

云南纳帕海湿地越冬斑头雁活动区

孟子文^{①②} 肖琳娜^② 雷宇^② 王磊^② 刘强^{①②*}

① 西南林业大学云南省高原湿地保护修复与生态服务重点实验室 昆明 650224;

② 西南林业大学湿地学院 昆明 650224

摘要: 活动区范围反映了动物在个体水平上的空间需求,开展相关研究对物种保护以及理解动物与环境之间的关系具有重要意义。于2017、2018和2019年共3个越冬季,在云南纳帕海湿地对7只斑头雁(*Anser indicus*)进行了卫星遥测,运用动态布朗桥模型构建了斑头雁越冬期活动区,并结合遥感技术分析了水域面积变化对斑头雁活动区的影响。结果表明:所跟踪斑头雁的总活动区域中有54.7%位于保护区范围内,其余活动区域则分布于保护区外围的草地或沼泽中;斑头雁越冬期的平均活动区面积和核心活动区面积分别为 $(5.98 \pm 0.63) \text{ km}^2$ 和 $(0.55 \pm 0.12) \text{ km}^2$ ($n=8$, 2017年越冬季1只个体数据、2018年越冬季6只个体数据和2019年越冬季1只个体数据),核心活动区面积仅占活动区面积的9.2%;最大活动区面积为 8.22 km^2 ,最小仅为 3.38 km^2 ,最大核心活动区面积为 1.21 km^2 ,最小为 0.12 km^2 ;斑头雁活动区面积受纳帕海湿地水域面积变化影响较大,随着水域由南向北退缩,沼泽及草甸增多,斑头雁的活动范围变大,且会向着水域退减的方向移动;2639号斑头雁在2018年和2019年两年越冬季相同时间段的活动区面积和分布均存在显著差异,2018年越冬季活动区的面积(5.98 km^2)小于2019年(8.22 km^2),核心活动区的面积(0.61 km^2)同样也小于2019年(1.21 km^2),并且其两年越冬季活动区面积的重叠度指数 I_0 仅为0.31。鉴于斑头雁是H5N1高致病性禽流感的重要携带者和传播者,建议保护区增加保护区管理范围,对与斑头雁活动区重合较大的村庄,包括云南省迪庆州香格里拉市建塘镇的开松、纳公和打日觉等重点管理,避免家猪与斑头雁混群觅食,倡导在冬季时对家猪进行圈养,防止可能引起的禽流感交叉传播。

关键词: 斑头雁; 动态布朗桥; 活动区; 纳帕海保护区

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2022) 04-554-10

Home Range of Wintering Bar-headed Goose in Napahai Wetland, Yunnan Province, China

MENG Zi-Wen^{①②} XIAO Lin-Na^② LEI Yu^② WANG Lei^② LIU Qiang^{①②*}

① *Yunnan Key Laboratory of Plateau Wetland Conservation, Restoration and Ecological Services, Southwest Forestry University,*

Kunming 650224; ② *College of Wetlands, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China*

Abstract: Home ranges could reflect the spatial requirements of animals at the individual level. Home range

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 32060120);

* 通讯作者, E-mail: liuq03@mail.kiz.ac.cn;

第一作者介绍 孟子文, 女, 硕士研究生; 研究方向: 鸟类生态学; E-mail: ziwen_meng@126.com。

收稿日期: 2021-11-09, 修回日期: 2022-04-12 DOI: 10.13859/j.cjz.202204008

research is important for species conservation and understanding the relationship between animals and the environment. **[Methods]** During the winters of 2017, 2018 and 2019, seven Bar-headed Geese (*Anser indicus*) were tracked by satellite tracking in the Napahai Wetland, Yunnan Province. The dynamic Brown Bridge model was used to construct the wintering home range of Bar-headed Geese, and the impact of water area change on the home range of Bar-headed Geese were analyzed by combining remote sensing technology. The individual monthly home range differences were analyzed using the non-parametric Kruskal-Wallis test. **[Results]** (1) The total home range of the tracked Bar-headed Geese was 28.49 km², of which 54.7% located in the nature reserve; the total core area was 4.17 km², of which 55.3% located in the nature reserve, and the rest mainly distributed in the grass or swamps on the periphery of the nature reserve and the corner area of Shangri-La Airport and the urban area (Fig. 2); (2) The average area of home range and core area of Bar-headed Geese during the wintering period were 5.98 ± 0.63 km² and 0.55 ± 0.12 km² ($n = 8$, data for one individual in wintering season of 2017, six individuals in wintering season of 2018 and one individual in wintering season of 2019). The core area accounted for only 9.2% of the home range (Table 1); (3) The home range and core area of different Bar-headed Geese varied greatly, with the maximum home range of 8.22 km² and the minimum of only 3.38 km², and the maximum core area of 1.21 km² and the minimum of 0.12 km² (Table 1); (4) In 2018, the water areas of the Napahai were 8.54 km² in February, 6.36 km² in March and 5.00 km² in April, showing a trend of monthly decrease. There was a monthly trend of decreasing utilization of water by the Bar-headed Geese, with a mean utilization of water of $59.95\% \pm 12.9\%$ ($n = 6$), $55.12\% \pm 16.4\%$ ($n = 6$) and $23.67\% \pm 12.3\%$ ($n = 3$) in February, March and April, respectively. The alterations in the water area of the Napahai wetland had a significant impact on the home range of the Bar-headed Geese. The marsh and meadow expanded as the water area withdrew from south to north, and the home range of the Bar-headed Goose grew broader and moved in the direction of the retreating water area. (Fig. 3); (5) As to the Bar-headed Geese of Id2639, which was tracked both in wintering seasons of 2018 and 2019, there was considerable variations of its home range area and core area. Its home range in 2018 was 5.98 km², smaller than that in 2019 (8.22 km²), and its core area in 2018 was 0.61 km², also smaller than that in 2019 (1.21 km²). The overlap index (I_0) of the home ranges between two wintering seasons was only 0.31 (Fig. 4). **[Conclusion]** As the Bar-head Goose is a major carrier and transmitter of H5N1 highly pathogenic avian influenza, we suggest that the nature reserve should increase the management scope and concentrate on the local villages (Kaisong, Nagong and Darjue in Jiantang Town, Shangri-La City, Diqing Prefecture, Yunnan Province.) that overlapping with the home range of the Bar-headed Geese. To prevent the spread of avian influenza, domestic pigs should be raised in captivity in winter, and not be allowed to forage together with Bar-headed Geese.

Key words: *Anser indicus*; Dynamic Brown Bridge; Home range; Napahai Nature Reserve

活动区是动物个体在其整个生活史或某一阶段所占有空间的总和，是动物对自身生理特征以及周围环境的综合反映 (Kie et al. 2010, Powell et al. 2012)。在特征上主要体现为空间分布以及面积两方面 (Calabrese et al. 2021, Signer et al. 2021)。活动区受多种因素影响，

内在因素包括年龄、繁殖或越冬状态和运动特征等，而外在因素主要为生态环境特征，包括大尺度上的景观动态以及小尺度上食物或其他重要资源的分布、质量及可获得性等 (刘冬平等 2010, 龙博等 2011, 张国钢等 2011, Harshbarger 2021)。活动区研究对理解动物行

为发生机制、动物与环境间的关系、濒危物种保护和保护区管理等方面均有重要意义 (Janmaat et al. 2009, Cagnacci et al. 2016, Dixon et al. 2017)。近年来也有大量研究关注动物的空间活动和动物与人类共患病传播的耦合关系 (Newman et al. 2009)。

斑头雁 (*Anser indicus*) 隶属雁形目 (Anseriformes) 鸭科 (Anatidae) 雁属, 主要繁殖于我国的青海、西藏、新疆以及蒙古国西部的高原湖区, 越冬于印度、巴基斯坦和缅甸等国以及我国的西藏、云南和贵州等省区 (郑作新 1997, van der Ven et al. 2010, Hawkes et al. 2011)。2005 年, 在青海湖暴发 H5N1 禽流感疫情, 有超过 6 000 只野鸟死亡, 其中主要为斑头雁 (朱筱佳等 2009)。随后国内外针对斑头雁开展了大量卫星遥测迁徙研究, 明确了斑头雁的多条迁徙路线和其迁徙飞行的策略、运动模式以及可能存在禽流感传播的迁徙路线 (Kernohan et al. 2001, Zhang et al. 2020a, b), 较少关注在某一越冬地、繁殖地或停歇地鸟类空间活动与村落及放牧点的空间关系 (Bourouiba et al. 2010)。云南纳帕海湿地为省级自然保护区, 也是国际重要湿地, 是斑头雁的重要越冬地和停歇地 (Yang et al. 2014)。该湿地具有强烈的季节性变化特点, 受水位变化影响, 生境可在短时间内发生较大的改变, 因此该地区较为适合探究斑头雁活动区变化与动态环境间的关系 (王丽 2015, 王泉泉 2018, 黄田等 2019)。

本研究旨在通过卫星遥测技术获取斑头雁的 GPS 位点数据来掌握斑头雁的活动范围和规律, 通过分析鸟类活动的空间分布 (活动区) 及与居民点的空间关系, 同时结合纳帕海湿地的水域面积变化探讨生境变化对斑头雁活动的影响, 从而为保护区进一步的规划管理和斑头雁栖息地保护提供科学的理论依据。

1 研究区概况

纳帕海湿地 (99°37' ~ 99°40' E, 27°49' ~ 27°54' N) 位于云南省迪庆藏族自治州香格里

拉市, 平均海拔 3 260 m, 面积 3 100 hm², 地势南高北低, 主要汇水河流由南向北流入, 最后由北端的落水洞流出, 通过地下暗河流入金沙江 (图 1) (宋志勇等 2018)。纳帕海湿地具有鲜明的季节性特点, 其水源补给来自于降水以及周边汇水, 进入冬季后, 降雨量锐减, 由于入湖水量小于排水量, 湖面萎缩, 大量沼泽化草甸出露, 这种季节变化也为斑头雁等游禽和黑颈鹤 (*Grus nigricollis*) 等涉禽提供了优

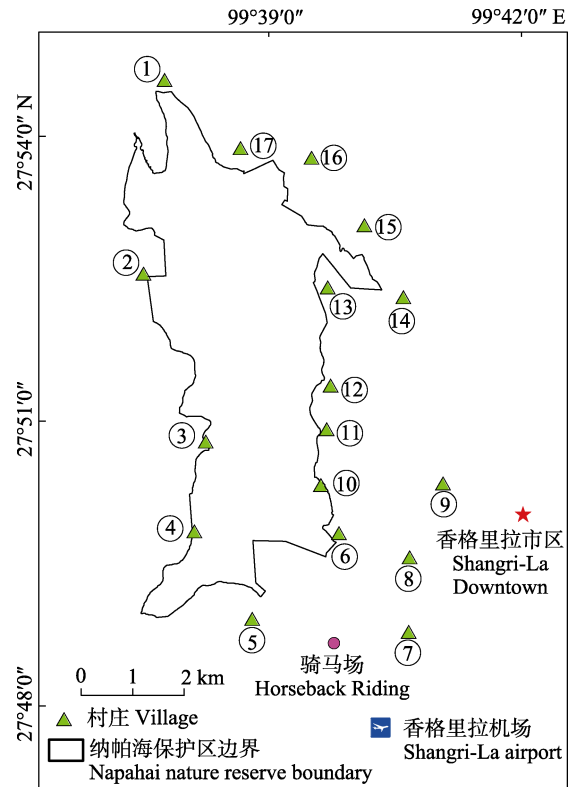


图 1 纳帕海湿地卫星影像及周围村落分布

Fig. 1 Satellite image of Napahai Wetland and distribution of surrounding villages

图中数字代表村庄: 1. 腊浪; 2. 纳帕村; 3. 日么; 4. 哈木谷; 5. 布伦; 6. 纳公; 7. 错古; 8. 开松; 9. 龙哇达拉; 10. 打日觉; 11. 古底谷; 12. 觉占; 13. 依日; 14. 解放村; 15. 浪它; 16. 比浪; 17. 共比。

The numbers in figure represent villages: 1. Lalang; 2. Napacun; 3. Rime; 4. Hamugu; 5. Bulun; 6. Nagong; 7. Cuogu; 8. Kaisong; 9. Longwadala; 10. Darijue; 11. Gudigu; 12. Juezhan; 13. Yiri; 14. Jiefangcun; 15. Langta; 16. Bilanz; 17. Gongbi.

良栖息地（周祥 2011，刘强等 2018）。每年在此越冬的斑头雁达 4 百余只（刘学先 2016）。

2 研究方法

该研究分别于 2017 年 2 月和 2018 年 1 月至 2 月，经当地林业部门许可（许可证编号 NAPAHA1201701），在纳帕海自然保护区使用脚套法共捕捉到 11 只斑头雁，并为其佩戴“背负式”跟踪器（杭州粤海 Anit-GT 0325，规格 25 mm × 60 mm × 29 mm，重量 25 g），跟踪器重量约占斑头雁体重的 1%，符合动物遥测技术中的经验值要求（小于动物体重的 3%）（Barron et al. 2010）。跟踪器为 GPS 定位，工作频率设置为 1 h，回传数据包括设备号、定位日期、时间、经纬度、高度、温度、瞬时速度、通信信号等级、位置精度因子（position dilution of precision, PDOP）。首先去除无效数据，即经纬度全部为 0 或 99.999、定位明显偏离所在区域和海拔明显与所在区域不符的点，同时活动区面积计算需要定位等级较高的数据，故一般采用 PDOP 值不超过 2 或通信信号等级为 A、B、C 等级的数据进行后续活动区计算。使用 R 3.4.4 软件中的 move 程序包构建动态布朗桥模型（dynamic Brownian Bridge Movement Model, dBBMM）（Buchin et al. 2012，Kranstauber et al. 2012）。以 95% 密度表示活动区，以 50% 密度表示核心活动区（Kernohan et al. 2001，何久娣等 2015，王磊等 2020）。从斑头雁成功安装跟踪器后放飞开始至春季迁徙离开越冬地之间的时间段，定义为本研究的越冬期。对不同个体间越冬期中相同月份的活动区面积用非参数 Kruskal-Wallis 检验的方法进行差异显著性检验。此外，本研究还计算了个体之间两年越冬期活动区的重叠度指数（overlay index, I_O ）作为个体之间活动区重叠程度的量化指标（张娜 2019）， $I_O = [(S_{\alpha\beta}/S_\alpha)(S_{\alpha\beta}/S_\beta)]^{0.5}$ ，其中， $S_{\alpha\beta}$ 为 α 个体与 β 个体活动区重叠区域的面积大小， S_α 和 S_β 分别表示 α 个体与 β 个体的活动区面积。

在地理空间数据云系统（<http://www.gscloud.cn>）中下载 2018 年越冬季的 2 月、3 月和 4 月的 Landsat 8 遥感影像，要求影像数据云量较少，对所研究区域没有遮盖，使用 ENVI 5.3 对其影像数据进行校正融合的处理，并采用单波段阈值法结合目视解译（邓书斌等 2014），将纳帕海湿地的湖泊（开阔水面）和原生沼泽（常年淹水的湖体相邻的浅水区域）两种湿地景观类型提取出来，用于该研究区域的水域面积计算（王泉泉 2018），后分别计算斑头雁活动区域中水域和非水域的利用率来进行对比。活动面积计算和作图均在 ArcMap 10.2 软件中进行。在 SPSS 20.0 中进行数据统计，一般描述性结果以均值 ± 标准误表示。

3 结果与分析

3.1 空间分布

本研究于 2017 和 2018 年，共捕捉到 11 只斑头雁并佩戴跟踪器，由于卫星遥测跟踪器工作状态及个体死亡的原因，导致部分个体有效位点数量过少，不能进行活动区运算，最终选取其中 7 只斑头雁的卫星遥测数据进行分析（表 1）。其中，2639 号斑头雁在纳帕海度过了两个越冬季，另外 6 只仅在纳帕海度过一个越冬季。

所跟踪斑头雁活动区总面积为 28.49 km²，其中 54.7% 位于保护区内；核心活动区总面积为 4.17 km²，其中 55.3% 位于保护区内，剩余部分主要分布于保护区南部边界和香格里拉机场以及城区的夹角区域（图 2）。从个体来看，1163 号斑头雁的活动区主要分布于纳帕海湿地的西北部，2642 号个体主要分布于纳帕海湿地的西南部，2648 号个体主要分布于纳帕海湿地的东北部，2646 号个体主要分布于纳帕海湿地的东南部，2643 号个体主要分布于纳帕海湿地的中部和西南部，2597 号个体主要分布于纳帕海湿地的东部，2639 号个体在 2018 年越冬季主要分布于纳帕海湿地的中部地区，在 2019 年越冬季主要分布于纳帕海湿地最南部的区域内。

表 1 云南纳帕海斑头雁越冬期活动区和核心活动区面积

Table 1 Annual home range and core area sizes of tracked *Anser Indicus* in Napahai wetland, Yunnan

编号 Number	跟踪器工作时间 (年-月-日) Working period of GPS trackers (Year-month-date)	越冬期 (年-月-日) Wintering period (Year-month-day)	活动区面积 Home range size (km ²)	核心活动区面积 Core area size (km ²)	有效位点数 Effective number of GPS positions
1163	2017-2-18 - 2018-6-04	2017-2-18 - 2017-4-22	5.52	0.71	685
2642	2018-1-24 - 2019-3-22	2018-1-24 - 2018-4-02	7.20	0.59	2 787
2648	2018-1-27 - 2018-5-27	2018-1-27 - 2018-4-06	3.46	0.37	3 058
2646	2018-1-28 - 2018-4-02	2018-1-28 - 2018-4-01	6.87	0.30	2 730
2639	2018-1-28 - 2020-2-24	2018-1-28 - 2018-4-26 2019-1-28 - 2019-4-26	5.98 8.22	0.61 1.21	2 412 1 507
2643	2018-2-01 - 2018-4-26	2018-2-01 - 2018-4-26	7.24	0.52	3 816
2597	2018-2-01 - 2018-7-10	2018-2-01 - 2018-4-30	3.38	0.12	3 010
平均值 ± 标准误 Mean ± SE		n = 8	5.98 ± 0.63	0.55 ± 0.12	-

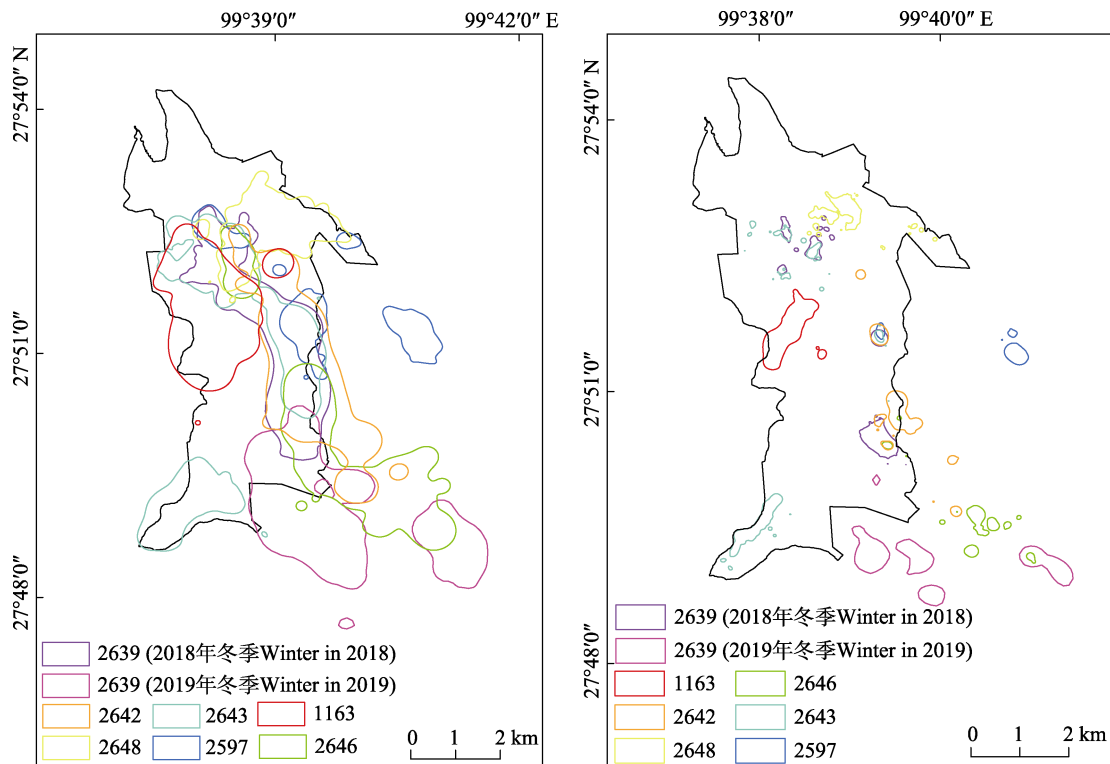


图 2 云南纳帕海斑头雁越冬期活动区 (左) 和核心活动区分布 (右)

Fig. 2 Home range and core area of Bar-headed Geese of wintering period at Napahai in Yunnan Province (Home range: left; core area: right)

图中黑色的线表示纳帕海保护区边界。

The black lines represent the Napahai nature reserve boundary.

3.2 活动区和核心活动区面积

斑头雁越冬期的活动区面积为 (5.98 ±

0.63) km²、核心活动区为 (0.55 ± 0.12) km²

(n = 8), 核心活动区仅占活动区面积的 9.2%

(表 1)。活动区和核心活动区面积在个体间差异均较大, 2639 号个体在第二年越冬季的活动区面积最大 (8.22 km^2), 2597 号的活动区面积最小 (3.38 km^2), 最大核心活动区面积为 1.63 km^2 , 最小仅为 0.12 km^2 。

非参数检验结果, 斑头雁个体间在月均活动区面积和核心活动区面积上均不存在显著性差异 (Kruskal-Wallis 检验, 活动区面积 K-W 统计量为 9.634, $df=5$, $P>0.05$; 核心活动区面积 K-W 统计量为 10.979, $df=5$, $P>0.05$)。虽然总体统计性差异不显著, 但某些斑头雁个体的单月活动区面积和单月核心活动区面积的数值有差异, 其中, 月活动区面积最大的是 2639 号, 为 8.12 km^2 , 最小的是 2597 号个体, 仅有 0.16 km^2 ; 月核心活动区面积最大的也是 2639 号 (1.21 km^2), 而核心活动区最小的为 2597 号, 仅为 0.03 km^2 。

3.3 水域变化对活动区的影响

对比 2018 年 2、3 和 4 月的水域变化与斑头雁活动区和核心活动区的空间分布, 纳帕海越冬季水域面积变化对斑头雁核心活动区的空间分布具有一定的影响 (图 3)。

2018 年 2 月份水域面积为 8.54 km^2 , 3 月份水域面积缩减为 6.36 km^2 , 至 4 月份水域面积进一步减少为 5.00 km^2 , 由此可见纳帕海 2、3、4 月的水域面积呈现逐月减少趋势。斑头雁较少分布于明水域的中间区域, 多集中于水陆分界线或者淹水区域退减后邻近水域旁的沼泽地带。随着纳帕海水面向北缩减, 水域面积减小, 与此同时斑头雁的活动区范围也向北移动。随着南部水域斑块的逐步消失以及北部水域的退缩, 至 4 月份, 多数斑头雁的活动区和核心活动区已移至纳帕海湿地的北部。通过叠加不同月份斑头雁的活动位点和栖息地发现, 斑头

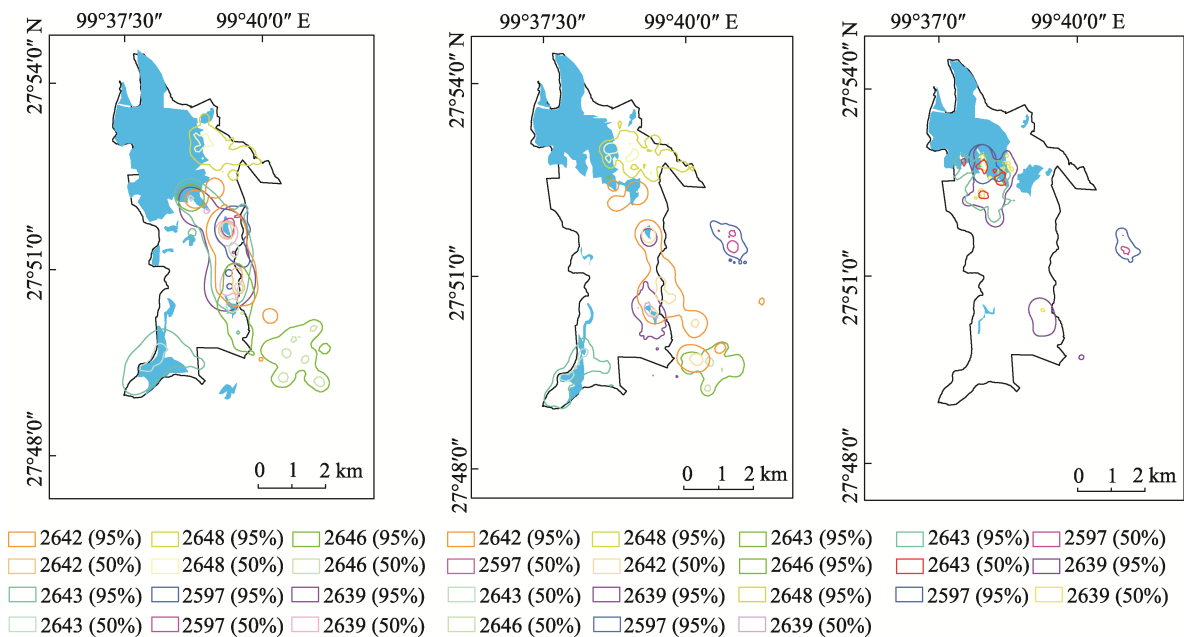


图 3 2018 年越冬季斑头雁活动区和核心活动区分布及纳帕海水域面积变化

Fig. 3 Home range and Core area of Bar-headed Geese and water area changes in the Napa Hai during the winter of 2018

左. 2 月; 中. 3 月; 右. 4 月; 图中 95% 表示斑头雁的活动区, 50% 表示核心活动区; 图中蓝色区域表示水域面积, 黑色的线表示纳帕海保护区边界。

Left. February; Middle. March; Right. April; 95% is home range, and 50% is core area of the Bar-headed Geese in the picture. The blue area represents the water area and the black lines represent the Napa Hai nature reserve boundary in the picture.

雁对水域的利用率存在逐月降低的趋势，2、3和4月份对水域的平均利用率分别为 $59.95\% \pm 12.9\%$ ($n = 6$)、 $55.12\% \pm 16.4\%$ ($n = 6$) 和 $23.67\% \pm 12.3\%$ ($n = 3$)。综合来看，斑头雁活动区的空间分布和水域面积变化具有密切关系。

3.4 2639 号斑头雁在两个越冬季的对比

2639 号斑头雁在第二年返回纳帕海越冬，在纳帕海度过了两个完整越冬期。为保证对比的一致性，故选取 2639 号斑头雁 2018 年和 2019 年越冬季同一个时间段，1 月 28 日至 4 月 26 日，以此期间的活动区和核心活动区进行对比。在两个越冬季节，该斑头雁无论在活动区面积还是空间分布上均存在显著差异。2639 号斑头雁 2018 年越冬季活动区面积为 5.98 km^2 ，核心活动区面积为 0.61 km^2 ，2019 年越冬季活动区面积为 8.22 km^2 ，核心活动区面积为 1.21 km^2 ，2019 年的活动区面积较 2018 年增长了 37.46% ，而核心活动区面积增长了 98.36% ；两年活动区的重叠面积为 0.79 km^2 ，重叠度指数 I_0 为 0.31 ；核心活动区无重叠。在空间上，2019 年的活动区和核心活动区相比 2018 年均向南不同程度的移动，2018 年 2639 号斑头雁的活动区分布主要在古底谷和打日觉村庄附近，而 2019 年的活动区则主要分布在纳公和开松村庄附近（图 4）。

4 讨论

获取动物个体的活动位点是开展活动区研究的基础，随着卫星遥测技术的发展，活动区研究在近年来得到了快速发展（张晋东等 2013）。在本研究中，选择使用动态布朗桥模型来模拟获取斑头雁的活动区和核心活动区面积，该模型的显著优点是在核密度估计法的基础上，将个体活动点的定位时间加入计算，既考虑了物种的活动中心，又考虑了活动路径，可以更准确估计动物的真实活动区范围（Clevenger et al. 1990, Horne et al. 2007, Kranstauber et al. 2012）。在本研究运用动态布

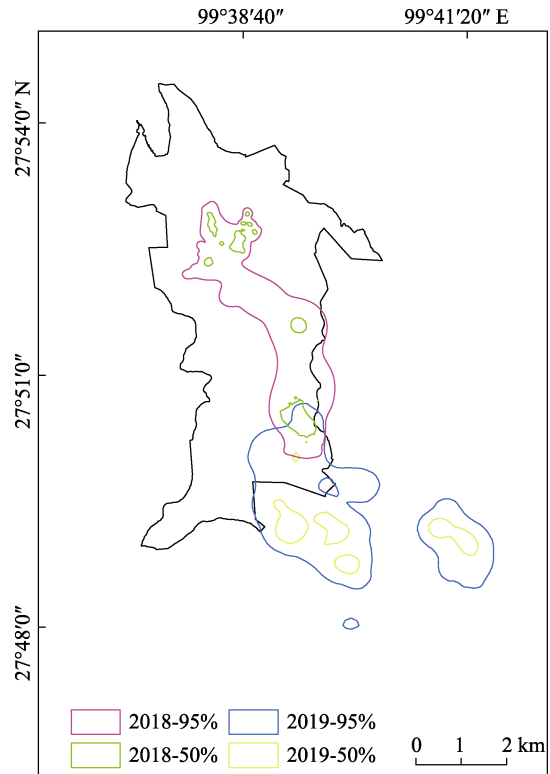


图 4 2639 号斑头雁 2018 年和 2019 年越冬期活动区和核心活动区分布

Fig. 4 The distribution of home and nuclear domains of bar-headed goose 2639 during winter period in 2018 and 2019

图中 95% 表示斑头雁的活动区，50% 表示核心活动区。黑色的线表示纳帕海保护区边界。

95% is home range, and 50% is core area of the Bar-headed Geese in the picture. The black lines represent the Napahai nature reserve boundary.

朗桥模型对斑头雁越冬期活动区进行了模拟，较好地反映了斑头雁在越冬期的空间需求。结果表明，不同斑头雁个体之间，在活动区和核心活动区面积大小上存在一定差异，且核心活动区往往仅占活动区面积的一小部分。研究表明，国内斑头雁的不同越冬种群之间可能存在差异，如刘冬平等（2010）对西藏越冬斑头雁种群活动区的研究发现，其在越冬地活动区面积的大小为 $(122.22 \pm 124.94) \text{ km}^2$ ($n = 3$)，其研究结果远远大于本研究中云贵高原越冬斑

头雁种群在越冬地纳帕海的活动区面积。但在一些其他鸟类的活动区研究中也表现相似的规律性，如王松（2020）在对鄱阳湖的 12 只白额雁（*A. albifrons*）进行卫星遥测后发现，无论是越冬期还是繁殖期白额雁不同个体的活动区面积均差距较大，并且白额雁的高强度利用区域只占整体活动区的一小部分。相同规律也见于对赤麻鸭（*Tadorna ferruginea*）（宋亚统等 2016）和小天鹅（*Cygnus columbianus*）的活动区研究中（魏振华 2019）。

影响活动区动态变化的因素主要有动物食性、栖息地质量和结构、可利用资源和生活史阶段等（龙博等 2011, Kolts et al. 2017, Liu et al. 2020, Harshbarger 2021）。Cui 等（2010）对青海湖斑头雁繁殖期和繁殖前期运动模式的研究得出，其在繁殖期的平均活动区为 242.5 km²，而本研究中斑头雁在越冬期的平均活动区面积仅为 7.93 km²，对比得知，斑头雁在越冬期的活动区要远远小于其繁殖期的活动区面积，这可能是由于斑头雁在繁殖期和越冬期的不同需求导致的。在繁殖期需要寻找更多的食物来满足自己和家庭所需，故其活动区分布面积更大，而在冬季，斑头雁的取食只需满足个体所需即可。本研究中纳帕海越冬斑头雁活动区面积较小也反映出纳帕海的食物供给较为充足，足以维持其取食所需。

虽然有多种因素会影响动物活动区的空间分布和面积，如年龄、性别（程雅畅 2015）、种群大小（Zheng et al. 2018）、人类干扰（宋亚统等 2016）等，但栖息地的质量和动态变化往往起着至关重要的作用。本研究中同只斑头雁个体（2639 号）在 2018 年和 2019 年两个越冬期的活动区面积和空间分布上均存在显著差异，2019 年越冬期的活动区和核心活动区面积均高于 2018 年，在空间上两年越冬期活动区的重叠度也较小。这种差异性可能和纳帕海湿地的年际变化有关。纳帕海属于典型的高寒季节性湿地，受雨季降雨量的影响，其景观格局在不同年份甚至不同季度之间均会

发生剧烈的变化（胡金明等 2010，李杰等 2010）。纳帕海自然保护区在冬季的中后期，湿地的水域面积迅速缩小，水陆过渡带随着枯水期水域的逐渐退减而移动，不断形成新的食物丰富的候鸟栖息地（刘成林等 2011，刘学先 2016）。本研究发现，斑头雁很少在大面积的水域中间活动，而更多地集中在水陆交替带。越冬期间斑头雁的取食行为占主导，生长在浅水沼泽和草甸上的禾本科植物是斑头雁的主要食物，当纳帕海水域面积较大时，斑头雁的适宜觅食地草甸和沼泽被淹没，其活动范围被压缩在纳帕海的南端，随着水域逐渐由南向北退却，斑头雁的活动区也逐渐向北移动。这也证明斑头雁活动区的空间分布和水域变化具有密切的关系，主要原因是斑头雁在夜间栖息时对水域具有很强的依赖性，活动区的空间分布必将会随着水域面积的变化而变化；在日间，不同斑头雁个体对栖息地的利用存在差异，有些个体偏好在草地中觅食，而有些个体则偏好在水域中觅食，但是随着水域面积缩减，更多个体会转移至草地觅食。至 4 月份，随着草地中禾本科植物的萌发，多数个体便彻底放弃水域，全部进入草地觅食。总的来看，水域面积的变化是影响斑头雁活动区的重要因素之一，同时也表明，斑头雁对环境变化有较强的适应性，会不断随着环境变化而做出行为上的调整。

斑头雁是 H5N1 高致病性禽流感病毒的重要携带者和传播者，此病毒除能进行空气传播外，还可以通过粪口传播（刘冬平 2010, Cyril et al. 2021），已有证据表明，H5N1 病毒可以感染家猪（李海燕等 2004）。通过观察发现，在纳帕海斑头雁和家猪经常混群觅食于沼泽中，两者存在较大的传染可能性。因此建议保护区增加其保护区的管理范围，同时加强斑头雁的种群动态监测，对斑头雁集中分布的区域，如开松、纳公、打日觉等村落的周边区域，在冬季实行家猪圈养，从而减少斑头雁与家畜接触造成疾病传播的风险。

参 考 文 献

- Barron D G, Brawn J D, Weatherhead P J. 2010. Meta-analysis of transmitter effects on avian behaviour and ecology. *Methods in Ecology and Evolution*, 1(2): 180–187.
- Bourouiba L, Wu J, Newman S, et al. 2010. Spatial dynamics of Bar-headed Geese migration in the context of H5N1. *Journal of the Royal Society Interface*, 7(52): 1627–1639.
- Buchin K, Sijben S, Arseneau T J M, et al. 2012. Detecting movement patterns using Brownian bridges. *Proceedings of the 20th international conference on advances in geographic information systems (ACM GIS)*. USA: Redondo Beach, California, 119–128.
- Cagnacci F, Focardi S, Ghisla A, et al. 2016. How many routes lead to migration? Comparison of methods to assess and characterize migratory movements. *Journal of Animal Ecology*, 85(1): 54–68.
- Calabrese J M, Fleming C H, Noonan M J, et al. 2021. Ctmweb: A graphical user interface for autocorrelation - informed home range estimation. *Wildlife Society Bulletin*, 45(1): 162–169.
- Clevenger A P, Purroy F J, Pelton M R. 1990. Movement and activity patterns of a European brown bear in the Cantabrian Mountains, Spain. *International Association for Bear Research and Management*, 8: 205–211.
- Cui P, Hou Y S, Tang M J, et al. 2010. Movement patterns of Bar-headed Geese *Anser indicus* during breeding and post-breeding periods at Qinghai Lake, China. *Journal of Ornithology*, 152(1): 83–92.
- Cyril T, Lydie A Y G, Vessaly K, et al. 2021. Qualitative risk analysis of the transmission of Highly Pathogenic Avian Influenza (HPAI) H5N1 through manure trade in Côte d'Ivoire. *Asian Food Science Journal*, 20(7): 38–46.
- Dixon A, Li X, Rahman M L, et al. 2017. Characteristics of home range areas used by Saker Falcons (*Falco cherrug*) wintering on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Bird Conservation International*, 27(4): 525–536.
- Harshbarger B. 2021. Seasonal Variation in Home Range and Core Area Size in Verreaux's Sifaka. Huntington, WV: Marshall University Doctoral Dissertation.
- Hawkes L A, Balachandran S, Batbayar N, et al. 2011. The trans-Himalayan flights of Bar-headed Geese (*Anser indicus*). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(23): 9516–9519.
- Horne J S, Garton E O, Krone S M, et al. 2007. Analyzing animal movements using Brownian bridges. *Ecology*, 88(9): 2354–2363.
- Janmaat K R, Olupot W, Chancellor R L, et al. 2009. Long-term site fidelity and individual home range shifts in *Lophocebus albigena*. *International Journal of Primatology*, 30(3): 443–466.
- Kernohan, B J, Gitzen R A, and Millsbaugh J J. 2001. Analysis of animal space use and movements // Millsbaugh J J, Marzluff J M. *Radio Tracking and Animal Populations*. Boise, Idaho: Academic Press, 125–166.
- Kie J G, Matthiopoulos J, Fieberg J, et al. 2010. The home-range concept: are traditional estimators still relevant with modern telemetry technology? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1550): 2221–2231.
- Kolts J R, McRae S B J. 2017. Seasonal home range dynamics and sex differences in habitat use in a threatened, coastal marsh bird. *Ecology and Evolution*, 7(4): 1101–1111.
- Kranstauber B, Kays R, LaPoint S D, et al. 2012. A dynamic Brownian Bridge Movement Model to estimate utilization distributions for heterogeneous animal movement. *Journal of Animal Ecology*, 81(4): 738–746.
- Liu T, Xu Y, Mo B, et al. 2020. Home range size and habitat use of the blue-crowned laughingthrush during the breeding season. *PeerJ*, 8: e8785.
- Newman S H, Iverson S A, Takekawa J Y, et al. 2009. Migration of whooper swans and outbreaks of highly pathogenic avian influenza H5N1 virus in eastern Asia. *PLoS One*, 4(5): e5729.
- Powell R A, Mitchell M S. 2012. What is a home range? *Journal of Mammalogy*, 93(4): 948–958.
- Signer J, Fieberg J R. 2021. A fresh look at an old concept: Home-range estimation in a tidy world. *PeerJ*, 9: e11031.
- van der Ven J, Gole P Ouweneel G. 2010. Bar-headed Geese *Anser indicus*: notes from breeding and wintering areas. *Goose Bulletin*, (10): 7–17.
- Yang F, Zhang Y Q. 2014. Quantities and distribution of the Black-necked Crane (*Grus nigricollis*) and other large waterfowl on the Yunnan and Guizhou Plateau. *Zoological Research*, 35(Suppl 1): 80.
- Zhang J, Deng X, Xie Y, et al. 2020a. The importance of the Qinghai-Tibet Plateau for Bar-headed Geese *Anser indicus*:

- results from GPS/GSM telemetry. *Wildfowl*, 70(70): 57–75.
- Zhang J, Xie Y, Li L, et al. 2020b. Assessing site-safeguard effectiveness and habitat preferences of Bar-headed Geese (*Anser indicus*) at their stopover sites within the Qinghai-Tibet Plateau using GPS/GSM telemetry. *Avian Research*, 11(1): 1–13.
- Zheng R, Smith L M, Prosser D J, et al. 2018. Investigating home range, movement pattern, and habitat selection of Bar-headed Geese during breeding season at Qinghai Lake, China. *Animals*, 8(10): 182.
- 程雅畅. 2015. 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. 北京: 北京林业大学硕士学位论文.
- 邓书斌, 陈秋锦, 杜会建, 等. 2014. ENVI 遥感图像处理方法. 北京: 高等教育出版社, 393–406.
- 何久娣, 罗泽, 苏锦河, 等. 2015. 基于高斯模型的 T-LoCoH 候鸟活动区估计算法研究及应用. *科研信息化技术与应用*, 6(6): 56–64.
- 胡金明, 李杰, 袁寒, 等. 2010. 纳帕海湿地季节性景观格局动态变化及其驱动. *地理研究*, 29(5): 899–908.
- 黄田, 徐正刚, 周立波, 等. 2019. 水位波动对洞庭湖越冬小天鹅活动区的影响. *生态学报*, 39(22): 8657–8666.
- 李海燕, 于康震, 杨焕良, 等. 2004. 中国猪源 H5N1 和 H9N2 亚型流感病毒的分离鉴定. *中国预防兽医学报*, 26(1): 4–9.
- 李杰, 胡金明, 董云霞, 等. 2010. 1994~2006 年滇西北纳帕海流域及其湿地景观变化研究. *山地学报*, 28(2): 247–256.
- 刘成林, 谭胤静, 林联盛, 等. 2011. 鄱阳湖水位变化对候鸟栖息地的影响. *湖泊科学*, 23(1): 129–135.
- 刘冬平. 2010. 青海湖斑头雁 (*Anser indicus*) 的繁殖期活动性、迁徙路线及其与禽流感暴发的时空关系. 北京: 中国林业科学研究院博士学位论文.
- 刘冬平, 张国钢, 钱法文, 等. 2010. 西藏雅鲁藏布江中游斑头雁的越冬种群数量、分布和活动区. *生态学报*, 30(15): 4173–4179.
- 刘强, 蒋文静. 2018. 云南纳帕海湿地冬季景观格局动态. *西南林业大学学报: 自然科学*, 38(4): 139–145.
- 刘学先. 2016. 2015 年云南纳帕海自然保护区大型水禽的数量调查研究. *绿色科技*, (6): 123–124.
- 龙博, 陈忠, 李玉春. 2011. 不同因素对动物活动区面积的影响. *海南师范大学学报: 自然科学版*, 24(4): 439–443.
- 宋亚统, 罗泽, 郑若冰. 2016. 青海湖地区赤麻鸭活动区和栖息地选择的研究. *科研信息化技术与应用*, 7(4): 38–45.
- 宋志勇, 曹明, 李金华. 2018. 纳帕海和碧塔海湿地资源现状与保护管理对策. *安徽农业科学*, 46(27): 56–58+72.
- 王磊, 刘强, 杨俊杰, 等. 2020. 基于卫星跟踪的钳嘴鹈家域研究. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 44(6): 33–38.
- 王丽. 2015. 近 20 年来纳帕海湿地景观格局变化及其对黑颈鹤生境质量的影响研究. 昆明: 云南大学硕士学位论文.
- 王泉泉. 2018. 滇西北高原典型湿地纳帕海景观动态变化分析. *绿色科技*, (10): 20–22, 24.
- 王松. 2020. 鄱阳湖白额雁迁徙规律与活动区范围研究. 长沙: 中南林业科技大学硕士学位论文.
- 魏振华. 2019. 鄱阳湖水位波动对小天鹅时空动态和栖息地选择的影响. 南昌: 江西师范大学硕士学位论文.
- 张国钢, 刘冬平, 钱法文, 等. 2011. 西藏斧喙水鸟多样性及斑头雁繁殖活动区的变化. *生态学报*, 31(2): 395–400.
- 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.
- 张娜. 2019. 鄱阳湖湿地枯水期獐 (*Hydropotes inermis*) 野放初期的活动区和生境选择. 南昌: 江西师范大学硕士学位论文.
- 郑作新. 1997. 中国动物志 鸟纲 第二卷 雁形目. 北京: 科学出版社, 99–101.
- 周祥. 2011. 云南纳帕海典型森林水文生态功能研究. 北京: 北京林业大学博士学位论文.
- 朱筱佳, 李来兴, 杨乐, 等. 2009. 青海湖鸟岛斑头雁种群对 H5N1 亚型禽流感病毒的免疫状况. *动物学研究*, 30(4): 406–410.