄和环境因素对活动区的影响,以及春季与秋季迁徙策略的差异 (Liu et al. 2018, Li et al. 2020, 贾茹等 2021, 高如意等 2021, Lee et al. 2023),然而,对大天鹅越冬栖息地保护成效的研究仍然不足,也缺乏对越冬大天鹅活动区与保护体系利用关系的定量研究。

本研究使用卫星追踪技术获取新疆玛纳斯国家湿地公园大天鹅的冬季活动位点,以不同的运动指标评估越冬大天鹅与湿地公园的时空动态关系,拟回答以下问题:(1) 新疆玛纳斯国家湿地公园越冬大天鹅幼鸟家庭群与成鸟群的活动区和核心活动区是否存在差异?(2) 幼

鸟家庭群与成鸟群对湿地公园的利用是否存在差异?通过回答以上问题,可为湿地公园等保护体系开展越冬大天鹅的保护管理提供依据。



图 1 新疆玛纳斯国家湿地公园越冬的大天鹅

Fig. 1 *Cygnus cygnus* in Manas National Wetland Park, Xinjiang, China

1 研究区概况

玛纳斯国家湿地公园成立于 2011 年,它位于天山北麓中段、准噶尔盆地南缘 (86°04' ~ 86°18' E, 44°22' ~ 44°31' N) (图 2),属于温带大陆干旱半干旱气候,冬季平均最低气温 -30 °C,年积雪深度 25 ~ 36 cm (康紫薇等 2020)。玛纳斯国家湿地公园包含夹河子水库、大海子水库、白土坑水库以及玛纳斯河故道、六阜渠和莫合渠等区域,具有河流湿地、库塘湿地及沼泽湿地等多种湿地类型,是天山北坡重要的鸟类繁殖地及迁徙候鸟越冬地 (王丽春等 2019)。玛纳斯国家湿地公园共有大天鹅、灰鹤、蓑羽鹤 (*Anthropoides virgo*)、灰雁、鸿雁 (*Anser cygnoides*)、豆雁 (*A. fabalis*)、白鹈鹕 (*Pelecanus onocrotalus*) 等 18 目 58 科 279 种鸟类,其中国家一级重点保护鸟类 7 种,二级重点保护鸟类 40 种。玛纳斯国家湿地公园实行封园管理且冬季不对外开放,因此湿地公园内人为干扰较少,大天鹅每年 10 月到次年 3 月在这里越冬 (杨丽红等 2022)。

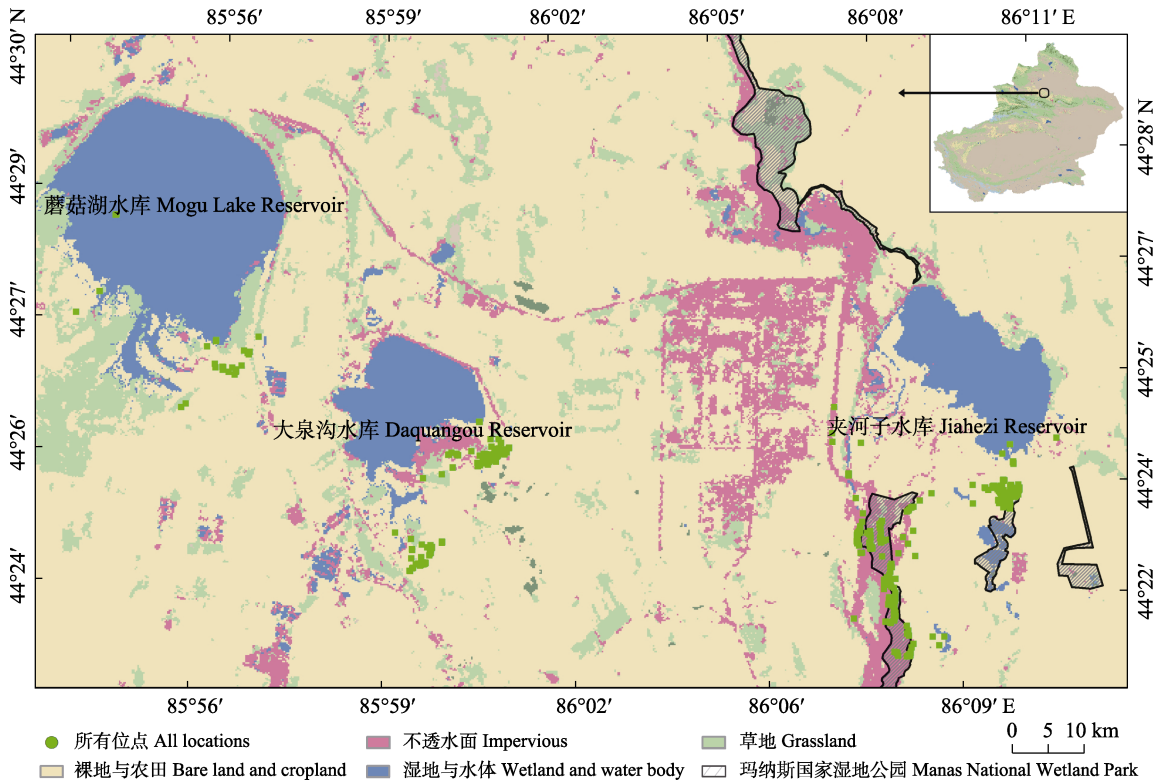


图 2 新疆玛纳斯国家湿地公园大天鹅分布位点

Fig. 2 Distribution of *Cygnus cygnus* locations in Manas National Wetland Park, Xinjiang, China

2 方法

2021 年 1 至 3 月,经当地林业部门许可(许可证编号 MANAS202101),在玛纳斯国家湿地公园采用大型网笼,通过食物诱导的方法共捕捉 22 只大天鹅,包括 12 只成鸟和 10 只幼鸟。为所有个体佩戴总重量为 35 g 的“背负式”太阳能卫星追踪器(YH-GTG0335),追踪器占大天鹅平均体重的 0.2%~0.3%,避免对个体行为产生负面影响(Bodey et al. 2018)。卫星追踪器采用 GPS/GSM 系统,通过全球定位系统(global positioning system, GPS)对位点定位,采用全球移动通信系统(global system for mobile communications, GSM)进行数据传输,将设备参数设定为每两小时记录一次位点,位点数据包含定位时间、经纬度、速度、环境温度、海拔参数、位置精度因子(position dilution of precision, PDOP)及信号等级。

由于部分个体返回的有效位点数量少于 100 个,无法计算活动区,所以最终只保留 9 只越冬大天鹅的数据进行后续分析,包括 5 只成鸟和 4 只幼鸟。成鸟和幼鸟的识别如前文所述,主要根据全身羽毛的颜色等特征区分。通过实地观察,发现这 9 只大天鹅分别属于不同的家庭,5 只成鸟所在的群是没有参与当年繁殖的全部由成年个体组成的群(成鸟群),4 只幼鸟所在的家庭群是由两只成年大天鹅和 1 至 2 只幼年大天鹅组成的有幼鸟的家庭群(幼鸟家庭群)。卫星追踪器持续工作 13~33 d,保留设备安装第一周之后到大天鹅离开越冬地前,并且 PDOP 值小于 2 的所有位点,共获得 9 只大天鹅的 3 657 个位点用于下一步分析(表 1)。玛纳斯国家湿地公园的矢量图层来自国家地球系统科学数据中心(<http://www.geodata.cn>),将所有矢量图层坐标系设置为 WGS_1984_UTM_Zone_45N。

表 1 卫星追踪大天鹅信息

Table 1 The information of *Cygnus cygnus* tracked by satellite

编号 ID number	年龄 Age	追踪起止时间 (年-月-日) Tracking start-end times (Year-month-date)	追踪位点数 Number of tracking locations
2199	成鸟 Adult	2021-1-28 - 2021-2-21	240
2196	成鸟 Adult	2021-1-28 - 2021-2-10	135
2239	成鸟 Adult	2021-1-28 - 2021-2-14	187
2123	成鸟 Adult	2021-1-28 - 2021-3-10	214
2108	成鸟 Adult	2021-1-28 - 2021-3-30	679
2193	幼鸟 Juvenile	2021-1-29 - 2021-3-22	511
2186	幼鸟 Juvenile	2021-1-28 - 2021-3-18	436
2581	幼鸟 Juvenile	2021-1-28 - 2021-3-19	544
V40	幼鸟 Juvenile	2021-1-28 - 2021-3-25	711

本文采用基于空间自相关的核密度估计法 (autocorrelated kernel density estimation, AKDE) 计算大天鹅活动区 (Fleming et al. 2015), 该方法可以处理时间、速度及位置上呈现统计学自相关的数据, 同时考虑位点的定位时间、移动速度及位点误差, 从而得到更准确的活动区面积。此外, 该方法对不存在自相关性的数据处理和核密度估计法 (kernel density estimation, KDE) 结果一致, 具有通用性 (Noonan et al. 2019)。将每只追踪的越冬大天鹅所有位点利用的区域作为活动区 (95% activity area, AA), 将个体集中利用的区域定义为核心活动区 (50% core area, CA); 使用 R 语言 4.3.2 软件中的 ctmm 包 (V1.1.0) 自相关核密度估计法 (AKDE) 计算核心活动区和活动区面积 (Calabrese et al. 2016); 通过 sf 包生成活动区的矢量图层 (Pebesma 2018)。

大天鹅对湿地公园的时空利用率主要通过以下指标来计算。

(1) 距湿地公园的平均距离: 用 ArcMap 10.5 软件的近邻分析得到位点距湿地公园边界的距离, 近邻分析将湿地公园边界上和湿地公园边界内的位点距边界的距离作为“0”值, 然后分别计算湿地公园外的位点距最近湿地公园边界的距离; 将距湿地公园边界距离之和除以

个体追踪时间, 得到位点距湿地公园边界的平均距离 (Montillo et al. 2022);

(2) 活动区/核心活动区与湿地公园的重叠率: 用相交工具得到各活动区及核心活动区与湿地公园的重叠面积百分率 (Jourdan et al. 2022);

(3) 湿地公园内/外的时间利用率: 湿地公园内外的停留时间除以总追踪时间, 得到湿地公园内外的时间利用率 (López-Peinado et al. 2023);

(4) 湿地公园内/外位点率: 湿地公园内外的位点个数除以其总位点数量 (贾茹 2021)。

运用 glmmTMB (V1.1.8) 包、lme4 (V1.1-33) 包中的广义线性混合模型 (generalized linear mixed models, GLMM) 比较各指标之间的差异 (Bates et al. 2015, Brooks et al. 2017)。模型中的比例值变量采用 beta errors (link“logit”) 拟合, 连续值采用高斯 (link“log”) 拟合, 将年龄作为预测变量, 将个体 ID 作为随机效应。所有统计方法均在 R 语言中计算, ArcMap10.5 活动区结果作图; 描述性统计值以平均值 \pm 标准误 (Mean \pm SE) 表示。

3 结果

3.1 不同类型越冬大天鹅群活动区与核心活动区的比较

利用 AKDE 活动区模型对 9 个不同群大天鹅的活动区进行计算, 结果显示, 越冬大天鹅的活动区面积为 $(4.18 \pm 1.27) \text{ km}^2$, 核心活动区面积为 $(0.97 \pm 0.30) \text{ km}^2$, 日平均移动距离为 $(2.43 \pm 0.49) \text{ km}$ 。大天鹅活动区多集中分布在玛纳斯国家湿地公园, 其中 ID2108 成鸟群、ID2196 成鸟群和 ID2199 成鸟群具有多个活动区, 多位于大泉沟水库较近的东部和东南部区域。大天鹅的活动区呈面状分布, 所有群的活动区均与湿地公园有一定程度重叠 (图 3)。幼鸟家庭群和成鸟群的越冬大天鹅活动区大小、核心活动区大小及日移动距离均没有显著差异 (表 2)。

大天鹅冬季活动区平均大小为 $(4.18 \pm$

1.27) km², 幼鸟家庭群平均活动区 (6.36 ± 2.45) km², 是成鸟群平均活动区面积[(2.44 ± 0.73) km²]的 2.61 倍 ($n = 9, \beta = 1.15, P = 0.12$; 图 4a)。大天鹅核心活动区平均大小为 (0.97 ± 0.30) km², 幼鸟家庭群的核心活动区为 (1.45 ± 0.60) km², 是成鸟群[(0.58 ± 0.18) km²]的 2.49 倍 ($n = 9, \beta = 0.82, P = 0.24$; 图 4b)。

3.2 越冬大天鹅成鸟群与幼鸟家庭群对湿地公园利用的比较

越冬大天鹅活动区与湿地公园均有重叠,

活动区与湿地公园平均重叠率为 14.84% ± 1.55% (图 5); 成鸟群位点在湿地公园内比例 (11.99% ± 5.65%) 显著低于幼鸟家庭群 (65.79% ± 7.68%) ($n = 9, \beta = 2.68, P = 0.001$; 图 6a, 表 2); 同时成鸟群在湿地公园外的停留时间 (89.59% ± 5.77%) 显著多于幼鸟家庭群 (43.48% ± 16.86%), 表明成鸟群比幼鸟家庭群更多在湿地公园外停留 ($n = 9, \beta = -1.73, P = 0.01$; 图 6b, 表 2)。成鸟群的位点距湿地公园平均距离 (1.44 ± 0.47) km, 显著大于幼鸟

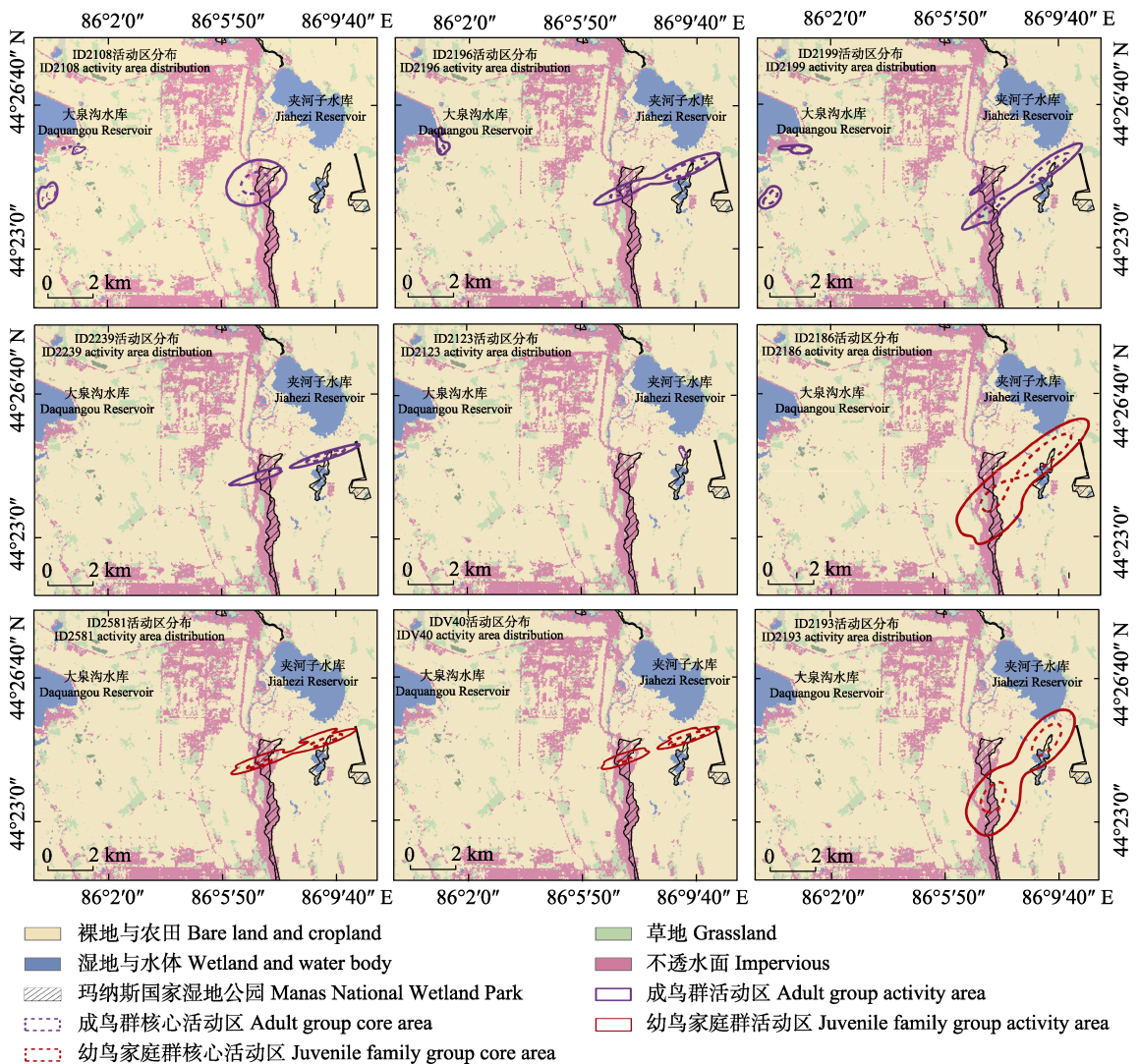


图 3 新疆玛纳斯国家湿地公园越冬大天鹅的活动区和核心活动区

Fig. 3 Activity area (95%) and core areas (50%) of wintering *Cygnus cygnus* in Manas National Wetland Park, Xinjiang, China

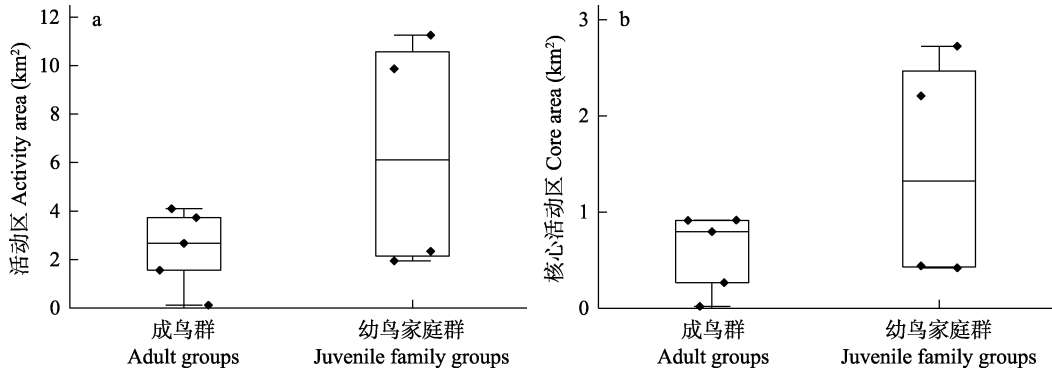


图 4 越冬大天鹅成鸟群与幼鸟家庭群的活动区 (a) 和核心活动区 (b)

Fig. 4 Activity areas (a) and core areas (b) of adult groups and juvenile family groups of wintering *Cygnus cygnus*

家庭群 $[(0.66 \pm 0.13) \text{ km}]$, 表明成鸟群的活动区域比幼鸟家庭群距湿地公园更远 ($n = 9$, $\beta = -0.69$, $P = 0.04$; 图 6c, 表 2)。

4 讨论

4.1 越冬大天鹅的活动区

越冬大天鹅活动区大小及分布受个体年龄、食物资源分布及环境温度的综合影响。本研究结果显示, 越冬大天鹅幼鸟家庭群的活动区、核心活动区面积虽然与成鸟群没有显著差异, 但是平均值高于成鸟群。幼鸟家庭群的活动区面积大于成鸟群, 可能是由于成年和幼年个体在越冬行为上的差异所致。鸟类的行为模式不同可能导致活动区的变化 (Kleinhenz et al. 2018)。Yang 等 (2021) 的研究发现, 在三门峡湿地越冬的大天鹅冬季行为主要是争夺食物和呼唤同伴。邓大军等 (2019) 发现, 在冬季幼年大天鹅的行为主要是运动和觅食, 而成年大天鹅除了运动和觅食之外, 还有警戒等行为。关于越冬灰鹤和白鹤成年和幼年个体行为模式的研究也显示, 幼鸟的觅食和运动行为高于成鸟, 而成鸟有大量的警戒行为以保护幼鸟 (蒋剑虹等 2015, 龚浩林 2020)。

成年和幼年大天鹅活动区的差异还有可能是由于食物资源的竞争导致。研究表明冬季越冬大天鹅的食物非常有限, 对于食物竞争也非

常激烈 (Chisholm-Spray 2002)。越冬初期, 玛纳斯国家湿地公园越冬的大天鹅主要以自然植被为主要食物来源, 多以早熟禾 (*Poa annua*) 和芦苇 (*Phragmites australis*) 为食; 而在越冬后期, 水面结冰并且陆地也被积雪覆盖, 自然植被的食物获取困难, 大天鹅主要依赖人为投放的玉米 (*Zea mays*) 和小麦 (*Triticum aestivum*) 作为食物资源 (Liu et al. 2018, 杨丽红等 2022), 为避免食物资源的竞争, 成年和幼年大天鹅的活动区可能有所区别。贾茹 (2021) 对三门峡越冬成年和幼年大天鹅的活动区分布研究发现, 初期 (10 至 12 月) 成鸟大天鹅主要集中在三门峡湿地公园内的苍龙湖, 而幼鸟则分布在三门峡湿地公园的青龙湖, 大天鹅行为以休憩为主, 来补充迁徙后的能量消耗。牛童等 (2015) 的研究发现, 人类活动会影响大天鹅的越冬行为, 如游客、汽车鸣笛和燃放鞭炮等会引起大天鹅的恐慌行为, 使其从浅滩转移至三门峡市天鹅湖中心。此外, 人为投食量减少会导致荣成天鹅湖内大天鹅之间的争斗行为增加, 而投食量充足则使大天鹅的数量趋于稳定 (陆滢 2017)。

本研究发现, 大天鹅主要选择在玛纳斯国家湿地公园内越冬, 这些区域人为活动较少, 食物资源丰富, 可以为大天鹅提供安全保障; 然而, 随着大天鹅集群数量的增加, 玛纳斯国

家湿地公园的空间和食物资源有限，一些成年大天鹅可能会选择转移到大泉沟水库的东部和东南部区域。

4.2 越冬大天鹅对湿地公园的利用

玛纳斯国家湿地公园位于东非—西亚候鸟迁徙路线上，是候鸟迁徙的重要停歇地，也是

大天鹅等水鸟的重要越冬地。本研究监测的所有越冬大天鹅活动区都与玛纳斯国家湿地公园有重叠，幼鸟家庭群活动位点在湿地公园内的比例和湿地公园内的停留时间都显著高于成鸟群，活动位点距湿地公园平均距离也显著低于成鸟群，表明生存能力相对较弱的幼鸟家庭群

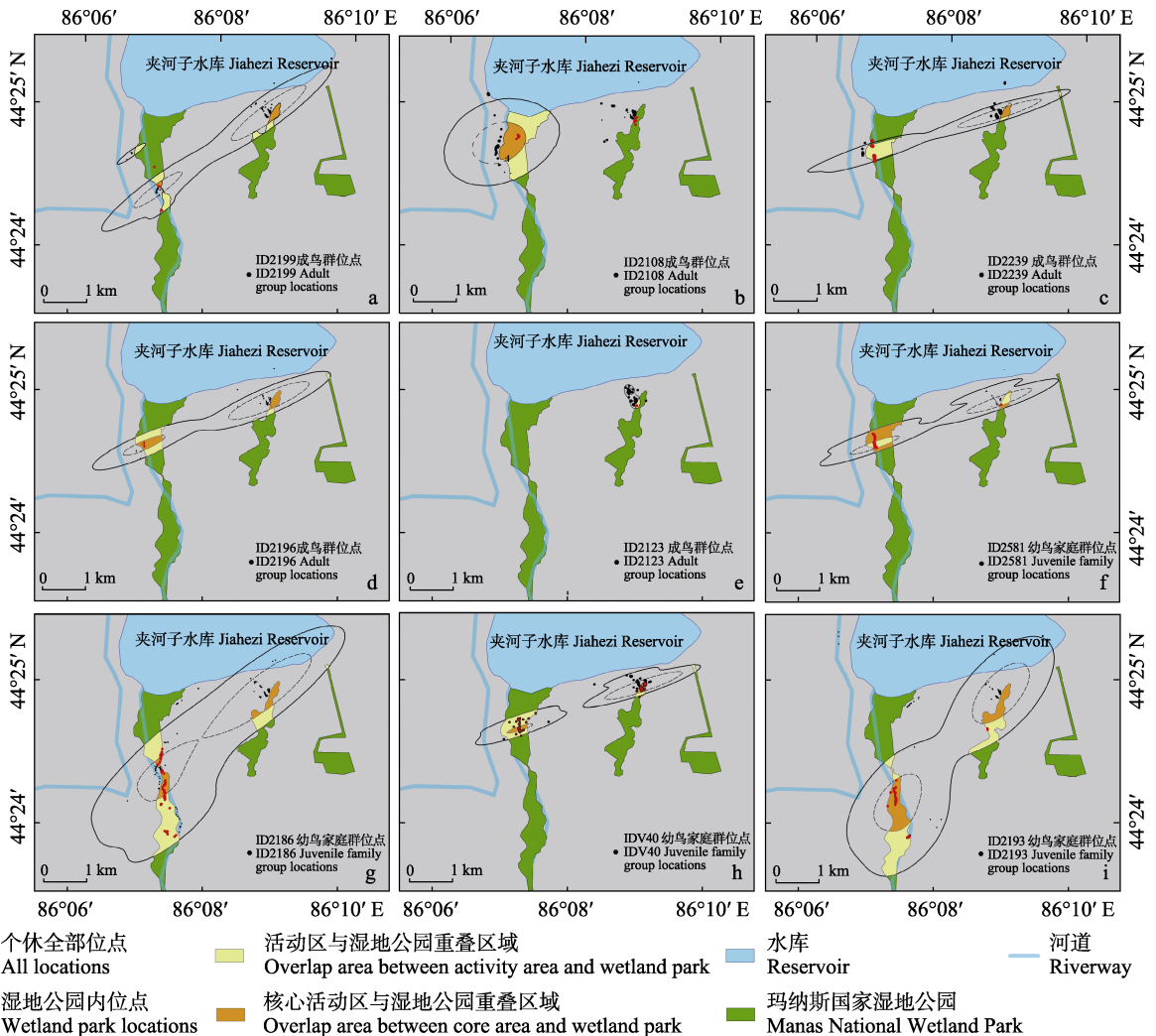


图5 新疆玛纳斯湿地公园越冬大天鹅的活动区与湿地公园重叠图

Fig. 5 Overlay between wintering activity areas and wetland park of *Cygnus cygnus* in Manas National Wetland Park, Xinjiang, China

a ~ e. 成鸟群大天鹅活动区分布图; f ~ i. 幼鸟家庭群大天鹅活动区分布图。图中绿色区域为玛纳斯国家湿地公园，个体活动区与湿地公园重叠区域以黄色填充，核心活动区重叠区域以橙色填充，湿地公园内 GPS 位点以红色标注。

a - e. Activity area maps of Whooper Swans in adult groups; f - i. Activity area maps of Whooper Swans in juvenile family groups. The individual activity area and wetland park overlap areas are filled with yellow, the core area overlaps are filled with orange, and the GPS locations within the wetland park are marked in red.

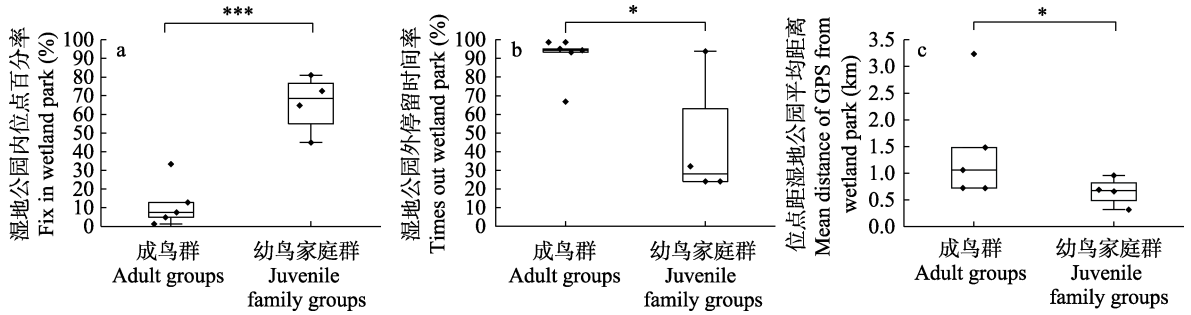


图 6 越冬大天鹅成鸟群与幼鸟家庭群对湿地公园的利用

Fig. 6 Wetland utilization by adult and juvenile family groups of wintering *Cygnus cygnus*

* $P < 0.05$; *** $P < 0.001$

表 2 广义线性混合模型对各响应变量的估计系数 (β) 和 95%置信区间

Table 2 The estimated coefficients (β) and 95% confidence intervals of the generalized linear mixed models for each response variable

响应变量 Response variable	预测变量 Predictor variable	预测值 Estimated coefficients	95%置信区间 95% CI		P 值 Pr ($> z $)
平均日移动距离 Mean daily distance (km)	截距 Intercept	7.05	6.15	7.95	2.000×10^{-16} ***
	年龄 Age	0.82	- 0.53	2.17	0.240
核心活动区 Core area, CA (km ²)	截距 Intercept	12.68	11.59	13.77	2.000×10^{-16} ***
	年龄 Age	1.16	- 0.48	2.79	0.170
活动区 Activity area, AA (km ²)	截距 Intercept	14.22	13.24	15.20	2.000×10^{-16} ***
	年龄 Age	1.15	- 0.31	2.62	0.120
核心活动区与湿地公园相交 Intersect CA-Wetland Park, WP (%)	截距 Intercept	- 1.54	- 2.11	- 0.98	9.852×10^{-8} ***
	年龄 Age	- 0.08	- 0.92	0.75	0.848
活动区与湿地公园相交 Intersect AA-WP (%)	截距 Intercept	- 1.74	- 2.05	- 1.43	2.000×10^{-16} ***
	年龄 Age	- 0.04	- 0.51	0.43	0.860
湿地公园内位点数 Fix in WP (%)	截距 Intercept	- 2.04	- 2.81	- 1.28	1.752×10^{-7} ***
	年龄 Age	2.68	1.68	3.68	1.432×10^{-7} ***
湿地公园外停留时间 Times out WP (%)	截距 Intercept	1.67	0.66	2.68	0.001 **
	年龄 Age	- 1.73	- 3.10	- 0.36	0.010 *
位点距湿地公园平均距离 Mean distance of GPS from WP (km)	截距 Intercept	7.10	6.67	7.54	2.000×10^{-16} ***
	年龄 Age	- 0.69	- 1.34	- 0.04	0.040 *
湿地公园外平均移动距离 Mean distance inside WP (km)	截距 Intercept	4.91	3.42	6.41	1.152×10^{-10} ***
	年龄 Age	1.90	- 0.34	4.15	0.100
湿地公园内平均移动距离 Mean distance outside WP (km)	截距 Intercept	6.84	5.80	7.88	2.000×10^{-16} ***
	年龄 Age	- 0.18	- 1.74	1.38	0.820

* $P < 0.05$; ** $P < 0.001$; *** $P < 0.0001$

更多在受保护的湿地公园内活动，而成鸟群则更多在湿地公园外活动。

有研究表明，大天鹅成鸟群和幼鸟家庭群对湿地公园利用的差异主要是由于大天鹅成鸟

和幼鸟对安全和食物资源需求的平衡导致。张光宇等(2022)发现三门峡越冬的大天鹅成鸟及幼鸟对湿地公园的植被利用存在差异,幼年大天鹅在三门峡库区内栖息时间更长,对湿地公园的植被利用更高,沿黄河扩散时间更晚;而大部分成体则在食物资源更丰富的圣天湖栖息,在三门峡湿地公园与平陆三湾间游荡。此外,大天鹅在春季迁徙中有 88.9% 的活动位点不在自然保护区范围内,成年大天鹅活动区中未受保护的区域大于幼年大天鹅(贾茹 2021)。Soriano-Redondo 等(2023)的研究也表明,自然保护区内越冬大天鹅的存活率更高,并且种群增长率远高于保护区外越冬的种群,证明保护区对大天鹅越冬确实起着重要作用。

4.3 对越冬大天鹅的保护建议

国内大天鹅越冬地存在不同程度的人为投食现象,例如山西平陆、河南三门峡、荣成天鹅湖、新疆玛纳斯国家湿地公园等。人为投食可以在一定程度上增加越冬大天鹅的食物,使其获得足够能量而顺利越冬,但人为投食也会改变大天鹅的行为节律、越冬地分布、越冬策略、迁徙时间等,产生不利影响。例如,长期的人为投食影响下大天鹅的警戒、觅食和运动行为均会发生改变,导致大天鹅警惕性降低,增加被天敌捕食的风险(Liu et al. 2018, Brunk et al. 2021),同时人为投食还会改变大天鹅的食物组成,降低食物丰富度,导致其觅食能力下降(Chen et al. 2023)。此外,湿地公园环境承载力有限,种群过度密集也会加剧食物资源的竞争,并对栖息地周围环境产生不利影响。有研究显示,人为投食使越冬大天鹅种群密度过大,导致了荣成天鹅湖的水体富营养化(陆滢 2017)。

本研究结果显示,新疆玛纳斯国家湿地公园越冬大天鹅多集中在湿地公园北部区域夹河子水库附近越冬,而在湿地公园中部和南部区域较少。建议管理部门权衡投食行为对大天鹅的影响,减少人为投食的频次与投喂量,并对湿地公园的不同区段采取分段投食,降低大天

鹅种群密度,减少种内竞争。另外,建议管理部门严格控制湿地公园及周边区域的人为活动,降低对越冬大天鹅的干扰,保障大天鹅顺利过冬。

参 考 文 献

- Bates D, Mächler M, Bolker B, et al. 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1): 1–48.
- Bodey T W, Cleasby I R, Bell F, et al. 2018. A phylogenetically controlled meta-analysis of biologging device effects on birds: deleterious effects and a call for more standardized reporting of study data. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(4): 946–955.
- Brooks M E, Kristensen K, van Benthem K J, et al. 2017. GlimmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *The R Journal*, 9(2): 378–400.
- Brunk K M, West E H, Peery M Z, et al. 2021. Reducing anthropogenic subsidies can curb density of overabundant predators in protected areas. *Biological Conservation*, 256: 109081.
- Calabrese J M, Fleming C H, Gurarie E. 2016. Ctm: an R package for analyzing animal relocation data as a continuous-time stochastic process. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(9): 1124–1132.
- Chen C, Lu Y, Liu Y H, et al. 2023. Stimulating effects of whooper swans' behaviors on nutrient releasing from the sediments caused by different human feeding intensities in the swan Lake, China. *Ecological Indicators*, 154: 110818.
- Chisholm H, Spray C. 2002. Habitat usage and field choice by Mute and Whooper swans in the Tweed Valley, Scotland. *Waterbirds*, 25: 177–182.
- Fleming C H, Fagan W F, Mueller T, et al. 2015. Rigorous home range estimation with movement data: a new autocorrelated kernel density estimator. *Ecology*, 96(5): 1182–1188.
- Gupte P R, Koffijberg K, Müskens G J D M, et al. 2019. Family size dynamics in wintering geese. *Journal of Ornithology*, 160(2): 363–375.
- Jourdan C, Fort J, Pinaud D, et al. 2022. Daytime, tidal amplitude and protected areas influence movements and habitat use on mudflats of wintering black-tailed godwits. *Estuarine, Coastal and Shelf*

- Science, 268: 107782.
- Kleinhenz A, Koenig A. 2018. Home ranges and movements of resident graylag geese (*Anser anser*) in breeding and winter habitats in Bavaria, South Germany. *PLoS ONE*, 13(9): e0202443.
- Lee J Y, Nam H K, Park J Y, et al. 2023. Migration routes and differences in migration strategies of Whooper Swans between spring and autumn. *Avian Research*, 14: 100113.
- Li Y B, Li M H, Li Y L, et al. 2020. Outbreaks of highly pathogenic avian influenza (H5N6) virus subclade 2.3.4.4h in swans, Xinjiang, Western China, 2020. *Emerging Infectious Diseases*, 26(12): 2956–2960.
- Liu W, Jin Y Y, Wu Y J, et al. 2020. Home range and habitat use of breeding black-necked cranes. *Animals*, 10(11): 1975.
- Liu Y H, Lu Y, Chen C, et al. 2018. Behavioural responses of the whooper swans *Cygnus cygnus* to human disturbance and their adaptability to the different habitats in the Rongcheng lagoon of China. *Ecohydrology*, 11(7): e2013.
- López-Peinado A, Singh N J, Urios V, et al. 2023. Experimental food subsidies keep eagles inside protected areas: implications for conservation and resource management. *Biological Conservation*, 286: 110259.
- Maxwell S M, Connors M G, Sisson N B, et al. 2016. Potential benefits and shortcomings of marine protected areas for small seabirds revealed using miniature tags. *Frontiers in Marine Science*, 3: 264.
- Montillo F, Sforzi A, Sammuri G, et al. 2022. Effectiveness of protected areas for osprey survival at intercontinental scale. *Biodiversity and Conservation*, 31(4): 1379–1405.
- Noonan M J, Tucker M A, Fleming C H, et al. 2019. A comprehensive analysis of autocorrelation and bias in home range estimation. *Ecological Monographs*, 89(2): e01344.
- Pebesma E. 2018. Simple features for R: standardized support for spatial vector data. *The R Journal*, 10(1): 439–446.
- Schoener T W. 1968. Sizes of feeding territories among birds. *Ecology*, 49(1): 123–141.
- Soriano-Redondo A, Inger R, Sherley R B, et al. 2023. Demographic rates reveal the benefits of protected areas in a long-lived migratory bird. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 120(12): e2212035120.
- Wei X L, Zhang G G, Ji Y R, et al. 2023. Conservation of Bewick's swans (*Cygnus columbianus bewickii*): Insights from the identification of critical stopover sites and migration corridors. *Global Ecology and Conservation*, 47: e02687.
- Yang L L, Wang W X, Sun P, et al. 2021. Extrinsic factors, endocrine mechanisms, and behavioral indicators of migratory restlessness in wintering whooper swans (*Cygnus cygnus*). *Scientific Reports*, 11(1): 12636.
- Zurell D, von Wehrden H, Rotics S, et al. 2018. Home range size and resource use of breeding and non-breeding white storks along a land use gradient. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6: 79.
- 才代, 马鸣, 巴吐尔汗, 等. 1993. 大天鹅迁徙规律初步观察. 干旱区研究, 10(2): 54–56.
- 戴年华, 邵明勤, 蒋丽红, 等. 2013. 鄱阳湖小天鹅越冬种群数量与行为学特征. 生态学报, 33(18): 5768–5776.
- 邓大军, 贾茹, 孟维悦, 等. 2019. 三门峡湿地成幼大天鹅昼间越冬行为差异分析. 四川动物, 38(5): 531–536.
- 冯异星, 罗格平, 周德成, 等. 2010. 近 50a 土地利用变化对干旱区典型流域景观格局的影响——以新疆玛纳斯河流域为例. 生态学报, 30(16): 4295–4305.
- 高如意, 贾茹, 孔德生, 等. 2021. 环境温度对大天鹅越冬行为和活动区的影响. 动物学杂志, 56(5): 655–662.
- 龚浩林. 2020. 鄱阳湖区白鹤和灰鹤越冬生态的初步研究. 南昌: 江西师范大学硕士学位论文.
- 郭冬生, 张正旺. 2015. 中国鸟类生态大图鉴. 重庆: 重庆大学出版社.
- 贾茹. 2021. 基于卫星跟踪的不同年龄大天鹅越冬生态及春季迁徙. 北京: 中国林业科学研究院硕士学位论文.
- 贾茹, 高如意, 茹文东, 等. 2021. 基于卫星跟踪大天鹅春季迁徙时间及其影响因素. 生态学报, 41(15): 6075–6082.
- 蒋剑虹, 戴年华, 邵明勤, 等. 2015. 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, 35(2): 270–279.
- 康紫薇, 张正勇, 位宏, 等. 2020. 基于土地利用变化的玛纳斯河流域景观生态风险评价. 生态学报, 40(18): 6472–6485.
- 陆滢. 2017. 人为因素对大天鹅和天鹅湖湿地生态环境的影响. 长春: 吉林建筑大学硕士学位论文.
- 马鸣, 才代, 顾正勤, 等. 1993. 大天鹅繁殖生态及嘴型变异. 干旱区研究, 10(2): 46–51.
- 聂延秋. 2017. 中国鸟类识别手册. 北京: 中国林业出版社.

牛童, 陈光, 张健, 等. 2015. 三门峡市天鹅湖国家城市湿地公园大天鹅越冬行为观察. 天津师范大学学报: 自然科学版, 35(3): 149–151.

王丽春, 焦黎, 来风兵, 等. 2019. 基于遥感生态指数的新疆玛纳斯湖湿地生态变化评价. 生态学报, 39(8): 2963–2972.

王昱熙, 谢彦波, Batbayar N, 等. 2020. 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, 28(12): 1483–1495.

杨丽红, 谢发兵, 王莉. 2022. 玛纳斯国家湿地公园大天鹅越冬期

日常行为观测与分析. 新疆林业, (6): 22–25.

袁国映, 郭凌. 1992. 新疆天鹅的分布和保护. 干旱区研究, 9(3): 60–63.

张光宇, 贾茹, 高如意, 等. 2022. 三门峡库区越冬成幼大天鹅对植被利用的差异性. 河南林业科技, 42(4): 1–4, 59.

张国钢, 董超, 陆军, 等. 2014. 我国重要分布地大天鹅越冬种群动态调查. 四川动物, 33(3): 456–459.

郑光美. 2023. 中国鸟类分类与分布名录. 4 版. 北京: 科学出版社.

(上接第 856 页)



图 1 云南糯扎渡省级自然保护区红外相机拍摄到的白化赤麂

Fig. 1 The photos of albino Red Muntjac *Muntiacus muntjak* in Nuozhadu Provincial Nature Reserve, Yunnan

根据生境表进行时间校正, a、b、c 和 d 的拍摄日期分别为 2020 年 7 月 18 日、8 月 8 日及 2021 年 1 月 22 日和 26 日。

According to the time correction of the habitat record table, the shooting dates of a, b, c and d are July 18, 2020, August 8, 2020, and January 22 and 26, 2021.

张留栓^① 刘芳^{①*} 李迪强^① 姬云瑞^① 陈静^① 卢文^② 代陆娇^② 包飞^②

① 中国林业科学研究院森林生态环境与自然保护研究所, 国家林业和草原局生物多样性保护重点实验室 北京 100091;
 ② 云南糯扎渡省级自然保护区管护局 云南 665000