

# 甘肃盐池湾黑颈鹤亚成体夏季生境选择

李雪竹<sup>①</sup> 王博驰<sup>①</sup> 杨巨才<sup>②</sup> 色拥军<sup>②</sup> 郭玉民<sup>①\*</sup>

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

**摘要:** 开展对亚成体的研究, 可以更加全面了解一个物种, 进而更有效地开展保护工作。甘肃盐池湾国家级自然保护区是黑颈鹤 (*Grus nigricollis*) 成体的重要繁殖地和亚成体的重要栖息地之一。为研究甘肃盐池湾黑颈鹤亚成体生境选择, 于 2020 年 7 月初至 8 月中旬在盐池湾党河湿地展开调查, 并依据 Johnson 对生境选择空间尺度的划分, 对亚成体活动区内各类型生境和觅食微生境的生境选择进行了研究。通过遥感影像解译和卫星跟踪分别获得各栖息地类型面积以及黑颈鹤的活动位点, 利用核密度分析法估计活动区面积并利用 Manly 研究中的设计 III 来研究活动区内各类型生境选择; 通过选取利用样方和对照样方, 使用  $\chi^2$  检验、独立样本 *t* 检验和 Mann-Whitney *U* 检验, 对比检验样方数据, 进行微生境选择的研究。结果表明, 活动区内各类型生境中亚成体选择河流, 拒绝戈壁和沼泽化草甸, 对沼泽既不选择也不拒绝, 而成体选择湖泊, 没有利用河流, 同时拒绝戈壁、山脉、沼泽化草甸和盐化草甸, 对沼泽既不选择也不拒绝; 觅食微生境选择中, 亚成体选择平均植被盖度为  $57.07\% \pm 4.53\%$ , 基质类型为泥炭, 基质硬度为中, 主要植被黑褐苔草 (*Carex atrofusca*) 的微生境栖息, 相比成体, 亚成体选择的生境基质更硬, 距道路距离更近, 距房屋、河流、山脉和湖泊距离更远。亚成体的栖息地选择主要受到生境质量、生境资源有限性以及成体选择等因素的影响。在这些因素的影响下, 亚成体与成体产生了生态位分离, 并在栖息地选择上出现了分化。这种分化对亚成体的生存和成体的繁殖都有益, 可以避免种内无效的冲突和竞争, 有利于亚成体和成体的适合度增加。保护黑颈鹤的栖息环境需同时考虑到亚成体的选择和生存。

**关键词:** 黑颈鹤; 亚成体; 多尺度生境选择; Manly 选择率

**中图分类号:** Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2022) 02-185-11

## Habitat Selection of Subadults of Black-necked Crane in Summer in Yanchiwan, Gansu Province, China

LI Xue-Zhu<sup>①</sup> WANG Bo-Chi<sup>①</sup> YANG Ju-Cai<sup>②</sup> SE Yong-Jun<sup>②</sup> GUO Yu-Min<sup>①\*</sup>

① College of Ecology and Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083;

② Gansu Yanchiwan National Nature Reserve Management and Conservation Center, Jiuquan 736300, China

**Abstract: [Objectives]** Research on subadults can provide a more comprehensive understanding of a species and a more effective protection work. To adequately protect the Black-necked Crane (*Grus nigricollis*), a

**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;

**第一作者简介** 李雪竹, 女, 硕士研究生; 研究方向: 鸟类生态学; E-mail: liyueyizhizhua@126.com.

收稿日期: 2000-02-18, 修回日期: 2021-11-10 DOI: 10.13859/j.cjz.202202003

threatened wetland bird on the Tibetan Plateau, according to Johnson's research, we conducted a survey in the Danghe wetland in Yanchiwan (Fig. 1) from early July to mid-August 2020 to study the home range and microhabitat scale habitat selection of subadult Black-necked Cranes. **[Methods]** The kernel density estimation was used to estimate the home range, then home range scale selection was studied using Manly selection ratio design III, and the area of each habitat type and the locations of Black-necked Cranes were obtained using remote sensing image interpretation and satellite tracking, respectively. The microhabitat scale selection was performed by selecting utilization and control samples and then comparing the data of samples using the one sample Kolmogorov-Smirnov test,  $\chi^2$  test, independent samples *t*-test and Mann-Whitney *U*-test. **[Results]** In the third-order selection, river ( $\hat{w}_i = 5.12$ ,  $C_i$  was 2.92 - 7.32) was preferred, lake ( $\hat{w}_i = 0.00$ ) was not being used, gobi ( $\hat{w}_i = 0.16$ ,  $C_i$  was 0.00 - 0.35) and swamp meadow ( $\hat{w}_i = 0.64$ ,  $C_i$  was 0.51 - 0.78) were rejected, and swamp ( $\hat{w}_i = 0.83$ ,  $C_i$  was 0.58 - 1.09) was neither selected nor rejected by subadults (Table 2), and the subadults are wandering around the river (Fig. 2). In contrast, adults selected lake ( $\hat{w}_i = 3.11$ ,  $C_i$  was 1.80 - 4.43) without using river ( $\hat{w}_i = 0.00$ ), while adults rejected gobi ( $\hat{w}_i = 0.05$ ,  $C_i$  was 0.03 - 0.06), mountain ( $\hat{w}_i = 0.07$ ,  $C_i$  was 0.01 - 0.14), swamp meadow ( $\hat{w}_i = 0.21$ ,  $C_i$  was 0.10 - 0.32) and salinization meadow ( $\hat{w}_i = 0.18$ ,  $C_i$  was 0.01 - 0.35), and neither selected nor rejected swamp ( $\hat{w}_i = 1.22$ ,  $C_i$  was 0.92 - 1.53) (Table 2). In the microhabitat scale selection, microhabitats with an average vegetation cover of  $57.07\% \pm 4.53\%$  (Table 3), matrix type of peat ( $\chi^2 = 10.248$ ,  $df = 1$ ,  $P < 0.05$ ), intermediate matrix ( $\chi^2 = 22.483$ ,  $df = 2$ ,  $P < 0.05$ ), and dominant vegetation ( $\chi^2 = 19.419$ ,  $df = 5$ ,  $P < 0.05$ ) of *Carex atrofusca* were selected by subadults. Harder matrix ( $\chi^2 = 9.875$ ,  $df = 2$ ,  $P < 0.05$ ), closer to road and further from house, river, mountain and lake were the habitats selected by subadults compared to adults (Table 4). **[Conclusion]** The habitat selection of subadults is mainly affected by factors such as habitat quality, habitat resources limitation and habitat selection of adults. Under the influence of these factors, the separation of ecological niche and the differentiation of habitat selection occurred between subadults and adults. This differentiation is beneficial to both subadult survival and adult reproduction, avoiding ineffective intraspecific conflict and competition, and facilitating increased fitness of subadults and adults. Habitat protection of Black-necked Cranes needs to consider the habitat selection of subadults and their survival.

**Key words:** Black-necked crane; Subadult; Multi-scale habitat selection; Manly selection ratio

鸟类栖息地选择是指鸟类偏爱或优先选择某些栖息地类型或栖息地因子, 栖息地选择影响鸟类的生存几率和繁殖收益, 从而影响其适合度 (Block et al. 1993)。鸟类的栖息地选择是一个复杂的多层次多级别的决策过程, 在每个不同的尺度上均具有不同的特征和机制 (张明海等 2005)。根据 Johnson (1980) 的研究, 栖息地选择依据不同空间尺度分为四个自然顺序等级, 其中, 第一级选择为一个物种对地理范围的选择, 第二级选择是地理范围内对活动区的选择, 第三级选择是对活动区内各生境类

型的选择, 第四级选择是对觅食微生境的选择。Manly 等 (2002) 将栖息地选择研究分为三个设计计算选择率, 设计 I 不识别个体, 收集研究区域内所有动物的生境利用情况, 将整个研究区作为可利用生境, 设计 II 识别不同个体生境利用的情况, 但认为所有个体的可利用生境相同, 即也将整个研究区作为可利用生境, 设计 III 识别不同个体生境利用的情况, 同时也单独测定不同个体的可利用生境, 即通过确定个体活动区获得。使用 Manly 等 (2002) 的设计 III 计算选择率, 能够对 Johnson (1980) 划分的

活动区内各类型生境选择进行研究。

不同年龄段的鸟类在栖息地选择上也存在差异。相比成鸟，锈色黑鹇 (*Euphagus carolinus*) 幼鸟更偏好针叶林或混交林并且选择更靠近溪流的生境生存 (Wohner et al. 2020)。与亲鸟选择的筑巢生境相比，白喉林莺 (*Setophaga cerulea*) 幼鸟选择的生境树木小但数量更多并且树冠的间隙更少 (Raybuck et al. 2020)。亚成体阶段是较长寿命动物生命中的重要年龄阶段，一些鸟类的亚成体与成体在生境选择上也存在差异，例如，高加索地区亚成体秃鹫 (*Aegypius monachus*) 的活动集中在开阔干燥的栖息地 (Alexander et al. 2012)；亚成体胡兀鹫 (*Gypaetus barbatus*) 选择臆羚 (*Rupicapra rupicapra*) 多、林地少的区域栖息，而成年胡兀鹫选择降水少、獐羊 (*Capra ibex*) 多的区域生存 (Vignali et al. 2021)。因此在研究鸟类生境选择时应当将成体与亚成体区分开。一些鸟类亚成体与成体在运动模式和迁徙等方面也存在差异 (Wolfson et al. 2019, Pearse et al. 2020)，在动物生态学中，加强针对亚成体的研究已经成为一种趋势 (Dahle et al. 2006, Crawford et al. 2019)。开展针对亚成体的研究，有利于更有效和全面对物种进行保护。

黑颈鹤 (*Grus nigricollis*) 是鹤形目 (Gruiformes) 鹤科 (Gruidae) 鹤属的大型涉禽，世界自然保护联盟 (IUCN) 将其列为近危级物种，其全球种群数量约为 10 000 ~ 10 200 只 (Bird Life International 2020)。盐池湾黑颈鹤种群繁殖于盐池湾，越冬于西藏林周县 (Wang et al. 2020)，自 2013 年起种群数量由约 80 只逐步增加至约 200 只 (王博驰等 2021)。盐池湾是黑颈鹤成体的繁殖地，同时也是亚成体的重要栖息地之一，这里每年都有亚成体集群。为调查盐池湾黑颈鹤亚成体栖息地选择情况，利用卫星跟踪数据，对亚成体活动区内各类型生境选择进行研究，并于 2020 年 7 月和 8 月在保护区内设置样方，研究亚成体的微生境

选择，并比较了亚成体与成体的选择差异，以期有效保护该地黑颈鹤种群提供科学依据，为黑颈鹤亚成体的研究和保护提供更多参考。

## 1 研究区域及研究方法

### 1.1 研究区概况

甘肃盐池湾国家级自然保护区 (95°21' ~ 97°10' E, 38°26' ~ 39°52' N) 位于祁连山西端，青藏高原北缘，甘肃省北蒙古族自治县东南部。其平均海拔在 3 000 m 以上，党河湿地是该保护区内黑颈鹤栖息的主要场所，也是本研究的研究区 (图 1)。党河和冰雪融水是湿地内的主要水源，每到繁殖季，湿地内气温上升，冰雪融水增加，在湿地内形成了许多大小不一的季节性湖泊。湿地内土地覆盖类型复杂，主要可大致分为沼泽、河流、湖泊、沼泽化草甸以及盐化草甸。沼泽内丛生苔草 (*Carex caespititia*) 和小灯芯草 (*Juncus bufonius*) 是优势种；沼泽化草甸中主要分布有华扁穗草 (*Blysmus sinocompressus*) 和黑褐苔草 (*C. atrofusca*)；盐化草甸则以赖草 (*Leymus secalinus*) 和西藏早熟禾 (*Poa tibetica*) 为主要植被类型。

### 1.2 黑颈鹤亚成体的划分和确认

利用卫星跟踪发现，从黑颈鹤离开亲鸟独自进行春季迁徙和生存到其性成熟并参与繁殖，中间存在很长时间的的生活史阶段，属于亚成体阶段，因此本研究定义黑颈鹤的亚成体为第一次春季迁徙离开亲鸟到性成熟并参与繁殖期间的个体。在繁殖地，通过活动地点、集群及一些外部形态特征综合区分黑颈鹤成体和亚成体：第一，根据保护区工作人员提供的信息以及往年实地调查，确认在研究区内亚成体主要活动的地点；第二，在这些地点内寻找集群活动的黑颈鹤；第三，根据颈部羽色、眼后斑和头顶裸区等外部形态特征来区分，亚成体颈部羽色斑驳，灰、黑和白色夹杂，成体颈部羽色纯黑；成体眼后斑相比亚成体更明显，且成体头顶裸区较亚成体更大更艳丽。

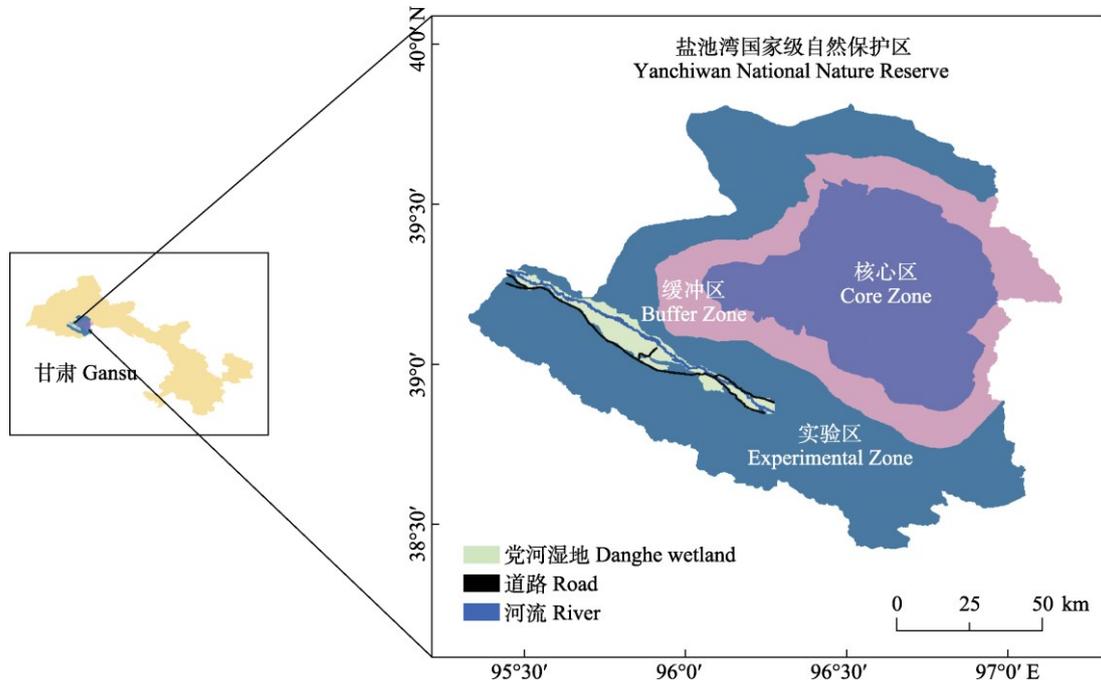


图 1 研究区党河湿地所在地

Fig. 1 Location of Danghe Wetland study area

### 1.3 活动区内不同类型栖息地选择

幼鹤在繁殖地与亲鸟共同活动，幼鹤的跟踪位点等同于成体。用课题组正在卫星跟踪的黑颈鹤亚成体 T21、T25、T37 个体 7 月和 8 月以及幼鹤 B00、B03、B10、B13、B17 个体的实际活动位点，通过核密度分析法 (kernel density estimation, KDE) 估计活动区。根据 Manly 等 (2002) 选择率的设计 III，即识别不同个体对生境利用的情况，同时单独测定不同个体的可利用生境，以个体活动区内实际出现的跟踪位点与总位点之比作为利用 (used)，将个体活动区内各类型栖息地面积与活动区面积之比作为可利用 (available)，计算选择率估计值 ( $\hat{w}_i$ )，具体计算公式为：

$$\hat{w}_i = U / A = (L_i / L) / (S_i / S)$$

式中， $U$  为利用 (used)， $A$  为可利用 (available)， $L_i$  为活动区内某生境类型内跟踪位点， $L$  为活动区内总跟踪位点， $S_i$  为活动区内某生境类型面积， $S$  为活动区面积。Calenge

(2006) 根据 Manly 等 (2002) 选择率的三个设计编写了 R 程序包 “adehabitatHS”，其中的 “wi” 函数能够计算出相应结果，包括选择率估计值 ( $\hat{w}_i$ ) 以及根据选择率得出的 95% 置信区间 (confidence interval,  $C_1$ )，并提供了  $\chi^2$  检验分析以检验计算结果是否有统计学意义。本次活动区内不同类型栖息地选择研究的选择率估计值  $\hat{w}_i$  和 95% 置信区间  $C_1$  等计算以及  $\chi^2$  检验均采用 0.3.15 版本 “adehabitatHS” 程序包中的 “wi” 函数进行 (Calenge 2020, <https://cran.r-project.org/web/packages/adehabitatHS/adehabitatHS.pdf>)。选择率或置信区间范围值小于 1，表示对某栖息地类型拒绝，大于 1 则表示选择，等于 1 时表示既不选择也不拒绝，等于 0 表示无利用，当选择率和置信区间结果不同时，主要参考置信区间 (Manly et al. 2002)。计算选择率所需的生境类型面积数据来自遥感影像解译。

## 1.4 微生境选择

**1.4.1 生境因子** 生境因子包括水深、植被高度、植被盖度、距道路（柏油主路）距离、距房屋距离、距河流（党河主干）距离、距山脉距离、距湖泊距离、基质类型、基质硬度及主要植被共 11 个（表 1）。参考文献（程雅畅 2015），将基质硬度分为软、中和硬三个级别。主要植被中黑褐苔草是黑颈鹤的食物。使用 HK-1000H 鹰眼激光测距仪测距仪（天津瞭望光电科技有限公司）测量未超过 1 000 m（即测距仪最远测量距离）的距离；超过 1 000 m 的距离通过 GPS 定位记录位点，并在 ArcMap10.4 中使用邻域分析工具计算距离。

**1.4.2 样方选取** 选取利用样方时，沿公路或在瞭望塔上搜寻集群的亚成体，确认大概位置后一人用单筒望远镜锁定，另一队人携带对讲机在其指引下到达集群所在区域并寻找亚成体遗留下的痕迹，如脚印、啄痕、刨痕、羽毛等，在痕迹密集区中心做标记，然后以标记为中心以约 5 m 为半径，向随机方向选取 4 个 1 m × 1 m 的样方，并测量表 1 中的因子。

对照样方分为亚成体可利用样方和成体利用样方。选择对照样点或样方时最好能保证在目标物种的家域或领域范围内（蒋爱伍 2012），因此根据程雅畅（2015）使用的方法，利用被跟踪黑颈鹤亚成体个体位点信息计算家域面积，以其在研究期间平均活动区面积为圆球半径，结果约为 227 m，考虑实际操作因素以约 300 m 作为亚成体可利用样方和利用样方之间的距离。在选取亚成体利用样方后，以每个利用样方为中心，随机选取一个方向上约 300 m 处作为亚成体可利用样方的中心，设置相同大小的对照样方并测量表 1 中的因子，每个亚成体群共设置 4 个对照样方。繁殖成体有固定活动区，前往成体活动区寻找活动痕迹并选取 1 m × 1 m 样方，测量表 1 中的因子。

## 1.5 数据处理

**1.5.1 遥感影像解译** 在美国地质勘探局网站（<https://earthexplorer.usgs.gov/>）下载

Sentinel-2 卫星影像（精度为 10 m）。由于云层覆盖，符合本研究要求的影像为 2020 年 5 月 16 日和 8 月 24 日两幅，党河湿地内 7~9 月含水量和水文环境最为相似，因此选择 8 月 24 日的影像，使用最大似然法，在 ENVI 5.3 中进行解译，具体解译步骤见邓书斌（2014）。结合实地调查及文献（刘迺发等 2010），将研究区内的栖息地类型分为湖泊、沼泽、河流、盐化草甸、沼泽化草甸、戈壁以及山脉。

**1.5.2 数据分析** 在 IBM SPSS Statistics 22 软件中进行单个样本 Kolmogorov-Smirnov Test 检验样方数据是否符合正态分布，对符合正态分布的数据（ $P > 0.05$ ）进行独立样本  $t$  检验，对于不符合正态分布的数据（ $P < 0.05$ ）采用非参数估计中的 2 个独立样本的 Mann-Whitney  $U$  检验，对定性生境因子进行  $\chi^2$  检验（李伟等 2010，程雅畅 2015）。在 R 3.6.3 软件中使用“adehabitatHR”程序包进行活动区的估计并在该软件中实现 Manly 等（2002）设计 III 的全部计算及检验，位点的统计以及作图在 ArcMap10.4 中进行。

## 2 结果

### 2.1 活动区内各栖息地类型选择结果

3 只亚成体的活动区分布及栖息生境类型见图 2。在亚成体选择中，经检验（ $\chi^2 = 555.049$ ， $df = 9$ ， $P < 0.05$ ）结果有统计学意义，选择率估计值（ $\hat{w}_i$ ）和 95% 置信区间（95%  $C_1$ ）可做参考。这些亚成体选择河流，拒绝戈壁和沼泽化草甸，对沼泽既不选择也不拒绝，湖泊、山脉和盐化草甸完全没被其利用（表 2）。在成体选择中，经检验（ $\chi^2 = 1453.942$ ， $df = 14$ ， $P < 0.05$ ）结果有统计学意义，选择率估计值（ $\hat{w}_i$ ）和 95% 置信区间（95%  $C_1$ ）可做参考。成体选择湖泊，对沼泽既不选择也不拒绝，拒绝戈壁、沼泽化草甸、山脉和盐化草甸，河流没有被这些成体利用（表 2）。

表 1 生境因子类型及测定内容和方法

Table 1 The types, measurement contents and methods of habitat factors

生境因子 Factor	测量内容及方法 Content and method
水深 Depth of water (cm)	使用直尺测量样方内随机 5 位置水深, 取平均值 Use a straightedge to measure the water depth at 5 random locations in the sample square and take the average value
植被高度 Height of vegetation (cm)	根据样方内植株总数和分布, 使用卷尺随机、全面的测量样方内各处植株, 取高度平均值 According to the total number and distribution of plants in the sample square, plants were measured randomly and comprehensively to each place in the sample square, and the average height was taken
植被盖度 Coverage of vegetation (%)	目测估计 Visual estimation
距道路距离 Distance to road (m)	距四轮机动车能够通行的主干道距离, 采用测距仪测量或 GPS 定位计算 Distance from the main road that can be passed by four-wheeled motor vehicles, measured with a distance meter or calculated by GPS location
距房屋距离 Distance to houses (m)	距牧民居住点的距离, 采用测距仪测量或 GPS 定位计算 Distance from herders' residence, measured with a distance meter or calculated by GPS location
距河流距离 Distance to river (m)	距党河主干距离, 采用测距仪测量或 GPS 定位计算 Distance from the main stem of the Danghe river, measured with a distance meter or calculated by GPS location
距山脉距离 Distance to mountain (m)	距山脉边缘距离, 采用测距仪测量或 GPS 定位计算 Distance from the edge of the mountain, measured with a distance meter or calculated by GPS location
距湖泊距离 Distance to lake (m)	距湖泊边缘距离, 采用测距仪测量或 GPS 定位计算 Distance from the edge of the lake, measured with a distance meter or calculated by GPS location
基质类型 Matrix type	分为泥炭地和盐碱地 Divided into peat land and saline land
基质硬度 Matrix hardness	分为软、中、硬三个级别, 利用自身体重使脚下沉, 陷入基质中为软, 可以留下清晰脚印但不陷入为中, 无法留下清晰脚印为硬 There are three levels: soft, intermediate and hard. Use your body weight to make your feet sink, the matrix that can be plunged into by the foot is soft, can be left clear footprints but not plunged into is intermediate, and cannot be left clear footprints is hard
主要植被 Main vegetation	样方内的主要植被, 主要有丛生苔草、华扁穗草、黑褐苔草、西藏早熟禾等 The main vegetation within the sample. There are <i>Carex caespititia</i> , <i>Blysmus sinocompressus</i> , <i>C. atrofusca</i> and <i>Poa tibetica</i> , etc.

本次调查使用的测距仪是天津瞭望光电科技有限公司生产的 HK-1 000H 型号鹰眼激光测距仪。

The distance meter used in this survey is the HK-1000H model of the Hawkeye laser, and it is produced by Tianjin Lookout Photoelectric Technology Co., Ltd.

## 2.2 微生境选择结果

**2.2.1 亚成体微生境选择情况** 本次研究共取得黑颈鹤亚成体利用样方 44 个, 可利用样方 44 个, 以及成体利用样方 16 个。对比亚成体利用和可利用样方, 定量生境因子中, 两者的植被盖度差异显著 (表 3); 定性因子  $\chi^2$  检验显示, 亚成体利用和可利用样方在基质类型 ( $\chi^2 = 10.248$ ,  $df = 1$ ,  $P < 0.05$ )、基质硬度 ( $\chi^2 = 22.483$ ,  $df = 2$ ,  $P < 0.05$ ) 及主要植被 ( $\chi^2 = 19.419$ ,  $df = 5$ ,  $P < 0.05$ ) 上存在显著差异。

**2.2.2 亚成体与成体的选择差异** 亚成体利

用样方与成体利用样方的对比中, 定量因子距道路、距房屋、距河流、距山脉及距湖泊距离共 5 个因子差异显著 (表 4), 定性因子  $\chi^2$  检验显示, 主要植被 ( $\chi^2 = 12.865$ ,  $df = 5$ ,  $P < 0.05$ ) 和基质硬度 ( $\chi^2 = 9.875$ ,  $df = 2$ ,  $P < 0.05$ ) 差异显著。

## 3 讨论

以往的研究者, 依据不同物种间寿命的不同, 对亚成体的描述有所区别。在有关哀鹤 (*Zenaida macroura*) 的研究中, 一些个体被称

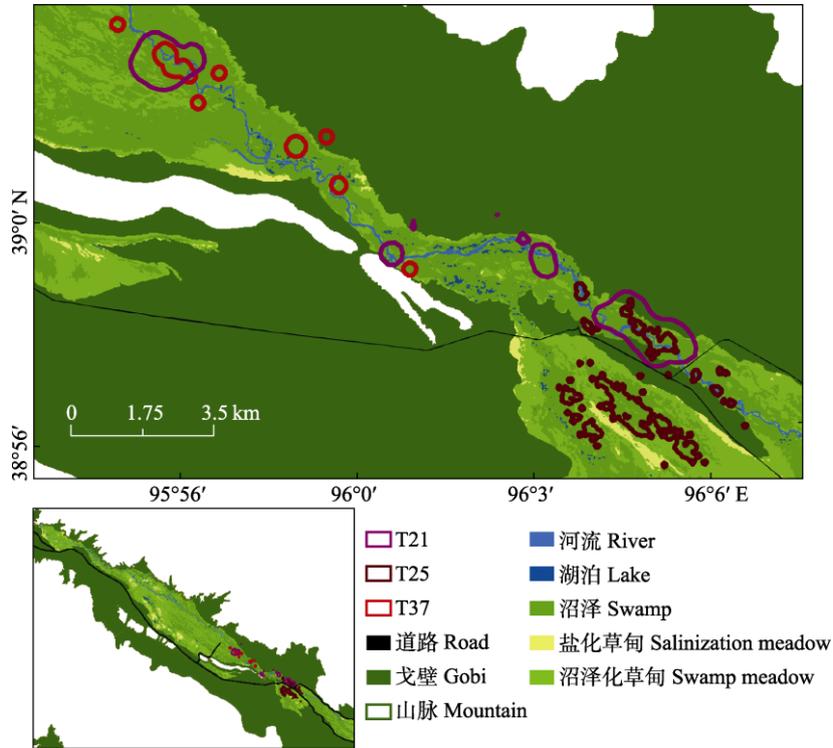


图 2 三只被跟踪亚成体活动区分布及栖息生境类型

Fig. 2 The home range distributions and habitat types of the three tracked subadults

表 2 亚成体和成体活动区内各类型生境选择的选择率

Table 2 The selection ratio summary of subadults and adults of each habitat type selection in home range

	栖息地类型 Habitat type	选择率估计 Selection ratio estimation $\hat{w}_i$	标准误 Standard error SE	95%置信区间 95% Confidence interval $C_i$
亚成体 Subadult ( $n=3$ )	戈壁 Gobi	0.16	0.07	0.00 ~ 0.35
	河流 River	5.12	0.88	2.92 ~ 7.32
	沼泽 Swamp	0.83	0.10	0.58 ~ 1.09
	沼泽化草甸 Swamp meadow	0.64	0.05	0.51 ~ 0.78
	湖泊 Lake	0.00	—	—
	山脉 Mountain	0.00	—	—
	盐化草甸 Salinization meadow	0.00	—	—
成体 Adult ( $n=5$ )	戈壁 Gobi	0.05	0.01	0.03 ~ 0.06
	河流 River	0.00	—	—
	沼泽 Swamp	1.22	0.13	0.92 ~ 1.53
	沼泽化草甸 Swamp meadow	0.21	0.05	0.10 ~ 0.32
	湖泊 Lake	3.11	0.55	1.80 ~ 4.43
	山脉 Mountain	0.07	0.03	0.01 ~ 0.14
	盐化草甸 Salinization meadow	0.18	0.07	0.01 ~ 0.35

选择率不可能为负，因此置信区间的负下限用 0.00 替代。— 选择率估计为零，对某类型生境无使用。

The selection ratio cannot be negative, so the negative lower limit of confidence interval is replaced by 0.00. — The selection ratio estimation is zero and there is no use for a habitat type.

表 3 亚成体利用与可利用样方生境因子描述性统计及检验差异 (平均值 ± 标准误)

Table 3 Descriptive statistics and test differences between utilized quadrats and available quadrats of subadults (Mean ± SE)

生境因子 Habitat factor	利用样方 Utilized quadrat	可利用样方 Available quadrat	U 检验 z 值 U-test z Value	t 值 t value	P 值 P value
水深 Depth of water (cm)	0.75 ± 0.32	0.55 ± 0.25	-0.32	—	0.75
植被高度 Height of vegetation (cm)	23.75 ± 1.40	20.27 ± 1.84	-1.83	—	0.07
植被盖度 Coverage of vegetation (%)	57.07 ± 4.53	20.39 ± 2.67	-5.46	—	< 0.05
距道路距离 Distance to road (m)	1 294.20 ± 152.96	1 295.57 ± 151.49	-0.03	—	0.97
距房屋距离 Distance to houses (m)	1 378.11 ± 98.52	1 351.34 ± 94.74	-0.18	—	0.85
距河流距离 Distance to river (m)	1 032.07 ± 92.25	1 024.07 ± 91.29	-0.21	—	0.84
距山脉距离 Distance to mountain (m)	1 158.27 ± 83.72	1 159.34 ± 83.95	—	-0.01	0.99
距湖泊距离 Distance to lake (m)	1 496.09 ± 84.01	1 498.91 ± 88.92	-0.15	—	0.88

$P < 0.05$ , 差异性显著; — 根据数据是否符合正态分布, 进行 U 检验或 t 检验。

$P < 0.05$ , Significant differences; — U test or t test was not performed according to whether the data satisfy normal distribution.

表 4 亚成体利用与成体利用样方因子描述性统计及检验差异 (平均值 ± 标准误)

Table 4 Descriptive statistics and test differences in utilized quadrat between subadults and adults (Mean ± SE)

生境因子 Habitat factor	利用样方 Utilized quadrat	成体利用样方 Adult available quadrat	U 检验 z 值 U-test z Value	t 值 t value	P 值 P value
水深 Depth of water (cm)	0.75 ± 0.32	0.81 ± 0.64	-0.27	—	0.79
植被高度 Height of vegetation (cm)	23.75 ± 1.40	26.75 ± 2.49	-1.34	—	0.18
植被盖度 Coverage of vegetation	57.07 ± 4.53	61.19 ± 8.44	-0.65	—	0.51
距道路距离 Distance to road (m)	1 294.20 ± 152.96	7 371.69 ± 59.29	-5.88	—	< 0.05
距房屋距离 Distance to houses (m)	1 378.11 ± 98.52	747.56 ± 36.71	-3.68	—	< 0.05
距河流距离 Distance to river (m)	1 032.07 ± 92.25	557.19 ± 36.08	-2.22	—	< 0.05
距山脉距离 Distance to mountain (m)	1 158.27 ± 83.72	289.00 ± 37.59	—	-9.47	< 0.05
距湖泊距离 Distance to lake (m)	1 496.09 ± 84.01	342.46 ± 43.04	-5.89	—	< 0.05

$P < 0.05$ , 差异性显著; — 根据数据是否符合正态分布, 进行 U 检验或 t 检验。

$P < 0.05$ , Significant differences; — U test or t test was not performed according to whether the data satisfy normal distribution.

为未成熟个体 (immature), 这些未成熟个体在羽色上有相同特征并且区别于幼体和成体 (Irby et al. 1966)。猛禽中有些物种从独立生存到首次繁殖前存在一段“不繁殖时期”, 处于这段时期的个体为亚成体 (subadult) (Steenhof et al. 1983)。原鸡 (*Gallus gallus*) 有亚成体阶段, 即离开亲鸟独立生存后到第一个繁殖季节前的过渡阶段 (Weldon et al. 2016)。但不同物种的亚成体都有两个共同特点, 脱离亲鸟生存以及不参与繁殖。过去有研究发现, 鸟类亚成体离开父母后会集群活动, 并形成与成鸟不同

的群体偏好 (Franks et al. 2020)。本研究从活动区内各类型生境和觅食微生境两个尺度上对黑颈鹤亚成体的生境选择进行了探究, 结果表明, 盐池湾种群黑颈鹤亚成体的生境选择与成体存在差异, 亚成体具有自己独特的选择偏好。

活动区内各类型生境选择中, 亚成体活动围绕河流, 选择率估计值和 95% 置信区间也显示, 河流是亚成体选择的生境, 而成体选择了湖泊, 未利用河流。在冬季和春季, 黑颈鹤主要取食莎草科植物的块茎 (李凤山 1999, 罗祖奎等 2013, 张立勋等 2014), 但到了夏季, 除

了植物的块茎黑颈鹤也摄取很多动物性食物 (Bishop 1996)。河流附近水源充足,除了有植物性食物同时还有水生无脊椎动物,食物更丰富,相比沼泽化草甸是更好的栖息生境。在繁殖季,沼泽内含水量和食物也比较丰富,是很多鹤类比如黑颈鹤(冉江洪等 1999)、白枕鹤(*Antigone vipio*) (邹红菲等 2005)和丹顶鹤(*G. japonensis*) (邹红菲等 2006)等主要选择的栖息生境。但在本研究中,黑颈鹤亚成体对沼泽是按比例利用的,即对沼泽的利用取决于沼泽生境的多少,因为除了食物因素,家牛(*Bos taurus*)和家马(*Equus caballus*)等牲畜以及流浪狗(*Canis lupus familiaris*)、沙狐(*Vulpes corsac*)和狼(*C. lupus*)等天敌的侵扰也是影响亚成体生存的因素(Wu et al. 2009, 窦亮等 2013),河流和沼泽都是亚成体可选择的觅食地,但河流可以作为天然屏障阻隔一些侵扰,对亚成体而言更有利,因此亚成体利用沼泽但不偏好它。黑颈鹤成体选择的湖泊也是亚成体可以利用的生境,但这些亚成体没有利用,这可能是由于湖泊资源的有限和成体的选择影响了亚成体利用,在繁殖期成体可能具有很强的领域性(Liu et al. 2020),成体占据了有限的湖泊生境,亚成体只能在其他非湖泊生境中选择最适宜其存活区域。在以往巢址生境选择的研究中,盐池湾黑颈鹤成体在筑巢时偏好水深且水域面积大的区域,而利用河流营巢的成鹤很少(Zhang et al. 2017)。本研究结果与之相似,成体偏好隐蔽条件好的湖泊,因为成体能够选择的生境和活动范围相对固定,选择湖泊这样的生境能减少人和牲畜的干扰,增加繁殖成功率。成体不偏好河流,可能的原因有两点,第一,河流稳定性差,水位变化剧烈,巢有被水淹没的风险,第二,河流周围开阔,后续不利于幼鹤躲藏,可能会增加幼鹤的死亡率进而降低成鸟的适合度。相比于成体,不参与繁殖的亚成体可以多处游走,选择繁殖成体未占据的、食物丰富但干扰性稍强、安全性稍低的地方活动和觅食,例如河流,亚成体选择河

流并不是集中在某一个位置,而是沿着河流在多处活动。

微生境选择中,亚成体选择植被盖度更高、主要植被为黑褐苔草、基质硬度为中和基质类型为泥炭的区域活动。黑褐苔草是黑颈鹤的食物,它们生长在基质硬度适中的地方,植被盖度体现了植物的数量丰富程度,更大的植被盖度意味着有更多的食物,相比于盐碱地,泥炭地含水量更高,植被盖度也更高。邝粉良等(2010)的研究显示,黑颈鹤成体偏好浅水泥炭地。据本研究结果,与成体相比,黑颈鹤亚成体选择的生境基质更硬,丛生苔草生长得更少,距道路距离更近,距房屋、河流、山脉和湖泊距离更远,造成这种差异的原因主要是成体进行繁殖需要安全性更高的区域。成体选择的微生境食物条件与亚成体相似,但成体选择的区域更靠近山脉和湖泊。党河湿地内山脚下的湖泊水较深且隐蔽,丛生苔草密布形成许多大小不一的高出水面几十厘米甚至一米的草墩,草墩与草墩之间的凹陷处有利于幼鹤躲藏。亚成体距道路距离更近,因为它们不参与繁殖,自身灵活性更强,所以即使某适宜生境斑块距道路距离较近,它们也仍然选择该斑块,但仅能说明目前湿地内道路的分布是亚成体能够容忍的,随着党河湿地内黑颈鹤种群数量不断增加,如果增修道路,可能会导致亚成体放弃某些现在选择的适宜生境,因此建议不再于湿地内增加道路的修筑。

亚成体的栖息地选择主要受到生境质量、生境资源的有限性以及成体选择的影响。食物丰富度、人为干扰和天敌侵扰程度以及隐蔽程度都会影响生境的适宜性即生境的质量,生境质量关系到亚成体的觅食情况以及亚成体的生存安全等(杨玲 2015, 李杰等 2017),因此亚成体选择生境质量较高的区域活动和觅食。环境中能够被物种利用的生境不是无限的,生境资源的有限性关系到亚成体是否全都能够选择到环境中更有利于它们的生境,最终影响到种群的生存(Bradter et al. 2005)。在生境资源有

限的前提下,成体先占据了某些适宜生境,进而影响亚成体对这些适宜生境的选择(Bock et al. 2013)。在这些因素的影响下,亚成体与成体发生生态位分离并在栖息地选择上产生了分化,这种分化对亚成体和成体的适合度都是有利的,可以避免亚成体与成体产生种内冲突和竞争,避免成体的繁殖受到干扰,最终避免成体适合度降低。在对黑颈鹤等存在亚成体阶段的物种进行研究和保护时,应当将亚成体与成体进行区分,同时考虑亚成体的选择和适合度,更有效更全面地研究和保护物种。

**致谢** 感谢甘肃盐池湾国家级自然保护区管护中心在本研究工作期间提供的支持和帮助,感谢保护区内保护站的全体护林员对我们的照顾和帮助。

## 参 考 文 献

- Alexander G, Michael M, Mamikon G, et al. 2012. Movements and habitat use by immature Cinereous Vultures (*Aegypius monachus*) from the Caucasus. *Bird Study*, 59(4): 449–462.
- BirdLife International. 2020. *Grus nigricollis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T22692162A180030167. [DB/OL]. [2021-11-04]. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T22692162A180030167.en>.
- Bishop M A. 1996. Black-necked Crane (*Grus nigricollis*) // Meine C D, Archibald G W. The Cranes: Status Survey and Conservation Action Plan. Gland, Switzerland: IUCN, 184.
- Block W M, Brennan L A. 1993. The habitat concept in ornithology theory and application // Dennis M. Power. *Current Ornithology*, Volume 11, Plenum Press, New York. 35–91.
- Bock A, Naef-Daenzer B, Keil H, et al. 2013. Roost site selection by Little Owls *Athene noctua* in relation to environmental conditions and life-history stages. *Ibis*, 155(4): 847–856.
- Bradter U, Gombobaatar S, Uuganbayar C, et al. 2005. Reproductive performance and nest-site selection of White-naped Cranes *Grus vipio* in the Ulz river valley, north-eastern Mongolia. *Bird Conservation International*. 15(4): 313–326.
- Calenge C. 2006. The package adehabitat for the R software: a tool for the analysis of space and habitat use by animals. *Ecological Modelling*, 197(3/4): 516–519.
- Calenge C. 2020. Package 'adehabitatHS': Analysis of Habitat Selection by Animals. R package version 0.3.15. [R/OL]. [2021-11-04] <https://cran.r-project.org/web/packages/adehabitatHS/adehabitatHS.pdf>.
- Crawford J A, Frost K J, Quakenbush L T, et al. 2019. Seasonal and diel differences in dive and haul-out behavior of adult and subadult ringed seals (*Pusa hispida*) in the Bering and Chukchi seas. *Polar Biology*, 42(1): 65–80.
- Dahle B, Støen O G, Swenson J E. 2006. Factors influencing home-range size in subadult brown bears. *Journal of Mammalogy*, 87(5): 859–865.
- Franks V R, Ewen J G, McCready M, et al. 2020. Foraging behaviour alters with social environment in a juvenile songbird. *Proceedings of the Royal Society B*, 287(1939): 20201878.
- Irby H D, Blankenship L H. 1966. Breeding behavior of immature Mourning Doves. *Journal of Wildlife Management*, 30(3): 598–604.
- Johnson D. 1980. The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology*, 61(1): 65–71.
- Liu W, Jin Y, Wu Y, et al. 2020. Home Range and Habitat Use of Breeding Black-Necked Cranes. *Animals*, 10(11): 1975.
- Manly B F, Mcdonald L L, Thomas D L, et al. 2002. Resource selection by animals: statistical design and analysis for field studies. *Journal of Animal Ecology*, 63(3): 351–351.
- Pearse A T, Metzger K L, Brandt D A, et al. 2020. Heterogeneity in migration strategies of Whooping Cranes. *The Condor*, 122(1): duz056.
- Raybuck D W, Larkin J L, Stoleson S H, et al. 2020. Radio-tracking reveals insight into survival and dynamic habitat selection of fledgling Cerulean Warblers. *The Condor*, 122(1): duz063.
- Steenhof K, Kochert M N, Doremus J H. 1983. Nesting of subadult Golden Eagles in Southwestern Idaho. *The Auk: Ornithological Advances*, 100(3): 743–747.
- Vignali S, Lörcher F, Hegglin D, et al. 2021. Modelling the habitat selection of the bearded vulture to predict areas of potential conflict with wind energy development in the Swiss Alps. *Global Ecology and Conservation*, 25: e01405.
- Wu H, Zha K, Zhang M, et al. 2009. Nest site selection by

- Black-necked Crane *Grus nigricollis* in the Ruergai Wetland, China. *Bird Conservation International*, 19(3): 277–286.
- Weldon K B, Fanson K V, Smith C L, et al. 2016. Effects of isolation on stress responses to novel stimuli in subadult chickens (*Gallus gallus*). *Ethology*, 122(10): 818–827.
- Wolfson D W, Fieberg J R, Andersen D E. 2019. Juvenile Sandhill Cranes exhibit wider ranging and more exploratory movements than adults during the breeding season. *Ibis*, 162(2): 556–562.
- Wang Z, Guo Y, Dou Z, et al. 2020. Autumn migration route and stopover sites of Black-necked Crane breeding in Yanchiwan Nature Reserve, China. *Waterbirds*, 43(1): 93–99.
- Wohner P J, Foss C R, Cooper R J. 2020. Rusty Blackbird habitat selection and survivorship during nesting and post-fledging. *Diversity*, 12(6): 221.
- Zhang L, An B, Shu M, et al. 2017. Nest-site selection, reproductive ecology and shifts within core-use areas of Black-necked Cranes at the northern limit of the Tibetan Plateau. *PeerJ*, 5: e2939.
- 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, 1–47.
- 窦亮, 李华, 李凤山, 等. 2013. 四川若尔盖湿地国家级自然保护区繁殖期黑颈鹤调查. *四川动物*, 32(5): 770–773.
- 邓书斌. 2014. ENVI 遥感图像处理方法. 北京: 高等教育出版社, 140–142.
- 蒋爱伍, 周放, 覃玥, 等. 2012. 中国大陆鸟类栖息地选择研究十年. *生态学报*, 32(18): 5918–5923.
- 邝粉良, 仓决卓玛, 李建川, 等. 2010. 藏北繁殖黑颈鹤的巢址特征及觅食地选择. *东北林业大学学报*, 38(11): 89–92.
- 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.
- 李杰, 胡金明, 罗怀秀, 等. 2017. 人类活动对纳帕海湿地黑颈鹤越冬生境的干扰强度与格局. *湿地科学*, 15(3): 343–350.
- 李伟, 周伟, 刘钊, 等. 2010. 云南大中山黑颈长尾雉栖息地选择周年变化. *动物学研究*, 31(5): 499–508.
- 刘迺发, 张惠昌, 窦志刚. 2010. 甘肃盐池湾国家级自然保护区综合科学考察. 兰州: 兰州大学出版社, 80–82.
- 罗祖奎, 李性苑, 张文华, 等. 2013. 莎草科植物植被恢复试验及其对黑颈鹤分布的影响. *凯里学院学报*, 31(6): 81–84.
- 冉江洪, 刘少英, 曾宗永, 等. 1999. 四川辖曼自然保护区黑颈鹤 (*Grus nigricollis*) 的数量及分布. *应用与环境生物学报*, 5(1): 41–45.
- 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地死亡的主要原因. *动物学杂志*, 56(2): 161–170.
- 杨玲. 2015. 湖泊湿地退化对越冬白头鹤 (*Grus monacha*) 觅食活动的影响. 安徽: 安徽大学硕士学位论文, 1–12.
- 张立勋, 舒美林, 安蓓, 等. 2014. 甘肃盐池湾国家级自然保护区黑颈鹤的种群数量与分布. *动物学研究*, 35(增刊 1): 117–123.
- 张明海, 李言阔. 2005. 动物生境选择研究中的时空尺度. *兽类学报*, 25(4): 85–91.
- 邹红菲, 吴庆明. 2006. 扎龙湿地丹顶鹤和白枕鹤求偶期觅食生境对比分析. *应用生态学报*, 17(3): 444–449.
- 邹红菲, 吴庆明, 牛茂刚. 2005. 扎龙湿地野生与散养白枕鹤繁殖前期觅食生境选择对比分析. *动物学杂志*, 40(4): 45–50.