

甘肃盐池湾出生黑颈鹤活动区及 栖息地忠诚度的年龄差异

杨巨才^{①#} 温立嘉^{②#} 郭玉民^{②*}

① 甘肃盐池湾国家级自然保护区管护中心 酒泉 736300; ② 北京林业大学生态与自然保护学院 北京 100083

摘要: 祁连山北麓盐池湾地区是黑颈鹤 (*Grus nigricollia*) 重要的繁殖地和度夏地。为了解该地区出生黑颈鹤的活动区及栖息地忠诚度的年龄差异, 我们于 2018 至 2020 年对在该区域出生的黑颈鹤幼鸟进行环志及卫星跟踪。使用核密度分析法计算不同年龄阶段黑颈鹤在度夏期和越冬期的活动区及核心活动区, 并计算不同年龄阶段黑颈鹤活动区的重叠度。通过 Student's *t* 检验和 Mann-Whitney *U* 检验进行差异性分析, 并用 QGIS 进行制图。结果表明, 共有 18 只个体跟踪时长超过 2 个度夏期, 在度夏期和越冬期, 黑颈鹤幼鸟的活动区及核心活动区面积均显著小于亚成体 ($P < 0.05$)。其中 1 龄亚成体的活动区及核心活动区面积最大, 但 1 龄亚成体与 2 龄亚成体之间没有明显差异。不同年龄阶段黑颈鹤间的活动区重叠度没有显著差异 ($P < 0.05$)。但度夏期, 33.33% 的个体在 1 龄亚成体阶段不再返回出生地附近活动 ($n = 6$), 这表明黑颈鹤 1 龄亚成体的栖息地忠诚度存在一定的个体差异。其中 1 只 1 龄亚成体被记录到在蒙古国度夏, 这是蒙古国首次记录到黑颈鹤, 并证实其来自盐池湾繁殖种群。在越冬期, 不同年龄阶段黑颈鹤均表现出较高的栖息地忠诚度。本研究有助于解释盐池湾出生黑颈鹤亚成体去向, 并证明了盐池湾黑颈鹤繁殖种群对于黑颈鹤种群发展的重要作用, 为证明亚成体在种群扩散上的先锋作用提供了重要依据。

关键词: 盐池湾; 黑颈鹤; 年龄; 亚成体; 活动区; 栖息地忠诚度

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2024) 06-857-09

Age Differences in Home Range and Site Fidelity of Black-Necked Cranes *Grus nigricollia* Born in Yanchiwan, Gansu

YANG Ju-Cai^{①#} WEN Li-Jia^{②#} GUO Yu-Min^{②*}

① Gansu Yanchiwan National Reserve Management and Conservation Center, Jiuquan 736300;

② School of Ecology and Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: [Objectives] Site fidelity, defined as the return to and reuse of a previously occupied location, is a common behavior observed in many species. Factors influencing site fidelity include gender, age, season,

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31770573);

* 通讯作者, E-mail: bird168@126.com;

共同第一作者 杨巨才, 男, 高级工程师; 研究方向: 湿地生物多样性研究; E-mail: 675622423@qq.com;

温立嘉, 男, 博士研究生; 研究方向: 动物生态学与行为学; E-mail: wenlj1992@126.com。

收稿日期: 2024-04-16, 修回日期: 2024-09-05 DOI: 10.13859/j.cjz.202424088

among others. The Black-necked Crane *Grus nigricollis*, a first-level protected species in China, holds significant ecological and cultural value. Yanchiwan, located in the northern foothills of the Qilian Mountains in Gansu Province, serves as an important breeding and summering site for these cranes, marking the northernmost boundary of their known breeding range. Research on Black-necked Cranes in this region is crucial for their conservation. This study aims to investigate the differences in home range sizes among cranes of different ages during the summering and wintering periods, with a particular focus on the site fidelity of individuals born in Yanchiwan. **[Methods]** From 2018 to 2020, we captured juvenile Black-necked Cranes and fitted them with rings and satellite trackers. Individuals tracked for more than two summering periods were selected for analysis. Tracking data were filtered based on factors such as time, instantaneous speed, and accuracy. Kernel density estimation (KDE) methods were used to calculate the home range and core area for cranes of different ages during the summering and wintering periods using the “amt” package in R v. 4.2.3. The degree of home range overlap among different age groups was also assessed. Logarithmic transformations were applied to the home range and core area data, followed by differential tests. Statistical analyses were conducted using Student's *t* test and Mann-Whitney *U* test, and QGIS was used for mapping. **[Results]** A total of 18 individuals were tracked over more than two summering periods. Juveniles exhibited smaller home range and core area compared to subadults during both summering and wintering periods (home range in summering period: $t = -2.37$, $df = 28$, $P = 0.025$; core area in summering period: $t = -2.19$, $df = 28$, $P = 0.037$; home range in wintering period: $W = 128$, $P = 0.011$; core area in wintering period: $W = 110$, $P = 0.003$). The largest home range and core area were observed in 1-year old individuals, but no significant differences were found between 1-year old and 2-year old subadults (Fig. 1). The degree of home range overlap did not significantly differ across age stages ($P > 0.05$). Notably, 33.33% of the 1-year old subadults did not return to their birthplace ($n = 6$) (Fig. 2), and one individual was recorded summering in Mongolia (Fig. 3). Additionally, Black-necked Cranes exhibited higher habitat fidelity during the wintering period across all age groups (Fig. 4). **[Conclusion]** This study demonstrates that Black-necked Cranes born in Yanchiwan exhibit marked exploratory behavior during the subadult stage, providing insights into the movement patterns of subadult cranes originating from this region. The findings underscore the critical role of the Yanchiwan breeding population in the overall population dynamics of Black-necked Cranes and highlight the significance of subadults in population dispersal. These results offer valuable information for understanding the contributions of the Yanchiwan breeding site to the broader conservation and management strategies for Black-necked Cranes.

Key words: Yanchiwan; *Grus nigricollis*; Age; Subadult; Home range; Site fidelity

栖息地忠诚被定义为个体返回并重复利用以往利用过的位置 (Switzer 1993)。栖息地忠诚行为普遍存在于不同动物类群 (Hestbeck et al. 1991, Ruther 2011, van Beest et al. 2013)。通过运动、学习和记忆可以加强忠诚度, 使动物更熟悉食物分布、躲避场所、繁殖地以及捕食者的分布情况 (Fryxell et al. 2008, Wolf et al. 2009, Faillie et al. 2010, Merkle et al. 2014)。

通常认为保留这种空间信息的好处超过了在不熟悉的区域导航所花费的时间、消耗的能量以及面临的被捕食风险 (Greenwood 1980, Switzer 1993)。因此, 栖息地忠诚度被认为可以提升个体适合度 (Forrester et al. 2015, Bose et al. 2017)。栖息地忠诚度可能受性别 (Bötsch et al. 2012)、年龄 (Lindberg et al. 1997)、季节 (官天培等 2015) 等多种因素的影响。

黑颈鹤 (*Grus nigricollis*) 是我国一级重点保护野生动物, 是世界上被命名最晚的鹤类。作为 15 种鹤中唯一终生生活在高原上的鹤, 黑颈鹤受到了广泛的关注, 对其开展了有关数量与分布 (张同等 2012, 王楠等 2013)、食性 (Mary 等 2002)、行为 (车烨等 2018, 韩雪松等 2018)、迁徙路线 (吴至康等 1993, 杨晓君等 2005, Wang et al. 2020a)、栖息地选择 (李凤山 1999, 张久红等 2023)、致死因子 (Li et al. 2011, 黄中鸿等 2023) 等诸多方面的研究。近年来, 随着研究与保护力度的增加, 该物种的种群数量持续增长。2020 年, IUCN 濒危物种红色名录将其濒危等级从易危级降至无危级 (BirdLife International 2020)。该物种越冬地的最新调查结果显示, 其全球种群数量已超 17 000 只 (陈嘉珈等 2023)。黑颈鹤主要分布于我国的青藏高原和云贵高原。其中, 位于祁连山西部、青藏高原北缘的盐池湾国家级自然保护区是其重要的繁殖地和亚成体度夏地。在该区域已发现黑颈鹤繁殖巢 35 巢, 记录黑颈鹤数量超过 200 只 (色拥军等 2020, 王博驰等 2021)。卫星跟踪研究显示, 在该区域繁殖的黑颈鹤冬季迁往西藏拉萨林周县越冬 (Wang et al. 2020b), 在越冬地撞击电线是该繁殖种群受到的一大威胁 (王博驰等 2021)。然而, 在该地区出生的黑颈鹤个体在亚成体阶段的活动情况尚不明确, 作为已知的黑颈鹤繁殖分布区北缘, 在该地区开展黑颈鹤相关研究对于该物种的保护具有重要意义。

本研究对盐池湾国家级自然保护区出生的黑颈鹤幼鸟开展环志及卫星跟踪研究, 旨在掌握盐池湾出生黑颈鹤度夏期和越冬期活动区及活动区重叠度的年龄差异, 探索不同年龄阶段黑颈鹤对于度夏地以及越冬地的忠诚情况, 并展示黑颈鹤亚成体在度夏期的探索行为。

1 方法

1.1 跟踪数据收集

2018 至 2020 年, 于每年 7 和 8 月在盐池湾国家级自然保护区对 60 日龄以上, 羽翼未

丰、尚不能飞行的黑颈鹤幼鸟进行捕捉并环志安装卫星跟踪装置 (许可批准号: 林护许准 (2018) 01401 号, 林护许准 (2019) 01573 号, 林护许准 (2020) 04011 号)。分别于 2018 年捕获 10 只幼鸟, 分属 8 个家庭; 2019 年捕获 6 只幼鸟, 分属 4 个家庭; 2020 年捕获 23 只幼鸟, 分属 15 个家庭。分别将全国鸟类环志中心配发的红底白字塑料环以及腿环式卫星跟踪器 (湖南环球信士科技有限公司, 型号: HQLG4021S 和 HQLG4037S) 安装在幼鸟左右腿的胫部。腿环式跟踪器及彩环总重约 50 g, 不足幼鹤体重的 3%, 对幼鹤的生活无显著影响 (Bodey et al. 2018)。整个环志过程不超过 5 min, 环志完成后将幼鹤朝着成鹤的方向释放, 确保幼鹤返回家庭。

1.2 跟踪数据筛选

选择跟踪时长超过 2 个度夏期的个体作为有效跟踪个体。跟踪装置通过北斗卫星导航系统 (BeiDou Navigation Satellite System, BDS) 进行定位, 并通过全球移动通信系统 (Global System for Mobile Communication, GSM) 将定位数据传输至终端平台。跟踪装置定位间隔设置为 1 h。提取不同个体的度夏期数据及越冬期数据, 并根据个体年龄进行区分。来自同一家庭的个体在幼鸟时期的度夏期和越冬期数据只随机选择 1 只个体数据。数据选取时间为个体被跟踪之日起至 2023 年 4 月, 或个体信号消失以及个体死亡之日。幼鸟度夏期数据定义为个体跟踪次日至开始秋季迁徙前一日的数据; 幼鸟越冬期数据定义为个体第一次迁至越冬地次日至迁离越冬地前一日的数据; 1 龄亚成体度夏期数据定义为个体迁徙至第一个度夏地次日至开始秋季迁徙前一日的数据, 并根据个体年龄以此类推。个体开始和结束春、秋季迁徙时间参考郎雪敏等 (2020), 根据跟踪位点的瞬时速度、纬度变化和时间进行判定。根据瞬时速度和定位精度进一步筛选不同年龄个体度夏期和越冬期数据, 去除瞬时速度大于 10 km/h 的飞行状态数据 (Mi et al. 2018) 以及精度为 E 级和无效的数据。

1.3 数据分析

使用核密度分析法 (kernel density estimation, KDE) 计算不同个体、不同年龄阶段在度夏期和越冬期的活动区 (95% KDE) 和核心活动区 (50% KDE) 面积。同时计算同一个体在不同年龄阶段度夏期和越冬期活动区重叠情况, 并以此判定个体在不同年龄阶段对度夏地和越冬地的忠诚度。重叠情况在 0 ~ 1 之间, 当重叠为 0 时, 该个体在不同年龄阶段的活动区完全不重叠; 当重叠为 1 时, 该个体在某一年的活动区完全覆盖另一年。以上计算分别使用 R v. 4.2.3 软件中 “amt” 程序包的 “hr_kde” 函数和 “hr_overlap” 函数完成, 并使用 QGIS 进行制图。对黑颈鹤幼鸟和亚成体在度夏期和越冬期的活动区及核心活动区面积进行差异性检验。先对黑颈鹤在度夏期和越冬期的活动区和核心活动区数据进行对数转换, 使用 Shapiro-Wilk test 和 Levene’s test 对数据进行正态分布和方差齐性检验。对符合正态分布和方差齐性的数据进行 Student’s *t*-test, 对不符合正态分布的数据进行 Mann-Whitney *U* test。

2 结果

2.1 盐池湾出生黑颈鹤活动区及核心活动区的年龄差异

截至 2023 年 4 月, 共有 18 只个体跟踪时

个体在度夏期和越冬期的活动区及核心活动区面积 (附录 1)。在度夏期和越冬期, 黑颈鹤幼鸟的活动区及核心活动区面积均显著低于黑颈鹤亚成体 (图 1), 度夏期活动区: $t = -2.37$, $df = 28$, $P = 0.025$; 度夏期核心活动区: $t = -2.19$, $df = 28$, $P = 0.037$; 越冬期活动区: $W = 128$, $P = 0.011$; 越冬期核心活动区: $W = 110$, $P = 0.003$ 。其中, 1 龄亚成体在度夏期和越冬期的活动范围更大, 其活动区和核心活动区面积均大于 2 龄亚成体, 但无显著差异 (图 1), 度夏期活动区和核心活动区: $W = 103$, $P = 0.877$; 越冬期活动区和核心活动区: $W = 76$, $P = 0.856$ 。

2.2 盐池湾出生黑颈鹤不同年龄阶段活动区重叠分析

分别计算盐池湾出生黑颈鹤 1 龄亚成体与幼鸟阶段以及 1 龄亚成体与 2 龄亚成体阶段在度夏期与越冬期的活动区重叠情况 (图 2)。度夏期, 个体在幼鸟和 1 龄亚成体阶段的活动区重叠度为 0.67 ± 0.49 ($n = 18$), 在 1 龄亚成体和 2 龄亚成体阶段重叠度为 0.60 ± 0.30 ($n = 11$)。越冬期, 个体在幼鸟和 1 龄亚成体阶段的重叠度为 0.82 ± 0.23 ($n = 16$), 在 1 龄亚成体和 2 龄亚成体阶段重叠度为 0.76 ± 0.29 ($n = 10$)。在度夏期和越冬期, 个体在不同年龄阶段的活动区重叠情况无显著差异 ($P > 0.05$),

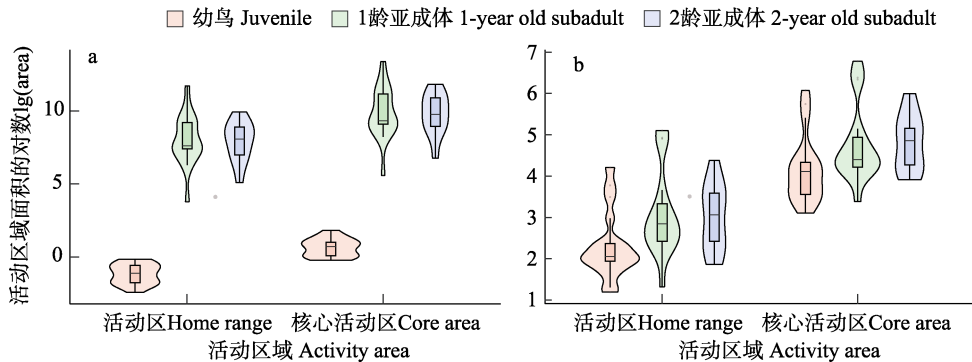


图 1 盐池湾出生黑颈鹤不同年龄阶段在度夏期 (a) 和越冬期 (b) 的活动区 (95%核密度估计) 及核心活动区 (50%核密度估计)

Fig. 1 Home range (95% kernel density estimation) and core area (50% kernel density estimation) of *Grus nigricollis* born in Yanchiwan at different ages during the summering period (a) and wintering period (b)

Mann-Whitney U test)。但度夏期，1 龄亚成体与幼鸟阶段的活动区重叠度呈现明显的两极分化，66.67% 的个体在 1 龄亚成体的活动区完全覆盖其幼鸟阶段的活动区 ($n = 12$)，而 33.33% 的个体则完全远离其出生地活动 ($n = 6$)。其中，1 只个体被记录到在蒙古国度夏 (图 3)。越冬期，黑颈鹤个体在不同年龄阶段间的活动区范围则相对稳定 (图 4)。

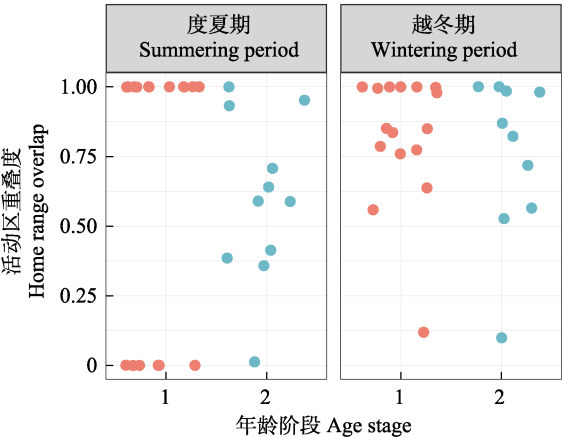


图 2 盐池湾出生黑颈鹤不同年龄阶段在度夏期和越冬期活动区的重叠度

Fig. 2 The home range overlap of *Grus nigricollis* born in Yanchiwan at different age groups during the summering period and wintering period

1. 1 龄亚成体阶段与前一年相比 (红色); 2. 2 龄亚成体阶段与前一年相比 (蓝色)。
1. Compare 1-year old subadult stage with the previous year (red); 2. Compare 2-year old subadult stage with the previous year (blue).

3 讨论

3.1 黑颈鹤活动区面积的年龄差异

本研究结果证实了黑颈鹤活动区面积在幼鸟-亚成体阶段的年龄差异。在度夏期，黑颈鹤在亚成体阶段的活动区面积显著大于幼鸟阶段，其中 2 龄亚成体活动区面积略小于 1 龄亚成体，但差异不显著。已有研究表明季节、年龄、性别等因素都可能影响野生动物的活动区面积 (宋成军等 2006, Goltz et al. 2008, 张晋

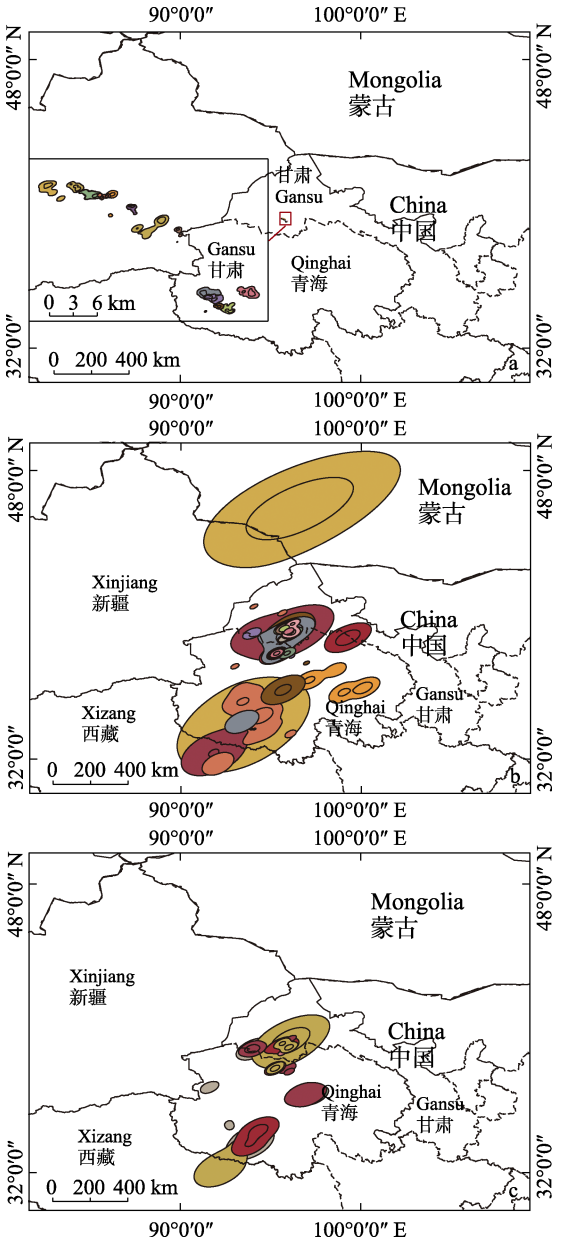


图 3 盐池湾出生黑颈鹤不同年龄阶段在度夏期的活动区及核心活动区

Fig. 3 Home range and core area of *Grus nigricollis* born in Yanchiwan at different age during summering period

a. 幼鸟, 18 个个体; b. 1 龄亚成体, 18 个个体; c. 2 龄亚成体, 11 个个体。图中不同颜色代表不同的个体。
a. Juvenile, 18 individuals; b. 1-year old subadult, 18 individuals; c. 2-year old subadult, 11 individuals. Different colors represent different individuals.

东等 2013, 袁磊等 2015)。对白枕鹤 (*Antigone vipio*) 的活动区研究发现, 在度夏期的不同阶段, 白枕鹤亚成体均表现出比成体更大的活动区范围, 而 1 龄亚成体和 2 龄亚成体的活动区范围则差异不大 (Gao et al. 2023)。在对沙丘鹤 (*Grus canadensis*) 的研究中也得到了类似的结果 (Bennett 1989)。本研究对黑颈鹤度夏期活动区的研究结果与之相近。虽然本研究并未获得成年黑颈鹤活动区范围, 但黑颈鹤幼鸟在度夏期需要跟随亲鸟一同活动, 在此阶段, 幼鸟的活动范围是该个体在非独立状态下的活动范围, 一定程度上也反映了黑颈鹤繁殖成鸟的活动范围。在越冬期, 黑颈鹤的活动区范围也表现出这种年龄差异, 在幼鸟阶段活动区面

积显著小于亚成体阶段, 1 龄亚成体活动区面积大于 2 龄亚成体, 但无明显差异。对于鹤类这种长寿鸟类, 个体通常在 3 岁时达到性成熟并开始繁殖 (李显达等 2023)。在幼鸟阶段, 主要受限于飞行能力, 需要跟随亲鸟学习生存本领, 其活动范围较小。到了亚成体阶段, 个体脱离亲鸟独自生存, 且没有繁殖的压力, 更加自由, 活动范围较大。而成鸟阶段, 尤其是对于已繁殖个体, 需要抚育幼鸟成长, 这又限制了其活动范围。这使其活动区范围产生了年龄差异。

3.2 黑颈鹤对越冬地的忠诚度

本研究跟踪的黑颈鹤在不同年龄阶段均在西藏拉萨市林周县越冬, 这在以往研究中已有

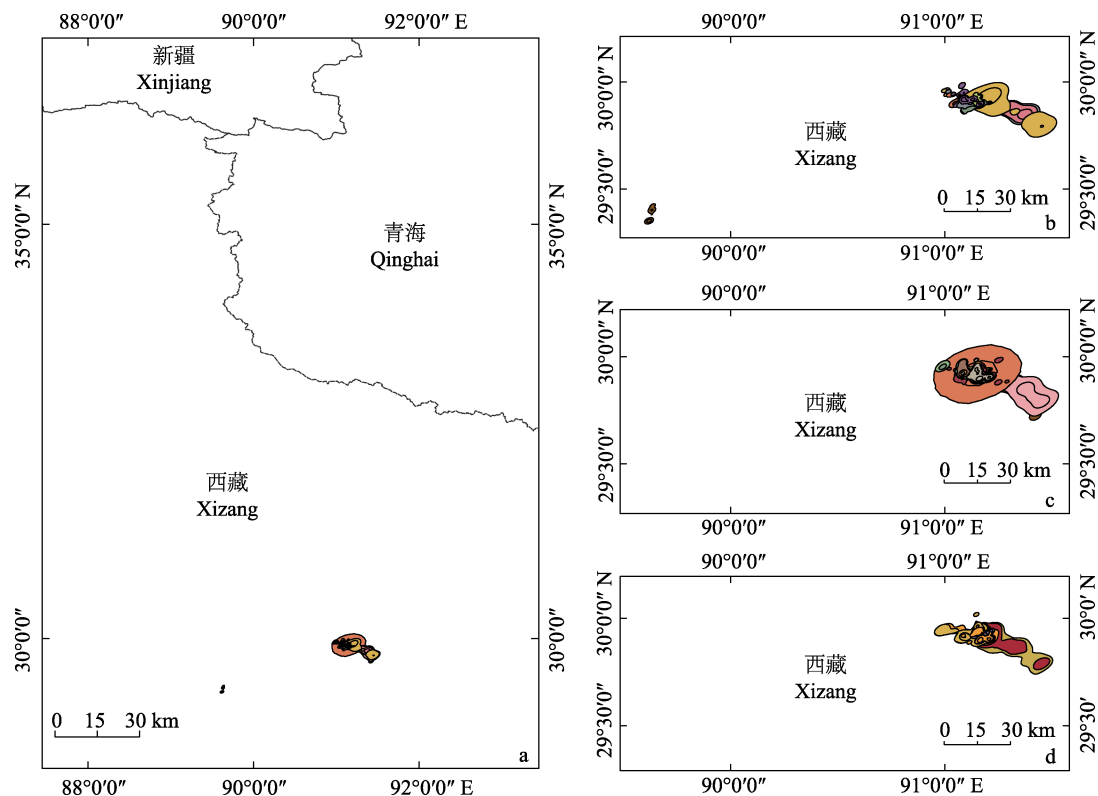


图 4 盐池湾出生黑颈鹤不同年龄阶段在越冬期的活动区及核心活动区

Fig. 4 Home range and core area of *Grus nigricollis* born in Yanchiwan at different age during wintering period

a. 所有阶段; b. 幼鸟, 18 个个体; c. 1 龄亚成体, 16 个个体; d. 2 龄亚成体, 10 个个体。不同颜色代表不同的个体。
a. All stage; b. Juvenile, 18 individuals; c. 1-year old subadult, 16 individuals; d. 2-year old subadult, 10 individuals. Different colors represent different individuals.

报道 (Wang et al. 2020b)。且不同年龄黑颈鹤越冬期的活动区重叠度没有显著差异, 这表明盐池湾出生黑颈鹤幼鸟对越冬地有较高的忠诚度。鸟类在越冬地的表现与它们的繁殖成效相关联 (Marra et al. 1998, Rushing et al. 2016, López-Calderón 2017)。鸟类对越冬栖息地的忠诚有利于它们生存, 主要表现为在更熟悉的栖息地活动可以提高其觅食效率 (Brown et al. 2007)。卫星跟踪及野外观察显示, 鸟类对于越冬栖息地的忠诚是普遍存在的 (Raveling 1979, Blackburn et al. 2016, Pang et al. 2023)。但一些雁鸭类、鸨类也会变换越冬地, 对越冬栖息地的忠诚度受到年龄和性别的影响 (Warren et al. 1992, Lourenço et al. 2016)。以往研究发现鹤类对于越冬栖息地是忠诚的 (Ivey et al. 2015, Mi et al. 2018), 本研究也证实了这一现象, 并且这种忠诚没有因年龄的变化而改变。

3.3 黑颈鹤亚成体在度夏期的探索行为

与越冬栖息地活动范围稳定不同, 在度夏期, 盐池湾出生黑颈鹤亚成体阶段的活动范围更广。我们记录到部分个体不返回其出生地而是迁往陌生的区域度夏, 并在整个度夏期选择多个不同的地点栖息。我们还记录到 1 只黑颈鹤在 1 龄亚成体阶段迁往蒙古国西部戈壁阿尔泰省度夏, 停留时间超过两个月, 这是首次在蒙古国记录到黑颈鹤, 并证实该个体来源于盐池湾繁殖种群。亚成体的这种探索行为可能有利于它们未来选择合适的繁殖地, 也使得它们成为种群扩散的先锋, 许多新分布记录的制造者都源自亚成体, 例如在黑龙江首次记录到亚成体秃鹫 (*Aegypius monachus*) (鲁长虎等 2001), 在北京首次记录到亚成体阔嘴鹬 (*Calidris falcinellus*)、大红鹳 (*Phoenicopterus roseus*) (刘阳等 2005) 等等。其中, 大红鹳在中国的记录多以亚成体为主 (朱冰润等 2017)。近年来, 黑颈鹤种群数量持续增加 (陈嘉珈等 2023), 随着种群数量的增加, 其分布范围也在扩大, 在中国内蒙古也记录到了黑颈鹤 (赵巍等 2023)。亚成体的这种探索行为将

为其种群发展带来巨大的机遇。而盐池湾地区作为黑颈鹤繁殖分布区的北缘, 其稳定的繁殖对数量和较高的幼鸟成活率 (色拥军等 2020), 使得该地区成为黑颈鹤种群发展的发动机, 应继续加强对该区域黑颈鹤的研究与保护。

致谢 感谢国家林业和草原局、甘肃林业和草原局给予的支持。感谢甘肃盐池湾国家级自然保护区管理局、各监测站工作人员以及北京林业大学王博驰、李雪竹参与部分野外工作。

参 考 文 献

- Bennett A J. 1989. Movements and home ranges of Florida sandhill cranes. *The Journal of Wildlife Management*, 53(3): 830–836.
- BirdLife International. 2020. *Grus nigricollis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T22692162A180030167. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T22692162A180030167.en>.
- Blackburn E, Cresswell W. 2016. High winter site fidelity in a long-distance migrant: implications for wintering ecology and survival estimates. *Journal of Ornithology*, 157(1): 93–108.
- 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.
- Bose S, Forrester T D, Brazeal J L, et al. 2017. Implications of fidelity and philopatry for the population structure of female black-tailed deer. *Behavioral Ecology*, 28(4): 983–990.
- Bötsch Y, Arlettaz R, Schaub M. 2012. Breeding dispersal of Eurasian Hoopoes (*Upupa epops*) within and between years in relation to reproductive success, sex, and age. *The Auk*, 129(2): 283–295.
- Brown D R, Long J A. 2007. What is a winter floater? Causes, consequences, and implications for habitat selection. *The Condor*, 109(3): 548–565.
- Faille G, Dussault C, Ouellet J P, et al. 2010. Range fidelity: The missing link between caribou decline and habitat alteration? *Biological Conservation*, 143(11): 2840–2850.
- Forrester T D, Casady D S, Wittmer H U. 2015. Home sweet home: fitness consequences of site familiarity in female black-tailed deer. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 69(4): 603–612.

- Fryxell J M, Hazell M, Börger L, et al. 2008. Multiple movement modes by large herbivores at multiple spatiotemporal scales. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(49): 19114–19119.
- Gao M, Erdenechimeg B, Purev-Ochir G, et al. 2023. Young, wild, and free-subadult White-naped Crane (*Antigone vipio*) exhibit wider home range movements than breeding adults during the summering period. *Journal of Ornithology*, 164(3): 561–572.
- Goltz D M, Hess S C, Brinck K W, et al. 2008. Home range and movements of Feral Cats on Mauna Kea, Hawai'i. *Pacific Conservation Biology*, 14(3): 177–184.
- Greenwood P J. 1980. Mating systems, philopatry and dispersal in birds and mammals. *Animal Behaviour*, 28(4): 1140–1162.
- Hestbeck J B, Nichols J D, Malecki R A. 1991. Estimates of movement and site fidelity using mark-resight data of wintering Canada geese. *Ecology*, 72(2): 523–533.
- Ivey G L, Dugger B D, Herziger C P, et al. 2015. Wintering ecology of sympatric subspecies of Sandhill Crane: Correlations between body size, site fidelity, and movement patterns. *The Condor*, 117(4): 518–529.
- Li F S, Bishop M A, Drolma T. 2011. Power line strikes by Black-necked Cranes and Bar-headed Geese in Tibet Autonomous Region. *Chinese Birds*, 2(4): 167–173.
- Lindberg M S, Sedinger J S. 1997. Ecological consequences of nest site fidelity in Black Brant. *The Condor*, 99(1): 25–38.
- López-Calderón C, Hobson K A, Marzal A, et al. 2017. Environmental conditions during winter predict age- and sex-specific differences in reproductive success of a trans-Saharan migratory bird. *Scientific Reports*, 7: 18082.
- Lourenço P M, Alves J A, Reneerkens J, et al. 2016. Influence of age and sex on winter site fidelity of sanderlings *Calidris alba*. *PeerJ*, 4: e2517.
- Marra P P, Hobson K A, Holmes R T. 1998. Linking winter and summer events in a migratory bird by using stable-carbon isotopes. *Science*, 282(5395): 1884–1886.
- Merkle J A, Fortin D, Morales J M. 2014. A memory-based foraging tactic reveals an adaptive mechanism for restricted space use. *Ecology Letters*, 17(8): 924–931.
- Mi C R, Møller A P, Guo Y M. 2018. Annual spatio-temporal migration patterns of Hooded Cranes wintering in Izumi based on satellite tracking and their implications for conservation. *Avian Research*, 9(1): 23–31.
- Pang C C, Sung Y H, Chung Y T, et al. 2023. Full migration routes of two Little Egrets (*Egretta garzetta*) display breeding and wintering site fidelity. *Ornithological Science*, 22(1): 81–86.
- Raveling D G. 1979. Traditional use of migration and winter roost sites by Canada Geese. *The Journal of Wildlife Management*, 43(1): 229–235.
- Rushing C S, Marra P P, Dudash M R. 2016. Winter habitat quality but not long-distance dispersal influences apparent reproductive success in a migratory bird. *Ecology*, 97(5): 1218–1227.
- Ruther J, Thal K, Steiner S. 2011. Pheromone communication in *Nasonia vitripennis*: abdominal sex attractant mediates site fidelity of releasing males. *Journal of Chemical Ecology*, 37(2): 161–165.
- Switzer P V. 1993. Site fidelity in predictable and unpredictable habitats. *Evolutionary Ecology*, 7(6): 533–555.
- van Beest F M, Vander Wal E, Stronen A V, et al. 2013. Temporal variation in site fidelity: scale-dependent effects of forage abundance and predation risk in a non-migratory large herbivore. *Oecologia*, 173(2): 409–420.
- Wang Y, Mi C R, Guo Y M. 2020a. Satellite tracking reveals a new migration route of Black-necked Cranes (*Grus nigricollis*) in Qinghai-Tibet Plateau. *PeerJ*, 8: e9715.
- Wang Z J, Guo Y M, Dou Z G, et al. 2020b. Autumn migration route and stopover sites of Black-necked Crane (*Grus nigricollis*) breeding in Yanchiwan Nature Reserve, China. *Waterbirds*, 43(1): 94–100.
- Warren S M, Walsh A J, Merne O J, et al. 1992. Wintering site interchange amongst Greenland White-fronted Geese *Anser albifrons flavirostris* captured at Wexford Slobs, Ireland. *Bird Study*, 39(3): 186–194.
- Wolf M, Frair J, Merrill E, et al. 2009. The attraction of the known: the importance of spatial familiarity in habitat selection in wapiti *Cervuselaphus*. *Ecography*, 32(3): 401–410.
- 车烨, 杨乐, 李忠秋. 2018. 西藏拉萨越冬黑颈鹤家庭群的警戒同步性. *生态学报*, 38(4): 1375–1381.
- 陈嘉珈, 蒲真, 黄中鸿, 等. 2023. 全球黑颈鹤越冬种群分布与数量. *生物多样性*, 31(6): 97–106.

官天培, 葛宝明, 谌利民, 等. 2015. 四川羚牛的家域与忠诚度. 生态学报, 35(6): 1862–1868.

韩雪松, 郭玉民. 2018. 基于野外观察的黑颈鹤个体行为谱构建. 野生动物学报, 39(1): 58–79.

黄中鸿, 陈嘉珈, 温立嘉, 等. 2023. 祁连山南麓网围栏对黑颈鹤的影响. 生物多样性, 31(6): 107–114.

郎雪敏, Gankhuyag Purev-Ochir, Oyunchimeg Terbish, 等. 2020. 滦河上游——白枕鹤西部种群的重要停歇地. 生物多样性, 28(10): 1213–1221.

李凤山. 1999. 贵州草海越冬黑颈鹤觅食栖息地选择的初步研究. 生物多样性, 7(4): 257–262.

李显达, 郭玉民. 2023. 基于卫星定位跟踪数据解读白头鹤的性别、年龄、繁殖及领域回归. 生态学报, 43(8): 3137–3149.

刘阳, 张正旺. 2005. 4 种水鸟途经北京的新记录. 动物学杂志, 40(2): 105.

鲁长虎, 申守均. 2001. 黑龙江省证实有秃鹫分布. 野生动物, 22(3): 19.

Mary Anne Bishop, 李凤山. 2002. 农业耕作活动对西藏越冬黑颈鹤食性及食物可获得性的影响. 生物多样性, 10(4): 393–398.

色拥军, 窦志刚, 杨巨才, 等. 2020. 甘肃盐池湾黑颈鹤繁殖分布格局. 湿地科学与管理, 16(1): 64–68.

宋成军, 杨兴中, 李宇, 等. 2006. 秦岭大熊猫家域的季节、性别和年龄效应. 野生动物, 27(3): 21–24.

王博驰, 裴雯, 色拥军, 等. 2021. 卫星跟踪揭示撞击电线是黑颈鹤幼鸟越冬死亡的主要原因. 动物学杂志, 56(2): 161–170.

王楠, 朱平芬, 万蒙, 等. 2013. 四川海子山黑颈鹤繁殖种群的分布与数量. 生态与农村环境学报, 29(2): 265–268.

吴至康, 李筑眉, 王有辉, 等. 1993. 黑颈鹤迁徙研究初报. 动物学报, 39(1): 105–106.

杨晓君, 钱法文, 李凤山, 等. 2005. 中国首次卫星跟踪黑颈鹤研究初报. 动物学研究, 26(6): 657–658.

袁磊, 马浩, 程芸, 等. 2015. 罗布泊野骆驼的家域特征及其意义. 生物多样性, 23(3): 314–320.

张晋东, Hull V, 欧阳志云. 2013. 活动区研究进展. 生态学报, 33(11): 3269–3279.

张久红, 洪兆春, 崔建钊, 等. 2023. 景观基质对雅江中游河谷黑颈鹤冬季觅食地选择的影响. 生态学报, 43(18): 7701–7714.

张同, 马鸣, 张翔, 等. 2012. 东昆仑-阿尔金山地区黑颈鹤种群分布与秋季数量变化. 动物学杂志, 47(6): 31–35.

赵巍, 鲁海, 孙建华, 等. 2023. 内蒙古鸟类新记录——黑颈鹤. 四川动物, 42(3): 332.

朱冰润, 刘逸依, 阙品甲, 等. 2017. 大红鹤在中国的分布现状与潜在适宜分布区预测. 北京师范大学学报: 自然科学版, 53(5): 542–547.

附录 1 盐池湾出生黑颈鹤不同年龄度夏期和越冬期的活动区（95%核密度估计）及核心活动区（50%核密度估计）面积

Appendix 1 Home range (95% kernel density estimation) and core area (50% kernel density estimation) of *Grus nigricollis* born in Yanchiwan at different age in summering period and wintering period

时期 Period	年龄 Age	样本量 (ind) Sample size	活动区 Home range (km ²)	核心活动区 Core area (km ²)
			平均值 ± 标准差 Mean ± SD	平均值 ± 标准差 Mean ± SD
度夏期 Summering period	幼鸟 Juvenile	18	2.28 ± 1.44	0.38 ± 0.24
	1 龄亚成体 1-year old subadult	18	71 884.62 ± 152 568.27	12 147.76 ± 28 401.68
	2 龄亚成体 2-year old subadult	11	35 493.99 ± 40 347.95	5 279.80 ± 5 872.45
越冬期 Wintering period	幼鸟 Juvenile	18	96.66 ± 112.22	14.76 ± 16.753
	1 龄亚成体 1-year old subadult	16	196.24 ± 248.90	40.38 ± 53.15
	2 龄亚成体 2-year old subadult	10	152.92 ± 111.85	27.20 ± 22.42