

研究论文 ORIGINAL PAPERS

基于红外相机监测的
色达县赤狐适宜栖息地评价杨创明¹, 窦亮², 徐怀亮³, 肖启程¹, 王旭¹,
何兴成², 刘伟⁴, 廖静², 叶兵兵¹, 周华明⁵, 李静⁵

- (1. 四川民族学院, 康定 626000;
2. 四川大学生命科学学院, 生物资源与生态环境教育部重点实验室, 成都 610065;
3. 四川农业大学生命科学学院, 雅安 625014;
4. 西南民族大学畜牧兽医学院, 成都 610065;
5. 甘孜藏族自治州林业科学研究所, 康定 626000)

稿件运行过程

收稿日期: 2024-08-30

修回日期: 2024-11-12



关键词: 赤狐;

时空利用;

日活动节律;

栖息地;

管护

Keywords: Red fox (*Vulpes vulpes*);

Spatiotemporal utilization;

Daily activity rhythm;

Habitat;

Conservation

中图分类号: Q958.1

文献标志码: A

文章编号:

2310-1490(2025)-03-0491-10

DOI: 10.12375/ysdwx.20250303

摘要

赤狐(*Vulpes vulpes*)是国家二级重点保护野生动物,也是色达县棘球绦虫(*Echinococcus*)等恶性疾病的重要传播源,掌握该物种时空利用特征可促进其有效管护。2023年6月—2024年3月,利用红外相机监测四川省甘孜州色达县赤狐活动,并对其栖息地影响因子、适宜栖息地和日活动节律进行分析,结果显示:赤狐的日活动强度分布不均匀($\alpha > 0.042$),其在05:00、20:00和24:00出现活动峰值,在09:00—15:00活动较少,呈夜行性($\beta = 0.09$);年均降水量、土地覆盖类型、EVI变幅和最湿月降水量是影响当地赤狐栖息地利用的主要环境因子,赤狐偏好利用年均降水量和最湿月降水量较高、EVI变幅较小的栖息地,喜欢林地。赤狐的适宜栖息地面积约为1331 km²,主要分布在色达县东南侧;次适宜栖息地面积为3119 km²,主要分布在色达县的东侧和南侧;色达县年龙自然保护区内适宜栖息地面积仅有221 km²,次适宜栖息地面积仅有133 km²。研究表明,色达县赤狐栖息地较广,且大都分布在保护区外,除保护区外,人们应该同时关注保护区外赤狐更大的栖息地管护;赤狐白天活动较少,人类白天活动与其接触的机会不多,日常生活中人们可多关注赤狐粪便密接等其他问题,以减少疫病传播。

基金项目: 四川省自然科学基金面上项目(2023NSFSC0211)

第一作者简介: 杨创明(1987—),男,副教授;主要从事保护生物学和生态学研究。E-mail:379035257@qq.com

Assessment of Suitable Habitat for Red Fox Based on Infrared Camera-trapping Monitoring in Sertar County, China

YANG Chuangming¹, DOU Liang², XU Huailiang³, XIAO Qicheng¹, WANG Xu¹, HE Xingcheng², LIU Wei⁴, LIAO Jing², YE Bingbing¹, ZHOU Huaming⁵, LI Jing⁵

(1. Sichuan Minzu College, Kangding 626000, China;

2. Key Laboratory of Bio-resources and Eco-environment of Ministry of Education, College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

3. College of Life Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China;

4. College of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Southwest Minzu University, Chengdu 610065, China;

5. Institute of Forestry Science of Ganzi Xizang Autonomous Prefecture, Kangding 626000, China)

Abstract: The red fox (*Vulpes vulpes*) is a national second-level protected wild animals in China and a source of transmission of malignant diseases such as *Echinococcus* in Sertar County. Understanding the spatiotemporal utilization characteristics of the red fox is crucial for their effective management and conservation. This study analyzed the daily activity rhythms, factors influencing habitat, and suitable habitat of the red fox in Sertar County, based on infrared camera monitoring from June 2023 to March 2024. The results showed that the daily activity intensity of red foxes was uneven ($\alpha > 0.042$), with peaks occurring at 05:00, 20:00, and 24:00, and a trough between 09:00 and 15:00, indicating a nocturnal pattern ($\beta = 0.09$). Four variables, including average annual precipitation, land cover type, EVI variability, and precipitation in the wettest month, were the four primary environmental factors influencing the distribution of red foxes. The red foxes prefer habitats with higher average annual precipitation and wettest month precipitation, smaller EVI ranges, with a preference for forested areas. The suitable habitat area for red foxes in Sertar County is about 1 331 km², mainly distributed in the southeastern part of the county. The suboptimal habitat area is approximately 3 119 km², mainly located in the eastern and southern parts of Sertar County. Within the Nianlong Nature Reserve, there are only 221 km² of suitable habitat and 133 km² of suboptimal habitat for red foxes. The results indicate that the habitat distribution of red foxes in Sertar County is widespread, and most habitats of the red foxes are distributed outside the protected area. Conservation and management efforts should also focus on the larger habitats outside the protected areas. Red foxes are rarely active during the day, so more attention should be paid to the issues like close contact with fox feces in daily life to reduce the spread of diseases.

赤狐 (*Vulpes vulpes*) 又名红狐狸, 属食肉目 (Carnivora) 犬科 (Canidae) 狐属 (*Vulpes*), 广泛分布于整个欧亚大陆、北美大陆和非洲北部, 生活在森林、草地、沙漠、北极冻原和城市中心等多种生境中, 是国家二级重点保护野生动物^[1-4]。由于赤狐位于食物网的较高环节, 赤狐在生境中能够调节猎物群落结构, 并间接影响植被, 对维护生态系统结构与功能起到重要作用^[5-7], 人们十分重视赤狐及其栖息地保护, 同时, 作为棘球绦虫 (*Echinococcus*) 等多种疾病的重要传染

源, 科学管理并防止赤狐传播疾病也备受重视^[8-9]。

时空利用特征是种群生态学研究的重要内容, 了解物种的相关基础生物生态学规律, 有助于人们科学管护对应物种及其赖以生存的生态系统。其中, 栖息地是野生动物生存繁衍的场所^[10-11], 人们常用气候、地形和植被等因子分析影响物种栖息地利用的环境因子, 并评估它们的栖息地质量、分布范围和格局^[12-14], 而哺乳动物日活动节律在根源上受其生物钟调控, 并与种间关系等因素有关, 常常用于分

析物种的时间利用模式^[15-17]。然而,包括赤狐在内的很多物种的栖息地和日活动节律等时空利用特征在不同地区时常存在一定差异^[18-21],要充分认识其生物生态学规律并制定针对性保护策略,需基于不同区域的研究数据。

色达县是长江源水源涵养地,是川西北草原及生态屏障的重要组成部分^[22],也是赤狐等野生动物重要的家园。棘球绦虫等人兽共患疾病可通过赤狐粪便中的虫卵传播,长期威胁当地居民健康^[9]。然而,鲜有研究关注该县赤狐适宜栖息地分布和日活动节律等基础生物生态学问题,相关基础研究的匮乏不利于赤狐的科学管理,很难满足当地生态环境和疾控事业健康发展的需求。本研究拟采用非参数核密度函数分析赤狐的日活动节律,利用MaxEnt模型分析赤狐栖息地影响因子并评估其适宜栖息地分布,最终探讨赤狐栖息地与色达县保护地之间的位置关系等,以期对赤狐及其栖息地的科学管护提供数据支撑。

1 研究方法

1.1 研究区概况

色达县位于四川省甘孜藏族自治州西北部(31°40'—33°03' N, 98°21'—101°00' E),面积达9 338.98 km²,属川西北长江源区和国家重要的生态功能区^[23]。该县为高原丘陵区,全境地势由西北向东南倾斜,海拔大多超过4 000 m,受高海拔和季风气候等影响,冬季漫长,年均气温为-5℃,气候寒冷且四季差距不明显,日均温落差大,年平均降水量

651.4 mm,多集中在6—9月(96~149 mm),属青藏高原特别气候区^[24]。境内拥有森林、草地等重要生态系统,孕育了丰富的野生动物资源,拥有雪豹(*Panthera uncia*)、马麝(*Moschus chrysogaster*)和斑尾榛鸡(*Tetrastes sewerzowi*)等国家一级重点保护野生动物,赤狐(*Vulpes vulpes*)、豹猫(*Prionailurus bengalensis*)、猞猁(*Lynx lynx*)、狼(*Canis lupus*)、水鹿(*Rusa unicolor*)、毛冠鹿(*Elaphodus cephalophus*)、马鹿(*Cervus canadensis*)和中华鬣羚(*Capricornis milneedwardsii*)等国家二级重点保护野生动物^[25],珍稀濒危物种多,生态保护备受关注。此外,研究区域地广人稀,境内常住人口约6.44万人,人口密度不足7人/km²,地区经济产业结构单一,以畜牧业和旅游业为主,除了广泛的放牧活动和局部地区开展旅游活动外,人们还开展挖药、采菌等生产活动^[26-27]。

1.2 相机布设

2023年6月—2024年3月,按10 km × 10 km的公里网格,在色达县林地、高山灌丛草甸和高山流石滩等生境(海拔3 222~4 893 m),通过4个批次,在23个网格中布设63台次红外相机监测赤狐活动(图1),每批次安放相机时间为2个月。相机安放根据赤狐活动痕迹和地形等情况确定,尽可能将其安放在预定路线中赤狐活动痕迹附近,且相对狭窄的兽径上,安装高度50~60 cm,相机角度避开正东和正西方向,防止日出日落时分光线直射造成误拍。相机统一设置为“拍照+摄像”模式,即连续拍摄3张照片后录制10 s视频。

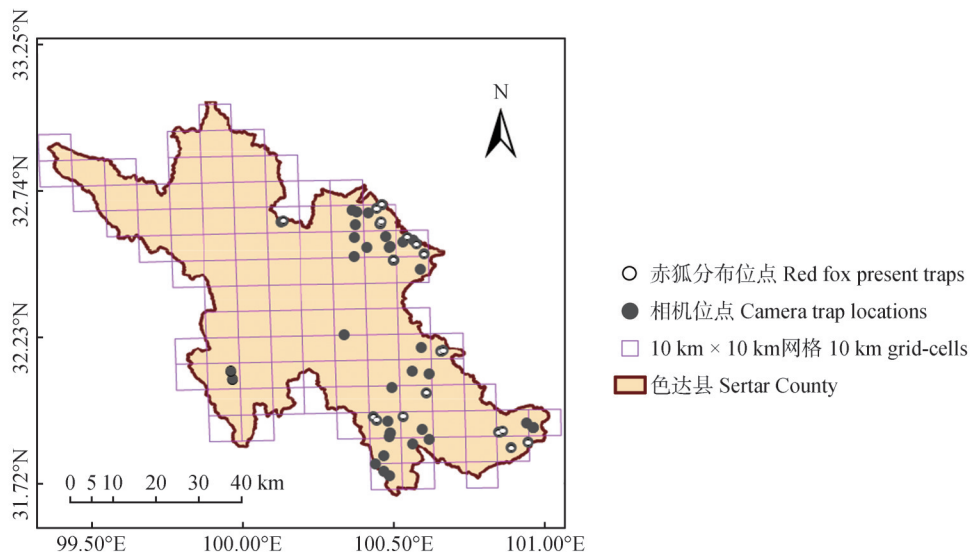


图1 色达县红外相机及赤狐分布位点

Figure 1 Distribution map of infrared camera sites and red fox habitats in Sertar County

1.3 日活动节律分析方法

基于红外相机拍摄的独立照片数,利用非参数核密度函数^[28]建立赤狐的日活动节律模型,利用日活动差异指数(α)分析一天中赤狐活动时间分配是否均匀,利用昼行性指数(β)分析赤狐活动主要在白天还是夜晚^[29]。为避免重复记录,把同一台相机30 min内拍摄到同一物种的照片或视频记为1张独立照片^[30]。

非参数核密度函数($\hat{f}(x; v)$)、 α 和 β 的计算公式分别为

$$\hat{f}(x; v) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i[d(x, x_i)],$$

$$\alpha = \sum_{i=1}^n (P_i/N)^2,$$

$$\beta = \sum_{i=7}^{19} (P_i/N).$$

式中: K_i 为 von Mises 分布概率密度函数, $d(x, x_i)$ 为任意一点 x 与样本量 i 之间的角度距离^[28], P_i 为 i 时刻拍摄到的独立照片数, N 为独立照片总数。将 $\alpha = 0.042$ 定义为物种日活动时间分配完全均匀, α 值越大,说明一天中该物种的活动时间分配越不均匀^[29]。 $\beta > 13/24$ 表示赤狐以白天活动为主, $\beta < 13/24$ 表示赤狐以夜间活动为主, $\beta = 13/24$ (约为0.54)表明昼夜活动强度无差别^[29]。

数据处理与分析主要采用R 3.4.3,其中,活动节律分析使用R中的overlap包完成。

1.4 栖息地影响因子及适宜栖息地分布预测方法

基于赤狐分布位点,结合气候、地形和土地覆盖类型等数据,利用MaxEnt模型分析赤狐的栖息地影响因子并预测其适宜栖息地分布^[31]。

1.4.1 赤狐分布位点数据处理

为减少取样偏差对MaxEnt模型运算结果的影响,在分析数据时,按1 km × 1 km的公里网格剔除赤狐的冗余分布位点^[32],即每个1 km × 1 km的公里网格中仅保留1个分布位点用于后续数据分析。

1.4.2 环境变量数据来源及处理

研究初选4类27个环境变量:(1)生物学变量,包括年平均增强型植被指数(enhanced vegetation index, EVI)、年最大EVI和EVI变幅3个变量,EVI来源于美国宇航局土地卫星装载的中分辨率成像光谱仪MOD13Q1数据(<https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/index.php>),利用MRT 4.0、ArcGIS 10.2.2等工具处理获得;(2)生物气候变量,气候数据均为

1970—2000年的均值,共19个(Bio1 ~ Bio19),下载自WorldClim 2.1(<http://www.worldclim.org>);(3)地形变量,包括海拔、坡度、坡向和崎岖度4个变量,坡向、坡度和崎岖度均由DEM高程数据计算并转换得到,其中,坡向和坡度利用ArcMap 10.2.2中的表面分析模块计算得到,崎岖度利用ArcMap中的矢量崎岖度测量插件计算得到^[33];(4)土地覆盖类型,来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云Landsat 8卫星数字产品(<http://www.gscloud.cn/>),利用ERDAS 9.2进行非监督分类得到(解译总精度 > 90%)。

按相关系数 $|r| > 0.7$ 的原则剔除上述27个初选环境变量中共线性特别高的变量后,最终保留年均降水量、土地覆盖类型、EVI变幅、最湿月降水量、气温日较差、海拔、年最大EVI、坡向、年温度变化范围、崎岖度、年平均EVI、到河流距离、最冷月最低温和坡度,共计14个对MaxEnt模型运行结果贡献率较高或影响更为直接的环境变量用于开展赤狐栖息地影响因子和适宜栖息地分析^[33-34]。

1.4.3 模型设置及运算

将赤狐分布位点和选好的环境变量导入MaxEnt模型,设置模型参数,使模型随机选取75%的数据作为训练样本,其余25%数据作为检验样本,然后,利用受试者工作特征(ROC)曲线分析运行结果的可靠性,采用模型重复运算20次的平均值作为栖息地影响因子及适宜栖息地评估的分析结果^[33]。

在分析赤狐栖息地分布时,采用“maximum training sensitivity plus specificity logistic threshold”值和“balance training omission, predicted area and threshold value Logistic threshold”值作为节点,根据MaxEnt输出栅格图层中栖息地适宜度指数(habitat stability index, HSI)的大小将研究区域分为适宜栖息地、次适宜栖息地和非适宜栖息地3类^[31]。

2 结果

2.1 赤狐的日活动节律

共计拍摄到59张独立照片用以分析赤狐的活动节律,结果显示:赤狐的日活动差异指数为0.102,昼行性指数为0.09,说明赤狐日活动强度分布不均匀($\alpha > 0.042$),以夜间活动为主($\beta < 0.54$),赤狐活动强度在05:00、20:00和24:00出现峰值,在09:00—15:00出现谷值(图2)。

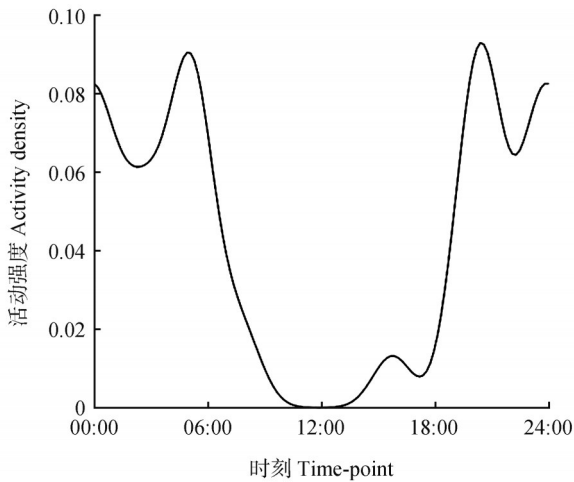


图2 色达县赤狐日活动节律

Figure 2 Diurnal activity rhythm of red fox in Sertar County

2.2 栖息地影响因子分析

共记录到21个赤狐分布位点,按照1 km × 1 km 网格剔除后,有19个位点用于MaxEnt模型分析(图1)。结果显示:受试者工作特征(ROC)曲线的AUC为0.918(图3),说明MaxEnt模型分析和预测结果好。

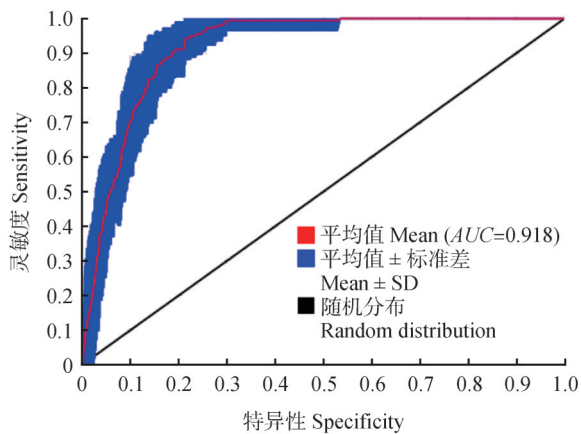


图3 MaxEnt模型预测结果的ROC曲线

Figure 3 ROC curve of predict results of MaxEnt model

各气候、环境变量对MaxEnt模型的贡献率从大到小依次为年均降水量、土地覆盖类型、EVI变幅、最湿月降水量、气温日较差、海拔、年最大EVI、坡向、年温度变化范围、崎岖度、年平均EVI和到河流距离。其中,年均降水量、土地覆盖类型、EVI变幅和最湿月降水量对模型的累计贡献率达85.2%,单个变量的贡献率≥18.5%,是赤狐栖息地利用的主要影响因子;气温日较差、海拔、年最大EVI和坡向4个变量对模型的贡献率为1.3~7.4,对赤狐栖息

地的利用也有较大影响(表1)。赤狐喜欢利用年均降水量、最湿月降水量较高,EVI变幅、气温日较差较小的栖息地,偏好使用林地。在年均降水量、最湿月降水量分别高于720 mm和140 mm,EVI变幅、气温日较差分别低于0.3 °C和13.5 °C时,赤狐的出现概率较大(图4)。

表1 MaxEnt模型中环境因子的贡献率和置换重要性

Table 1 Contribution rate and permutation importance of environmental variables in MaxEnt model

| 变量 Variables | 贡献率 Contribution rate | 置换重要性 Permutation importance |
|--|--------------------------|---------------------------------|
| 年均降水量 Average annual precipitation | 24.5 | 19.4 |
| 土地覆盖类型 Land cover type | 22.1 | 9.0 |
| EVI变幅 EVI range | 20.1 | 21.8 |
| 最湿月降水量 Precipitation of wettest month | 18.5 | 20.9 |
| 气温日较差 Daily range of temperature | 7.4 | 16.2 |
| 海拔 Elevation | 1.8 | 3.9 |
| 年最大EVI Annual maximum EVI | 1.7 | 1.5 |
| 坡向 Aspect | 1.3 | 1.6 |
| 年温度变化范围 Temperature annual range | 0.9 | 3.5 |
| 崎岖度 Roughness | 0.7 | 0 |
| 年平均EVI Annual mean EVI | 0.6 | 0.4 |
| 到河流距离 Distance to nearest river | 0.2 | 0.1 |

2.3 适宜栖息地分布预测

赤狐的适宜栖息地面积约为1 331 km²,主要分布在色达县东南侧,次适宜栖息地面积为3 119 km²,主要分布在色达县的东侧和南侧(表2,图5)。其中,年龙自然保护区内赤狐的适宜栖息地面积为221 km²,次适宜栖息地面积为133 km²,分别占整个色达县赤狐适宜栖息地和次适宜栖息地面积的16.60%和4.26%,四川泥拉坝自然保护区仅有次适宜栖息地4 km²。

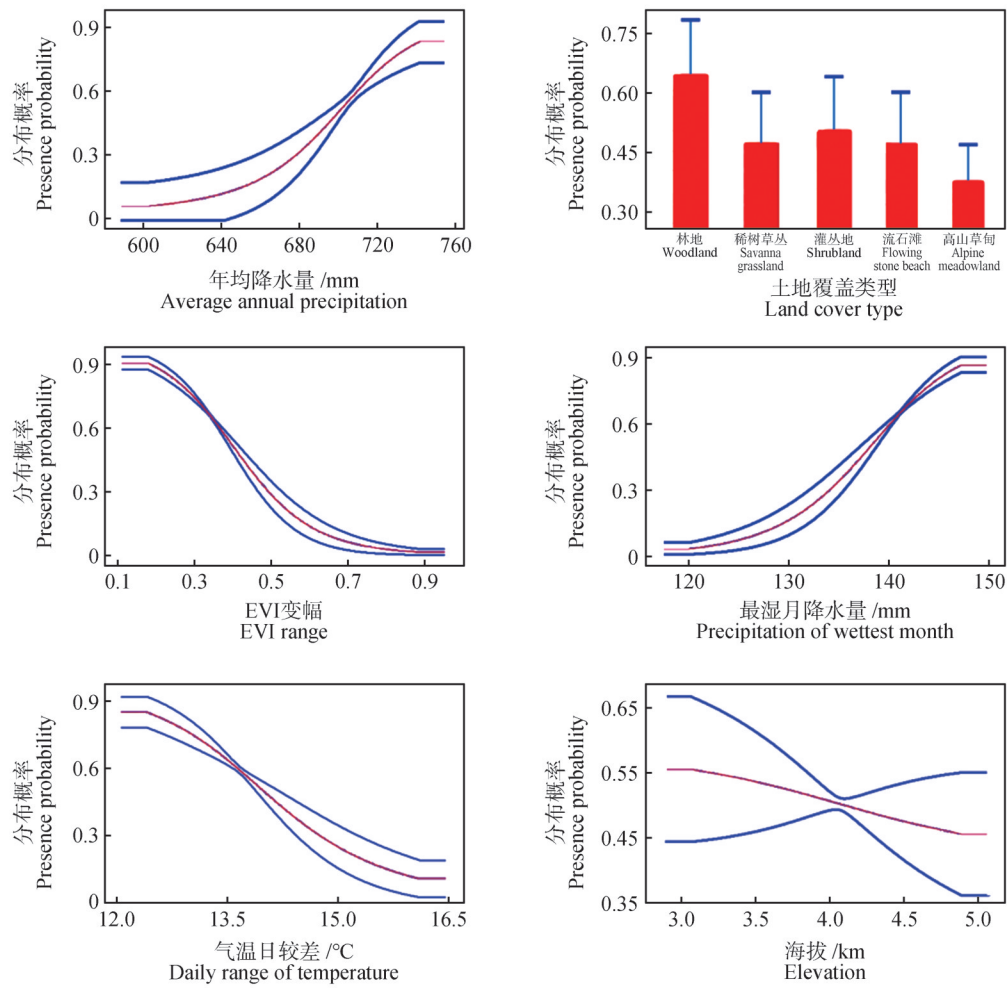


图4 赤狐分布概率对环境因子的响应曲线

Figure 4 Response curves of red fox's presence probability to environmental variables

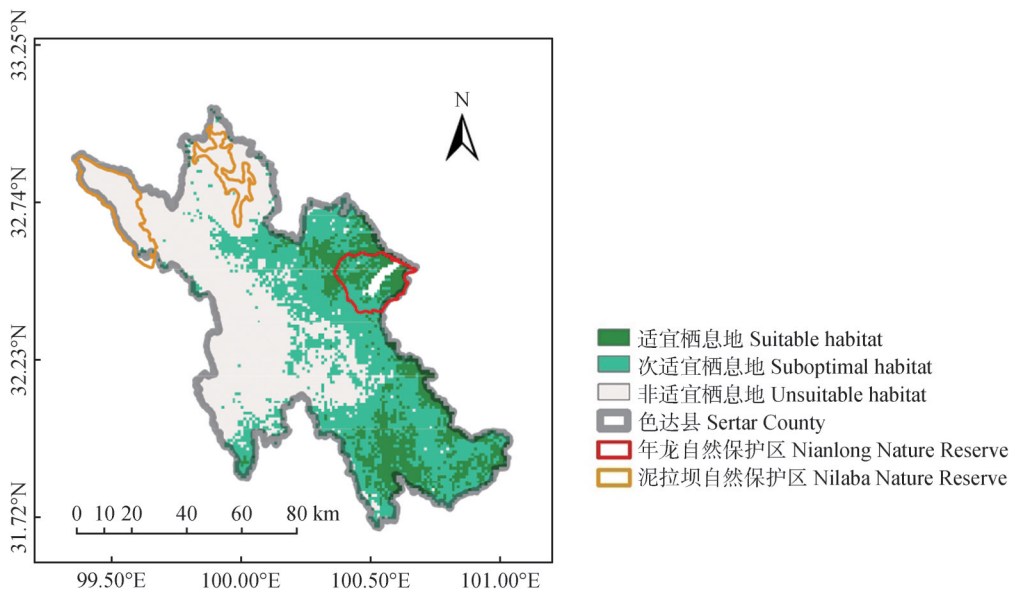


图5 色达县赤狐适宜栖息地分布示意图

Figure 5 Suitable habitat distribution map of red fox in Sertar County

表2 赤狐栖息地面积
Table 2 The habitat area of red fox

km²

| 栖息地类型 Habitat types | 保护区内 Inside the reserve | | 保护区外 Outside the reserve | 合计 Total |
|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------|
| | 年龙自然保护区 Nianlong Nature Reserve | 泥拉坝自然保护区 Nilaba Nature Reserve | | |
| | 适宜栖息地 Suitable habitat | 221 | 0 | 1 110 |
| 次适宜栖息地 Suboptimal habitat | 133 | 4 | 2 982 | 3 119 |
| 合计 Total | 354 | 4 | 4 092 | 4 450 |

3 讨论

年均降水量、土地覆盖类型、EVI变幅和最湿月降水量是影响色达县赤狐栖息地利用的主要环境因子。这一结果与丁彦珂^[35]在贺兰山的研究结果相似,土地覆盖类型、年降水量同样对贺兰山地区赤狐栖息地利用影响最大。土地覆盖类型在卧龙自然保护区、挪威海德马克等多地的研究中对赤狐栖息地利用影响也较大^[36-37]。土地覆盖类型和降水等气候条件可能主要通过环境的隐蔽性和食物资源分布等影响赤狐的栖息地利用。尽管赤狐适应环境能力强,能够在森林、草地、沙漠、冻原和城市中心等多类生境中生存繁衍^[1-3],但赤狐喜欢利用隐蔽性高的栖息地^[35,38],同时,一项来自北非的研究发现食物资源的分布影响着赤狐对不同土地覆盖类型的利用情况^[39]。赤狐食性较广,食物组成变化大,它们常捕食小型啮齿动物、兔形目(Lagomorpha)动物和无脊椎动物,甚至利用植物和其他食肉动物捕食剩下的腐肉等,而降水量和土地覆盖类型能够通过环境耐受性和植物生长等影响这些潜在猎物的数量和分布,最终影响赤狐的栖息地利用^[39-41]。色达县降水集中,大多数月份降水极少,作为半湿润半干旱地区,年降水量和最湿月降水量高的地区可能更有利于初级生产者及不少动物生存^[41],同时,林地分布海拔较低,气温、初级生产力和隐蔽性较高,可能造就了丰富的猎物资源和较为安全的生存环境^[42-43],并因此促成了当地赤狐偏好林地及降水较高的栖息地。此外,EVI变幅较小地区地上植被生物量变化小^[44],可能为赤狐提供较为稳定的生存环境,成为赤狐偏好的栖息地。

赤狐栖息地主要分布在色达县的东部和南部,

面积达4 450 km²,占色达县面积(9 338.98 km²)的47.65%,说明色达县赤狐分布范围较广。广阔连片的赤狐栖息地(尤其是1 331 km²的高质量适宜栖息地)与人类采菌、放牧等活动区域高度重叠。然而,赤狐是疥螨(*Sarcoptes scabiei*)、圆线虫(Strongylida)、吸虫(Trematoda)和棘球绦虫等疾病的宿主和传染源^[45-47],特别是棘球蚴病(Echinococcosis)是致死性的人兽共患寄生虫病,治愈难度极大,有“虫癌”之称。付梅花^[9]的研究发现,狐粪是色达县棘球绦虫的主要传染源,狐粪中棘球绦虫卵的检出率高达25.95%,因此,赤狐在色达县东部和南部广阔栖息地内的管理应该受到足够重视。由于当地赤狐呈夜行性,与人类直接接触的机会并不多,人们应该更多关注、避免在其栖息地内接触狐粪,并加强对棘球绦虫卵可能污染的水源特别是饮用水资源的科学管理,从而阻断其对家畜甚至人类的负面影响。

此外,由于赤狐对高原鼠兔(*Ochotona curzoniae*)等草原啮齿类动物有着抑制作用,一些学者也在探讨利用野生赤狐开展生物防控,从而防治草地退化甚至荒漠化^[48-49],赤狐对生态系统健康发展的积极作用不容忽视,特别是色达县草地退化甚至荒漠化十分严重,人们应该更加深入地研究如何在管控好赤狐传播棘球绦虫等疫病的同时,保护好赤狐种群及其栖息地。由于色达县赤狐的适宜栖息地和次适宜栖息地均主要分布在保护区外,保护区外赤狐及其栖息地的保护也应该得到充分关注。

参考文献:

- [1] 孙兆惠. 贺兰山赤狐对酸枣种子传播的影响机制研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2014.
SUN Z H. Dispersal mechanism on of *Ziziphus acidujuba* by *Vulpes vulpes* in the Helan Mountains[D]. Harbin: Northeast For-

- estry University, 2014.
- [2] SMITH A, 解焱. 中国兽类野外手册[M]. GEMMA F, 绘. 长沙: 湖南教育出版社, 2009: 411.
- SMITH A, XIE Y. A guide to the mammals of China [M]. GEMMA F, illus. Changsha: Hunan Education Publishing House, 2009: 411.
- [3] PANEK M, BRESIŃSKI W. Red fox *Vulpes vulpes* density and habitat use in a rural area of western Poland in the end of 1990s, compared with the turn of 1970s[J]. Acta Theriologica, 2002, 47(4): 433-442.
- [4] 国家重点保护野生动物名录(2021年2月1日修订)[J]. 野生动物学报, 2021, 42(2): 605-640.
- List of national key protected wildlife in China (revised on February 1, 2021) [J]. Chinese Journal of Wildlife, 2021, 42(2): 605-640.
- [5] RITCHIE E G, ELMHAGEN B, GLEN A S, *et al.* Ecosystem restoration with teeth: What role for predators?[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2012, 27(5): 265-271.
- [6] RIPPLE W J, ESTES J A, BESCHTA R L, *et al.* Status and ecological effects of the world's largest carnivores [J]. Science, 2014, 343(6167): 1241484.
- [7] O'MALLEY C, ELBROCH L M, LENDRUM P E, *et al.* Motion-triggered video cameras reveal spatial and temporal patterns of red fox foraging on carrion provided by mountain lions [J]. PeerJ, 2018, 6: e5324.
- [8] CRAIG P S, GIRAUDOUX P, WANG Z H, *et al.* Echinococcosis transmission on the Tibetan Plateau[J]. Advances in Parasitology, 2019, 104: 165-246.
- [9] 付梅花. 四川省甘孜州棘球绦虫终末宿主粪便污染及风险因素研究[D]. 上海: 中国疾病预防控制中心, 2021.
- FU M H. Study on fecal contamination of *Echinococcus* definitive hosts and risk factors in Ganzi Tibetan Autonomous Prefecture of Sichuan Province[D]. Shanghai: Chinese Center for Disease Control and Prevention, 2021.
- [10] 黄超. 基于模糊综合评价法的雪豹栖息地适宜性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019.
- HUANG C. Study on suitability of snow leopard habitat based on fuzzy comprehensive evaluation[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2019.
- [11] 田新民, 汲旭阳, 王鑫雪, 等. 北极村国家级自然保护区狍栖息地适宜性及活动节律[J]. 生态学报, 2024, 44(18): 8175-8184.
- TIAN X M, JI X Y, WANG X X, *et al.* Habitat suitability and activity patterns of roe deer in Beijicun National Nature Reserve, Heilongjiang Province, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(18): 8175-8184.
- [12] 刘炎林, 王一丹, 李祎斌, 等. 祁连山豹的分布现状及适宜栖息地预测[J]. 兽类学报, 2024, 44(6): 749-761.
- LIU Y L, WANG Y D, LI Y B, *et al.* The current distribution and prediction of suitable habitat of dhole (*Cuon alpinus*) in Qilian Mountains, China[J]. Acta Theriologica Sinica, 2024, 44(6): 749-761.
- [13] 高文明, 宋芊, 张皓翔, 等. 基于生态系统服务功能和保护动物栖息地适宜性评价的优先保护区选取: 以三江源地区为例[J]. 生态环境学报, 2024, 33(8): 1318-1328.
- GAO W M, SONG Q, ZHANG H X, *et al.* Selection of priority conservation areas based on ecosystem service functions and wildlife habitat suitability evaluation: a case study in the Sanjiangyuan Region [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2024, 33(8): 1318-1328.
- [14] 朱耿平, 刘国卿, 卜文俊, 等. 生态位模型的基本原理及其在生物多样性保护中的应用[J]. 生物多样性, 2013, 21(1): 90-98.
- ZHU G P, LIU G Q, BU W J, *et al.* Ecological niche modeling and its applications in biodiversity conservation [J]. Biodiversity Science, 2013, 21(1): 90-98.
- [15] DÍAZ-RUIZ F, CARO J, DELIBES-MATEOS M, *et al.* Drivers of red fox (*Vulpes vulpes*) daily activity: prey availability, human disturbance or habitat structure?[J]. Journal of Zoology, 2016, 298(2): 128-138.
- [16] 卢佳玉, 石小亿, 多立安, 等. 基于红外相机技术的天津市地栖哺乳动物昼夜活动节律评价[J]. 生物多样性, 2024, 32(8): 23369.
- LU J Y, SHI X Y, DUO L A, *et al.* Circadian rhythms of urban terrestrial mammals in Tianjin based on camera trapping method [J]. Biodiversity Science, 2024, 32(8): 23369.
- [17] 刘宇, 缪华, 蒋桂莲, 等. 云南古林箐省级自然保护区四种哺乳动物日活动节律及活动模式分析[J]. 野生动物学报, 2019, 40(4): 832-839.
- LIU Y, MIAO H, JIANG G L, *et al.* Analyses of daily activity rhythm and activity pattern of four species of mammals in Gulinqing Provincial Nature Reserve, Yunnan [J]. Chinese Journal of Wildlife, 2019, 40(4): 832-839.
- [18] 陈俊达. 贺兰山地区赤狐与流浪狗的活动节律与食性比较[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2023.
- CHEN J D. Comparison of activity rhythm and feeding habits of red foxes and feral dogs in Helan Mountain area [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2023.
- [19] 李路云, 王海东, 张海, 等. 赤狐生境选择研究进展[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(11): 3289-3292; 3295.
- LI L Y, WANG H D, ZHANG H, *et al.* Research progress of habitat selection by red fox (*Vulpes vulpes*) [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(11): 3289-3292; 3295.
- [20] TILLMANN U, SOEHNER S, NÉZAN E, *et al.* First record of the genus *Azadinium* (Dinophyceae) from the Shetland Islands, including the description of *Azadinium polongum* sp. nov [J]. Harmful Algae, 2012, 20: 142-155.
- [21] KROCK B, TILLMANN U, VOß D, *et al.* New azaspiracids in

- Amphidomataceae (Dinophyceae)[J]. *Toxicon*, 2012, 60(5): 830-839.
- [22] 张洪轩, 张鹏, 马勇, 等. 色达县人工草地建植潜力评估[J]. *草学*, 2024(3): 63-67.
ZHANG H X, ZHANG P, MA Y, *et al.* Assessment on the potentiality of artificial grassland construction in Seda County[J]. *Journal of Grassland and Forage Science*, 2024(3): 63-67.
- [23] 色达县人民政府. 色达县概况[EB/OL]. [2024-06-24]. http://www.gzsdxrmzf.gov.cn/seda/c103059/202111/374db049_b0d844ceaac0f3ea8383f871.shtml.
Sertar County People's Government. Overview of Sertar County [EB/OL]. [2024-06-24]. <http://www.gzsdxrmzf.gov.cn/seda/c103059/202111/374db049b0d844ceaac0f3ea8383f871.shtml>.
- [24] 李雨薇. 高原丘陵区林木种质资源分布特征及环境解释: 以色达县为例[D]. 成都: 成都理工大学, 2020.
LI Y W. Distribution characteristics and environmental interpretation of forest germplasm resources in plateau hilly region: taking Seda County as an example[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2020.
- [25] 张如梅, 陈星, 刘明星, 等. 甘孜州色达县年龙自然保护区鸟兽多样性红外相机监测初报[J]. *西南民族大学学报(自然科学版)*, 2022, 48(4): 362-368.
ZHANG R M, CHEN X, LIU M X, *et al.* Preliminary report of camera trapping survey for mammals and birds diversity of Nianlong Nature Reserve in Sertar County, Sichuan Province [J]. *Journal of Southwest Minzu University (Natural Science Edition)*, 2022, 48(4): 362-368.
- [26] 杨程. 藏区农村女性参与生态扶贫的能力建设研究: 基于四川藏区四县的调查[D]. 成都: 四川省社会科学院, 2019.
YANG C. Research on the capacity building of rural women's participation in ecological poverty alleviation in Tibetan area-based on the survey of four counties in Sichuan Tibetan Area [D]. Chengdu: Sichuan Academy of Social Sciences, 2019.
- [27] 色达县统计局. 色达县2022年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2023-11-24) [2024-07-11]. <https://tjgb.hongheiku.com/xjtjgb/xj2020/45085.html>.
Seda County Bureau of Statistics. Statistical bulletin on national economic and social development of Sertar County in 2022 [EB/OL]. (2023-11-24) [2024-07-11]. <https://tjgb.hongheiku.com/xjtjgb/xj2020/45085.html>.
- [28] RIDOUT M S, LINKIE M. Estimating overlap of daily activity patterns from camera trap data[J]. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 2009, 14(3): 322-337.
- [29] 王渊, 李晟, 刘务林, 等. 西藏雅鲁藏布大峡谷国家级自然保护区金猫的色型类别与活动节律[J]. *生物多样性*, 2019, 27(6): 638-647.
WANG Y, LI S, LIU W L, *et al.* Coat pattern variation and activity rhythm of Asiatic golden cat (*Catopuma temminckii*) in Yarlung Zangbo Grand Canyon National Nature Reserve of Tibet, China [J]. *Biodiversity Science*, 2019, 27(6): 638-647.
- [30] 王丞, 李海波, 杨朝辉, 等. 梵净山东北部同域黔金丝猴与藏酋猴的时空分布格局[J]. *林业科学*, 2022, 58(3): 117-128.
WANG C, LI H B, YANG Z H, *et al.* Temporal and spatial distribution patterns of *Rhinopithecus brelichi* and *Macaca thibetana* in the same region of the northeast Fanjingshan [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2022, 58(3): 117-128.
- [31] 靳勇超. 长白山老爷岭南部东北虎栖息地、优先区域和生态廊道研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2023.
JIN Y C. Habitat assessment, priority areas and ecological corridors identification of Amur tiger in the southern Laoyeling of Changbai Mountain [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2023.
- [32] 肖凌云, 程琛, 万华伟, 等. 三江源地区雪豹保护优先区规划[J]. *生物多样性*, 2019, 27(9): 943-950.
XIAO L Y, CHENG C, WAN H W, *et al.* Defining conservation priority areas of snow leopard habitat in the Sanjiangyuan region [J]. *Biodiversity Science*, 2019, 27(9): 943-950.
- [33] 杨创明. 四川贡嘎山地区的雪豹分布及其与同域动物和放牧活动的关系研究[D]. 成都: 四川大学, 2020.
YANG C M. A study on the distribution of snow leopard (*Panthera uncia*) and the relationships with its sympatric species and livestock activities in the Gongga Mountain [D]. Chengdu: Sichuan University, 2020.
- [34] WARREN D L, SEIFERT S N. Ecological niche modeling in maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria [J]. *Ecological Applications*, 2011, 21(2): 335-342.
- [35] 丁彦珂. 贺兰山地区赤狐(*Vulpes vulpes*)与流浪狗(*Canis familiaris*)生境选择及生境适宜性比较研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2023.
DING Y K. A study on comparing the habitat selection and habitat suitability assessment of red fox (*Vulpes vulpes*) and stray dog (*Canis familiaris*) in Helan Mountains [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2023.
- [36] 施小刚, 史晓昀, 胡强, 等. 四川邛崃山脉雪豹与赤狐时空生态位关系[J]. *兽类学报*, 2021, 41(2): 115-127.
SHI X G, SHI X Y, HU Q, *et al.* Spatiotemporal relationships between snow leopard (*Panthera uncia*) and red fox (*Vulpes vulpes*) in Qionglai Mountains, Sichuan Province [J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2021, 41(2): 115-127.
- [37] JAHREN T, ODDEN M, LINNELL J D C, *et al.* The impact of human land use and landscape productivity on population dynamics of red fox in southeastern Norway [J]. *Mammal Research*, 2020, 65(3): 503-516.
- [38] 朱倩, 李路云, 刘振生, 等. 黑龙江三江国家级自然保护区赤狐的生境选择[J]. *野生动物学报*, 2021, 42(1): 215-227.
ZHU Q, LI L Y, LIU Z S, *et al.* Habitat selection of red fox

- (*Vulpes vulpes*) in Heilongjiang Sanjiang National Nature Reserve [J]. Chinese Journal of Wildlife, 2021, 42(1): 215–227.
- [39] DELL'ARTE G L, LEONARDI G. Effects of habitat composition on the use of resources by the red fox in a semi arid environment of North Africa [J]. Acta Oecologica, 2005, 28(2): 77–85.
- [40] FULLER A, MITCHELL D, MALONEY S K, *et al.* Towards a mechanistic understanding of the responses of large terrestrial mammals to heat and aridity associated with climate change [J]. Climate Change Responses, 2016, 3(1): 10.
- [41] 王志鹏, 张宪洲, 何永涛, 等. 降水变化对藏北高寒草原化草甸降水利用效率及地上生产力的影响 [J]. 应用生态学报, 2018, 29(6): 1822–1828.
- WANG Z P, ZHANG X Z, HE Y T, *et al.* Effects of precipitation changes on the precipitation use efficiency and aboveground productivity of alpine steppe-meadow on northern Tibetan Plateau, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(6): 1822–1828.
- [42] OKSANEN L, FRETWELL S D, ARRUDA J, *et al.* Exploitation ecosystems in gradients of primary productivity [J]. The American Naturalist, 1981, 118(2): 240–261.
- [43] OKSANEN L, OKSANEN T. The logic and realism of the hypothesis of exploitation ecosystems [J]. The American Naturalist, 2000, 155(6): 703–723.
- [44] 张忠雪, 冯琦胜, 王瑞涇, 等. MODIS和VIIRS植被指数产品在估算甘南草地生物量的适用性 [J]. 草业科学, 2023, 40(9): 2199–2212.
- ZHANG Z X, FENG Q S, WANG R J, *et al.* Applicability of MODIS and VIIRS vegetation index products in estimating grassland biomass in Gannan [J]. Pratacultural Science, 2023, 40(9): 2199–2212.
- [45] 杨琦. 贵阳森林野生动物园野生动物寄生虫感染情况调查 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2019.
- YANG Q. Investigation on parasite infection of wild animals in Guiyang Forest Wildlife Park [D]. Guiyang: Guizhou University, 2019.
- [46] 翁晓东. 青藏高原东部牧区犬科动物在棘球蚴病传播中的作用研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2020.
- WENG X D. Role of canids in transmission of *Echinococcus* spp. on the eastern Tibetan Plateau, China [D]. Shanghai: East China Normal University, 2020.
- [47] 李春燕, 杨光友. 野生哺乳动物的疥螨病 [J]. 四川动物, 2017, 36(1): 104–113.
- LI C Y, YANG G Y. The sarcoptidosis of wild mammals [J]. Sichuan Journal of Zoology, 2017, 36(1): 104–113.
- [48] 魏万红, 曹伊凡, 张堰铭, 等. 赤狐气味对高原鼠兔繁殖的影响 [J]. 兽类学报, 2004, 24(2): 145–151.
- WEI W H, CAO Y F, ZHANG Y M, *et al.* The influence of red fox's odor on the reproduction of the plateau pika [J]. Acta Theriologica Sinica, 2004, 24(2): 145–151.
- [49] 明海军, 龙小健, 杨淑娟, 等. 野生赤狐用于高寒草原鼠害治理的研究 [J]. 中国动物保健, 2024, 26(3): 127–128.
- MING H J, LONG X J, YANG S J, *et al.* Study on the wild red fox used in the management of rat damage in alpine grassland [J]. China Animal Health, 2024, 26(3): 127–128.