

DOI: 10.5846/stxb202002140256

魏子谦, 徐增让. 羌塘高原藏羚羊栖息地分布及影响因素. 生态学报, 2020, 40(23): 8763-8772.

Wei Z Q, Xu Z R. Habitat distribution of Tibetan antelope in the Chang Tang plateau and influential factors. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(23): 8763-8772.

羌塘高原藏羚羊栖息地分布及影响因素

魏子谦^{1,2}, 徐增让^{1,*}

1 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

2 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 藏羚羊作为羌塘高原草食性野生动物的典型代表, 明确其栖息地的准确分布将有利于识别藏羚羊种群保护关键区域, 协调羌塘高原人与野生动物冲突。采用野外调查与物种分布模型相结合的办法, 以藏羚羊栖息地选择偏好和迁徙规律为基础, 利用 Maxent 模型模拟其在繁殖季节和非繁殖季节的栖息地分布, 并通过栖息地质量模型辅以 GIS 空间分析方法, 识别受人类干扰的栖息地范围。结果表明: 藏羚羊在非繁殖季节主要分布在羌塘高原东南部, 围绕在色林错等水系周围, 其越冬区面积约为 26 万 km²。倾向选择海拔 4800m 以上、气候温暖、靠近水源且食物资源丰富的区域。藏羚羊在繁殖季节栖息地明显呈现由南向北扩散的趋势, 多在水系周围呈小片状分布于羌塘东北、中北、昆仑山南麓部分区域, 产羔区面积约为 30 万 km²。选择产羔地时则注重坡度、水源、海拔、气温日较差等, 对植被资源的选择倾向较非繁殖季弱, 重视迁徙通道连贯性和产羔区域安全性。羌塘高原人类活动整体较弱, 北部羌塘国家级自然保护区是藏羚羊理想栖息地, 但南部地区社会经济较发达, 尤其是那曲地区南部和阿里西南部, 居民地、道路和牧业等人类活动对栖息地干扰较大, 受干扰面积分别占藏羚羊越冬区的 39.7%, 产羔区的 34.9%。

关键词: 藏羚羊; 栖息地; 羌塘高原; Maxent 模型; 栖息地质量模型

Habitat distribution of Tibetan antelope in the Chang Tang plateau and influential factors

WEI Ziqian^{1,2}, XU Zengrang^{1,*}

1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: As a typical representative of herbivorous wildlife in the Tibetan Plateau, the Tibetan antelope is listed as near threatened by the International Union for Conservation of Nature (IUCN) Red List for endangered wildlife protection. It is mainly distributed in China, India, and Nepal. Presently, there is no clear range for Tibetan antelope habitat in the Chang Tang area. Accurate identification regarding its habitat distribution will help to locate key areas for Tibetan antelope population protection. It will also aid in the coordination of efforts to manage conflicts between humans and wildlife from the socio-economic development of the Chang Tang plateau, which has exhibited an increasing trend. The field investigation was combined with a Species Distribution Model in this study. Habitat selection, preference, and migration rules of Tibetan antelope were determined. The data on the location of Tibetan antelopes were collected using the transect method, and the Maxent model was used to simulate its habitat distribution during the breeding and non-breeding seasons. Using the Habitat Quality model and GIS spatial analysis method, we accurately identified the habitat range that was disturbed by human activities, such as urbanization, transportation, and animal husbandry, among other factors. The results showed that:

基金项目: 第二次青藏高原综合科学考察研究 (2019QZKK0603); 国家重点研发计划项目 (2016YFC0503403); 国家自然科学基金项目 (41571496, 41971263)

收稿日期: 2020-02-14; 网络出版日期: 2020-10-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xuzr@igsnrr.ac.cn

Tibetan antelopes were mainly distributed in the southeast of the Chang Tang plateau during the non-breeding season for three-quarters of the year, which was typically located around lakes and rivers, such as Selinco. The over-winter area was approximately 260000 km². and antelopes choose grasslands and lakesides at an altitude of more than 4800 m. These areas were warm, close to water, and had abundant vegetation resources. During the breeding season, the habitat of Tibetan antelopes showed the trend of moving from south to north and were mostly distributed in small areas around the water in the northeastern, the mid-northern area of Chang Tang, and the southern foot of the Kunlun Mountain, covering an area of approximately 300000 km². When choosing a lambing area, greater importance occurred for the slope, nearby water sources, higher altitudes, and daily temperature differences. The selection and preference of vegetation types and coverage were weaker than that of the non-breeding season, and more importance occurred for the connectedness of migration channels and safety during calving. All human activities in the Chang Tang plateau are relatively weak, especially in the northern Chang Tang National Nature Reserve, which is an ideal habitat for Tibetan antelopes, but in the southern area, especially the southern part of Naqu and the southwest part of Ali, human activities are relatively high. Habitat affected by human activities, such as residential areas, roads, and animal husbandry, accounted for 39.7% of the wintering area and 34.9% of the lambing area. These areas should be given greater attention for the protection of the Tibetan antelope in the future.

Key Words: Tibetan antelope; habitat; Chang Tang plateau; Maxent model; Habitat Quality model

藏羚羊 (*Pantholops hodgsonii*) 是《国家重点保护野生动物名录》确定的国家一级保护野生动物,《濒危野生动植物种国际贸易公约》^[1]附录 I 物种,2016 年被国际大自然保护联盟 (IUCN) 濒危野生动物保护红色目录列为近危 (NT)^[2],在中国、印度和尼泊尔都有分布,目前主要生活在以羌塘高原为中心的青藏高原高寒荒漠区^[3-4]。早在更新世藏羚羊就已生存于青藏高原^[5],在长达二百万年的进化中,从生理特征、生活习性都适应了这里独特且严峻的自然条件,形成按季节迁徙和繁殖规律,被公认为青藏高原动物区系的典型代表^[2, 6]。藏羚羊多分布在海拔 4500m 以上的高寒荒漠生态系统。栖息地覆被类型多为荒漠草原、高山植被,部分为高寒草甸和沼泽,植被群落结构简单,植株低矮,盖度低^[7-8]。禾本科 (*Poaceae*)、莎草科 (*Cyperaceae*) 及豆科 (*Leguminosae*) 植物为藏羚羊主要食谱构成^[9-10],其中禾本科植物占采食总量的 60%,包括紫花针茅 (*Stipa purpurea*)、扇穗茅 (*Lizzledaca racmosa*)、早熟禾 (*Poa annua*)、昆仑嵩草 (*Kobresia lizledalea*) 等^[11]。

藏羚羊是羌塘高原有蹄类中唯一的迁徙物种。成年藏羚羊一年中除交配季节,绝大部分时间雌雄分群。每年 6 月份,雌性藏羚羊逐渐集结并向夏季产羔区迁徙,6 月 20 日至 7 月 10 日小羊羔陆续出生,完成生产后雌性藏羚羊于 7 月上旬回迁,8 月返回越冬栖息地^[12-13]。羌塘高原的藏羚羊总体呈现由南向北迁徙趋势。不同区域种群迁徙路线不同,如羌塘西部的藏羚羊多集结至昆仑山南麓,甚至翻越昆仑山至新疆阿尔金山产羔;东部藏羚羊一路北上,朝可可西里方向迁徙;南部藏羚羊则仅向附近僻静的河流宽谷迁徙小段距离等待产羔^[14-15]。每年藏羚羊需在越冬区度过 3/4 的时间,越冬区多为距离水源较近、植被盖度较高、可食植物丰富、温暖湿润的草原或河湖滩地^[16]。产羔区的食物资源和气候条件都相对较差,但人类和其他野生动物干扰较少,僻静安全^[17-18]。

人类活动是影响藏羚羊栖息地选择的主要因素^[19],因其天生警觉性强,在选取栖息地时会明显避让人类活动区域。近年,随着野生动物保护工作不断增强,藏羚羊种群数量恢复性增长,对栖息地及水草资源需求不断扩张^[9]。同时,羌塘地区社会经济发展、放牧生产、道路交通和城镇建设等人为干扰日益加剧^[20],直接或间接侵占了藏羚羊栖息地,其中交通道路会破坏原有栖息地的连通性,并延缓藏羚羊迁徙行为^[12, 21],牧业生产将导致草场资源竞争,另外闯入承包草场的藏羚羊会招致牧民驱逐^[20]。已有研究采用样点、样线等野外调查法对物种栖息地的分布范围开展调查^[4, 12-14, 17, 19, 22-24],取得一些珍贵的资料。但藏羚羊分布范围广,栖息地可进入性差^[22],野外调查难度大,其栖息地数据相对零散,给藏羚羊种群保护带来困难。

论文以羌塘高原为研究区,把握藏羚羊生活习性,刻画栖息地选择偏好特征。采用样线法收集藏羚羊出现点位数据,利用 Maxent(maximum entropy model)模型按藏羚羊迁徙习性分别模拟其繁殖与非繁殖两季栖息地范围。考虑城乡聚落、交通道路、牧业生产等主要人类活动,基于 Habitat Quality 模型模拟人为活动对栖息地干扰。识别藏羚羊在不同季节的栖息地分布和受人类活动干扰区域,助力相关部门明确关键保护地域、科学调整保护区功能分区,维持迁徙通道连通性,以提高野生动物保护的针对性和有效性。

1 研究方法数据来源

1.1 研究区

羌塘高原藏语意为“北方的旷野”,指冈底斯—念青唐古拉山脉以北,昆仑山脉以南的广阔地区,行政上属西藏自治区的那曲与阿里两地区管辖,是青藏高原的重要组成部分。区域内平均海拔约 4500m 以上,地势高亢、开阔坦荡、起伏平缓,植被类型简单,盖度低^[8, 25]。野生动物是羌塘高原上最活跃也是最引人注目的部分,十余种国家一级保护动物生活在这片土地上,其中藏羚羊作为草食性有蹄类的典型代表,在羌塘高原具有得天独厚的优势,截至 2015 年,羌塘高原的藏羚羊估计约达 20 万只,约占世界种群数量 70%^[20, 26-27]。

1.2 研究方法

1.2.1 样线法采集野生动物出现点样本

与当地野生动物保护部门座谈、走访当地居民、查阅现有资料等确定藏羚羊在不同季节的大致栖息地范围。于 2019 年 5 月和 8 月,开展野外样线调查,采集羌塘高原藏羚羊出现点位样本。根据地理、水草资源布设样线,沿样线以 10—20km/h 车速,通过肉眼观察辅以视得乐 8 倍夜视双筒望远镜,记录观测点坐标、距藏羚羊距离和相对角度,计算得到藏羚羊出现点信息。通过样线法共记录到 38 个藏羚羊出现点位数据,另外从野生动物保护学会(WCS)青藏高原有蹄类动物现状及趋势报告^[28]和相关文献^[3, 6, 15]中获取部分 2000 年以后藏羚羊出现点位坐标,对其数字化,通过遥感影像和生境信息对比校正,获取了 129 个藏羚羊出现点位作为补充。将所有样点通过 ArcGIS 缓冲区分析法筛选,以 0.5km 作为缓冲半径,若 1km 范围出现多点则仅保留 1 个,以降低样本空间信息冗余度。

在模拟栖息地时,按迁徙繁殖时间可将藏羚羊栖息地分为暖季产羔区和冷季越冬区。为此,将每年 5 月下旬至 7 月末,从藏羚羊开始迁徙至完成产羔后带领新生幼崽回迁至越冬区这一过程中途经和停留的位置(包括该时期部分没有迁徙行为的雌、雄性藏羚羊的活动位置)作为藏羚羊的产羔点;将每年除了迁徙繁殖月份以外其他时间栖息、活动点位作为越冬点。最终获得羌塘高原藏羚羊夏季产羔点 61 个,越冬点 106 个,如图 1 所示。

1.2.2 Maxent 模拟栖息地分布

最大熵模型 Maxent^[29]基于物种出现点位及其对应的环境变量模拟物种栖息地的分布,广泛应用于野生动物保护研究,是目前模拟与预测能力最强的物种分布模型^[30-33]。它假设物种分布是根据物种分布的概率 p 确定的, p 的大小反映了物种对环境因子偏好程度。Maxent 在所有满足约束条件的模型中,选择熵值最大(即分布最均匀)的结果预测物种分布^[29]。

$X \in \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, y 为随机离散变量, X 的概率分布为 $p(x_i)$, $i=1, 2, \dots, n$, y 的条件熵为:

$$H(y|X) = \sum_{i=1}^n p(x_i) H(y|X=x_i) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) p(y|x_i) \log p(y|x_i) \quad (1)$$

最大熵特征根 $f(x_i, y)$ 为约束条件下的最优化问题的解^[34]:

$$\max_{p \in C} H(p(y|x)) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) p(y|x_i) \log p(y|x_i) \quad (2)$$

$$\text{subject to } \sum_y p(y|x_i) = 1 \quad (3)$$

模型中的变量 y 为物种分布可能性大小, X 为一系列环境变量,包括气候、地貌、植被等。研究以藏羚羊

实测出现点位(图1)为训练和测试样本,据藏羚羊的生理习性和栖息地选择偏好,选择了多个与藏羚羊分布直接相关的环境背景因子,为降低共线性,防止模型过度拟合,对所有环境变量进行相关性分析,排除相关性较强且与藏羚羊栖息地选择偏好联系较弱的环境变量,最终得到12个指标(表1),包括7个气候因子:Bio1 年均温度、Bio2 平均日较差、Bio10 最暖季平均气温、Bio11 最冷季平均气温、Bio12 年降水量、Bio18 最暖季降水量、Bio19 最冷季降水量;2个地理因子:海拔、坡度,和3个食物水源因子:植被类型、植被盖度和距水源距离。利用 Maxent 3.4.1^[35]对藏羚羊的夏季产羔区和越冬区分别进行模拟。模型运行时随机抽取20%样本作为测试数据集,其余80%样本作为训练数据集。使用刀切检验(Jackknife)测定各环境变量对藏羚羊栖息地分布的贡献,创建环境变量响应曲线。依据AUC值(area under ROC curve,受试工作特征曲线与横坐标围成的面积)进行模型精度评价^[36]。Maxent模型推荐的评价标准为:测试AUC=0.6—0.7模拟效果较弱,0.7—0.8一般,0.8—0.9良好,大于0.9为优秀。

1.2.3 InVEST 生境质量模块模拟人类活动对生境的威胁

综合考虑草地放牧、城乡聚落、交通道路等主要人类活动(表1),采用 InVEST3.5.0 Habitat Quality 模块,就人类活动对栖息地质量的影响进行定量分析。一般人类活动指数超过0.09的区域属于城镇空间,低于0.02的区域为受人类干扰较弱区域。人类活动强度指数(D_{xy})计算见公式4^[37]:

$$D_{xy} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \frac{w_r}{\sum_{r=1}^R w_r} r_y \cdot i_{rxy} \cdot \beta_x \cdot S_{jr} \quad (4)$$

其中: w_r 为第 r 种威胁的权重, r_y 为源于栅格 y 处的第 r 种威胁水平; i_{rxy} 为 r 威胁从威胁源 y 到栅格 x 的衰减率; β_x 为易受扰动水平; S_{jr} 为栖息地 j 对 r 威胁的敏感性。

为便于空间分析,主要威胁因子包括城镇聚落用地(urb)、乡村聚落用地(rr)、耕地(crp)、公路(prds)、乡村路(srds)。根据各种威胁的相对强度,权重依次取1、0.6、0.7、1和0.6,最大影响距离依次取10、8、6、8、6 km。威胁出现,威胁水平取1,未出现取0。易受扰动水平取1。栖息地对各种威胁的敏感性取[0,1]。

1.3 数据来源

藏羚羊点位数据和环境背景数据分别如图1和表1所示。

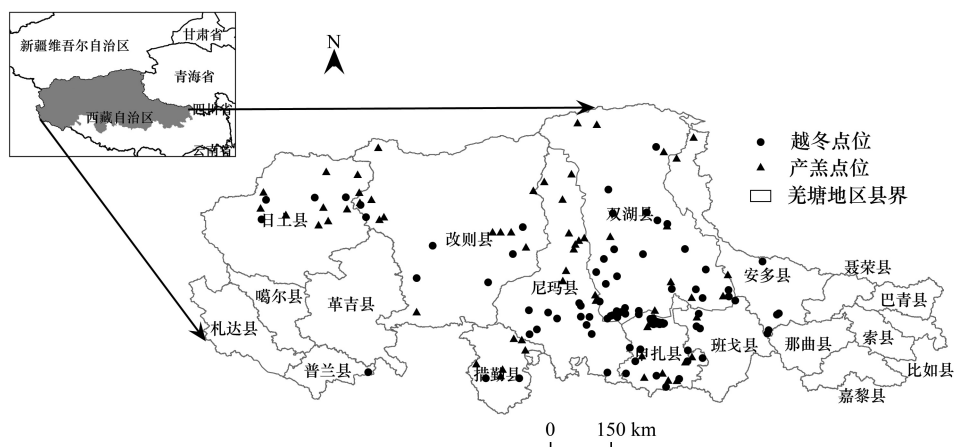


图1 藏羚羊点位数据

Fig.1 Tibetan antelope point data

2 研究结果

2.1 栖息地分布现状

根据藏羚羊不同月份已知点位数据和相关环境因子,利用 Maxent 分别模拟其在非繁殖季节(越冬区)和

繁殖季节(产羔区)的分布情况。模拟显示越冬区测试 AUC = 0.834,产羔区测试 AUC = 0.805,评级均为良好^[29, 36],说明该模型在模拟藏羚羊两季栖息地方面具有较高可信度。

表 1 藏羚羊栖息地分布影响因子及数据来源
Table 1 Influence variables and their sources

大类 First classification	二级类 Second classification	数据来源 Data rsources
气候因子 Climate factors	Bio1 年均温度	WorldClim1.4, http://www.worldclim.org/ ^[38]
	Bio2 平均日较差	同上
	Bio10 最暖季平均温度	同上
	Bio11 最冷季平均气温	同上
	Bio12 年降水量	同上
	Bio18 最暖季降水量	同上
	Bio19 最冷季降水量	同上
地形因子 Topographical factors	海拔	青藏高原科学数据中心 ASTER_GDEM 数据集 ^[39]
	坡度	青藏高原 ASTER_GDEM 数据集 ^[39]
食物水源因子 Food and Water Sources Factors	距水源距离	通过 ArcGIS 计算区域距河湖的欧氏距离
人类活动因子 Human Activities Factors	植被类型	《1:1000000 中国植被图集》北京 科学出版社 ^[40]
	植被覆盖度	ESA CCI-LC, 300 土地覆被产品 http://www.esa-landcover-cci.org/
	土地利用/覆被数据	1:25 万土地覆被数据由地球系统科学数据共享平台提供
	道路分布数据	Open street map, https://www.openstreetmap.org/

结合羌塘地区野生动物保护部门的巡查数据,当地牧户访谈结果和已有文献记录,将 Maxent 运算结果区分为“潜在栖息地”和“非潜在栖息地”,并对潜在栖息地的重要等级进行阈值划分。设定藏羚羊潜在越冬区的出现概率的阈值为大于 0.1,如图 2 所示。设定夏季产羔区出现概率的阈值为大于 0.15,如图 3 所示。

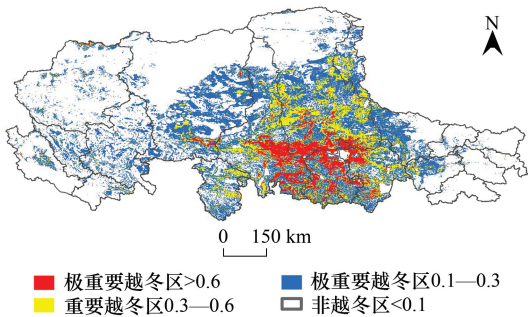


图 2 藏羚羊越冬区分布
Fig.2 Distribution of Tibetan antelope over-winter area

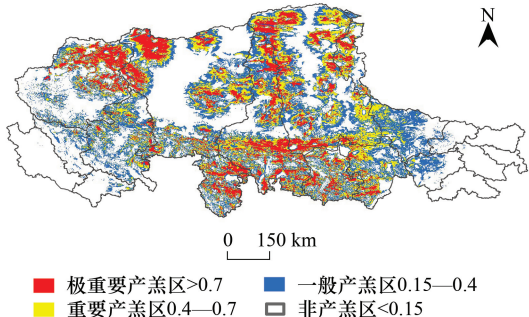


图 3 藏羚羊产羔区分布
Fig.3 Distribution of Tibetan antelope lambing area

藏羚羊越冬区主要分布在羌塘高原东南部,集中于那曲地区的西南部及阿里部分地区,越冬区面积约为 263984km²,占研究区的 38.3%。其中重要和极重要越冬区面积分别为 66801.6km²和 32802.8km²,集中分布在双湖、尼玛和申扎三县交界处,围绕色林错、吴如错和达则错,另外在阿里地区改则县、措勤和日土也有部分分布。产羔区相对于越冬区则明显呈现向北部扩散的趋势,成片状分布在日土县东北部、改则县西北、那曲地区东南部和北部区域,面积约为 304848km²,占研究区的 44.2%,重要和极重要产羔区面积分别为 111526km²和 79084km²,分布相对分散,在北部和南部水系附近多分布有重要产羔区。

2.2 栖息地分布的自然影响因素

通过环境因子的响应曲线可以看出藏羚羊在选择越冬区时,倾向于选择海拔大于 4800m,年均温度高于 -5℃,坡度小于 10°,年降水量大于 200mm,植被类型为紫花针茅、珠峰苔草高寒草原,紫花针茅、垫状驼绒藜

高寒草原和苔状蚤缀与垫状点地梅垫状植被,水母雪莲、凤毛菊高山稀疏植被,距水源 5km 以内、食物充足,温暖,地势平缓,植被盖度相对高的区域。夏季产羔区则倾向于选择植被类型为垫状驼绒藜高寒荒漠、紫花针茅高寒草原、垫状驼绒藜高寒草原、青藏苔草高寒草原、小嵩草高寒草甸、嵩草沼泽化高寒草甸,另外坡度小于 10° ,海拔大于 4800m,平均气温日较差 $11\text{--}16^{\circ}\text{C}$,距水源 10km 以内,最暖季降水量小于 300mm 的区域。

在影响藏羚羊栖息地选择的 12 个环境因子中,植被类型、距水源距离、坡度、Bio2(平均气温日较差)和 Bio18(最暖季降水量)是决定产羔地分布的最主要因素,累计贡献值达 94.4%。影响藏羚羊越冬区选择的环境因素贡献值相比产羔区更加分散,植被类型和 Bio11(最冷季平均气温)贡献值突出,分别为 36.3% 和 25.2%,Bio18(最暖季降水量)、Bio12(年降水量)、坡度、Bio10(最暖季平均气温)、Bio1(年均气温)也较重要。由两类栖息地环境因子的贡献值差异(表 2)可以看出藏羚羊在选择越冬区时更偏好食物充足,植被覆盖度较高并且气候温暖的区域,属于资源偏好。相比之下,藏羚羊在迁徙选择产羔地时则更加注重水源、坡度、海拔、气温日较差等,对植被资源的选择倾向较越冬区弱,更加重视迁徙通道连贯性和产羔区安全性。

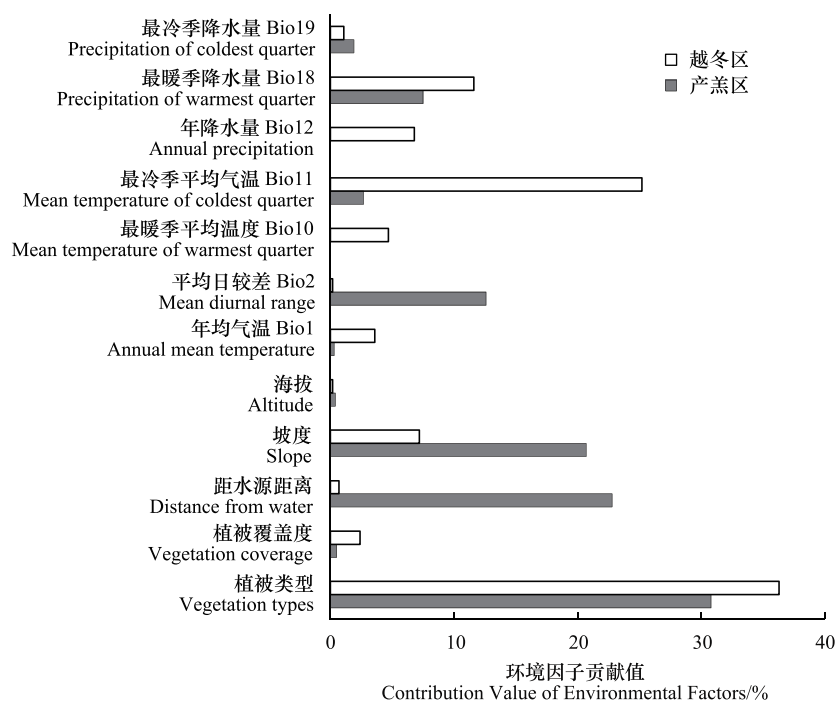


图 4 两类栖息地环境因子贡献值

Fig.4 Contribution value of environmental factors in two kind of habitats

2.3 人类活动对栖息地的影响

随着羌塘地区社会经济的发展,栖息地受到多种人类活动干扰,致使其适宜性下降。采用 Habitat Quality 模拟了人类活动对栖息地的影响强度指数。选取人类活动强度指数 0.025 作为阈值,小于该阈值人类活动对藏羚羊干扰较弱。以 0.025、0.03、0.04 为分界点将人类活动划分为“较弱、一般、较强、强”四个等级,如图 7 所示。虽然羌塘高原整体人类活动水平较低,但是在那曲地区南部、阿里地区东南和西南部仍有部分人类活动较活跃区域。

将人类活动强度指数大于 0.025 的区域与藏羚羊产羔区和越冬区叠加(图 8):发现受到人类活动干扰的越冬区面积为 104763km^2 ,占越冬区 39.7%;受到人类活动干扰的产羔区面积为 106341km^2 ,占产羔区的 34.9%;羌塘高原有 195651km^2 区域同时作为藏羚羊繁殖季节和非繁殖季节栖息地,其中 80161km^2 受到了人类活动的干扰,主要分布在那曲地区班戈县、申扎县,尼玛县东南部和双湖县南部,以及阿里地区东南局部,干扰类型多为居民地、放牧生产和交通旅游业等人类活动。

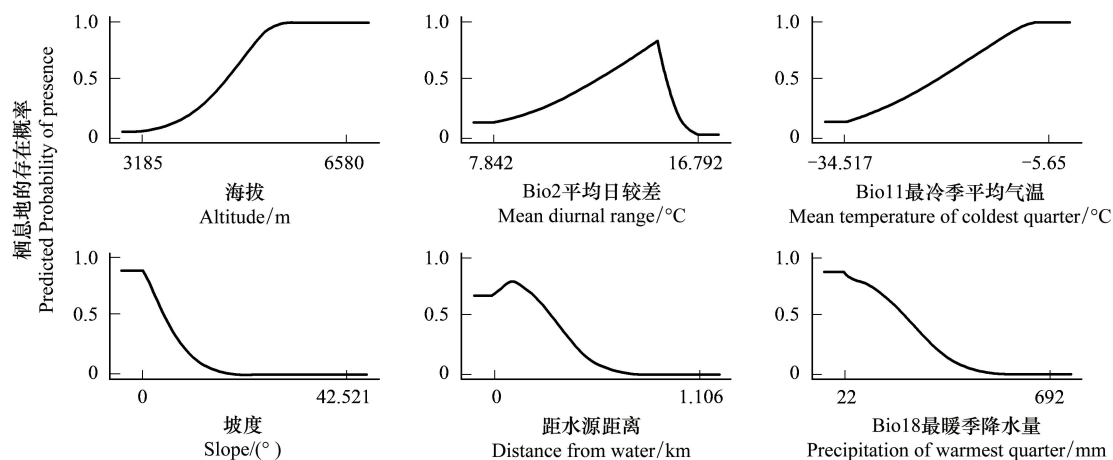


图5 产羔区主要环境变量响应曲线

Fig.5 Response curves of habitat variables in Maxent models

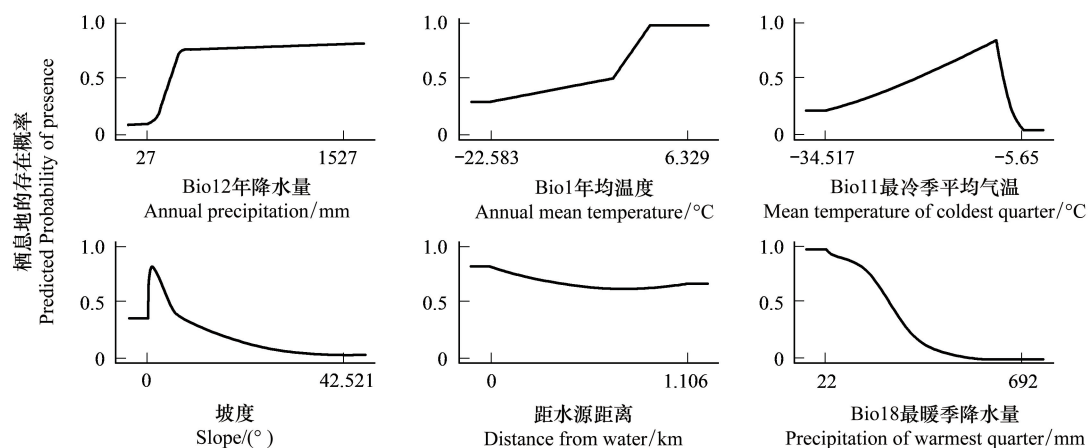


图6 越冬区主要环境变量响应曲线

Fig.6 Response curves of habitat variables in Maxent models

3 讨论

以往研究表明,藏羚羊主要分布在羌塘高原的高寒荒漠地带,栖息地植被盖度低,多见于河道宽谷、盆地或湖滨平原地带^[7, 15]。羌塘高原上已被学者和野生动物保护部门证实的藏羚羊“产房”昆仑山南麓、玛依岗日以东以及双湖县江爱藏布江畔上的羚羊渡江集结地等^[3, 6, 12, 14, 17],基本都被本研究识别为藏羚羊重要、极重要产羔区。重要越冬区色林错、友谊湖周边滩地等^[14-15]也被识别为藏羚羊越冬区。环境变量响应曲线显示了藏羚羊对植被类型(禾本科、莎草科)的偏好,尤其是对紫花针茅和小蒿草的选择倾向,表明羌塘地区藏羚羊与新疆阿尔金山^[9]和青海可可西里地区^[10-11]藏羚羊的食性基本相同。李维东等人通过对阿尔金山藏羚羊产羔区的研究发现该区域植被不仅覆盖度低,且适口性和营养价值都较差,认为藏羚羊在迁徙过程中对食物偏好较其他时期弱^[18],本研究发现羌塘藏羚羊在资源选择方面也具有相似特征。

藏羚羊迁徙行为与栖息地季节分布。藏羚羊迁徙规律较复杂,长距离迁徙行为常见于雌性藏羚羊^[12],生活在不同区域的种群迁徙方向、距离各不相同。刘务林等 1987—2005 年通过追踪不同种群,发现羌塘地区雌性藏羚羊表现出三种迁徙模式,部分个体整个夏天都待在越冬区,没有长距离迁徙行为;部分个体仅迁移一小

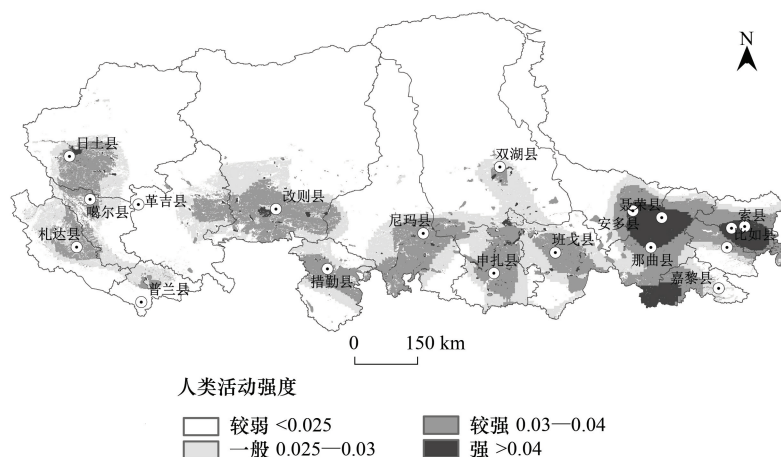


图7 人类活动强度分区

Fig.7 Division of human activity intensity

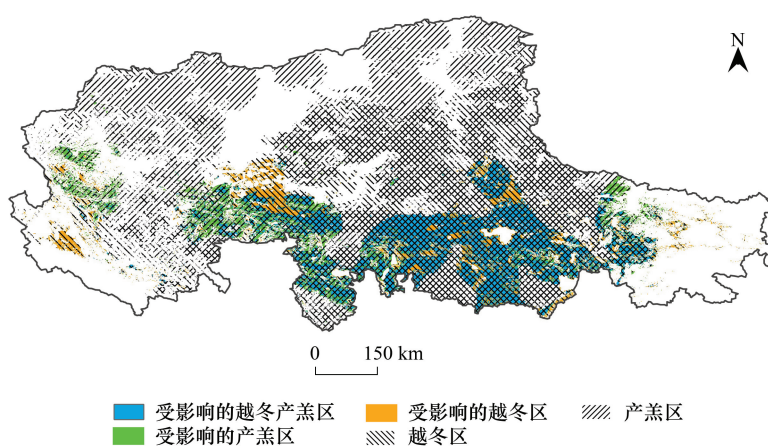


图8 受人类活动干扰的栖息地范围

Fig.8 Habitat disturbed by human activities

段距离,到达夏季产羔区;一些雌性群体会从越冬区出发,向北迁移较长的距离^[15]。雄性藏羚羊在6、7月份也存在迁徙行为,但往往距离较短。雌、雄性以及不同群体的藏羚羊迁徙行为差异较大,很难准确界定产羔区和越冬区。本文仅以时间作为节点划分和模拟藏羚羊的越冬区和产羔区,反映了藏羚羊在不同季节的大致活动范围。尤其是产羔区中包括了一定数量的不迁徙藏羚羊群体。

人类活动对藏羚羊栖息地的影响。羌塘地区南部居民地、牧业和道路等人为活动明显干扰了藏羚羊栖息地,尤其以在色林错为中心的藏羚羊栖息地与人类活动区域存在较多空间重叠。部分区域建设网围栏切断了藏羚羊的水路、草路和迁徙通道^[20]。较强的人类活动致使藏羚羊栖息地质量下降。对受到干扰的栖息地,要优化保护格局、维持迁徙通道的连通性,结合地区实际出台相应准入清单,分地段、分时段,协调牧民、游客等与藏羚羊的关系。同时,随着藏羚羊恢复性增长及对水草资源需求增加,其频繁造访牧民承包的草场。目前仍无相关办法对草食性野生动物占用草场资源进行补偿,牧民排斥甚至驱逐藏羚羊事件时有发生,亟待量化藏羚羊造成的牧草采食,以完善野生动物肇事补偿体系。维持草地生态平衡、促进野生动物保护和牧业生产协调发展。

4 结论

研究采用野外调查与物种分布模型相结合的办法,基于藏羚羊栖息地选择偏好,明确在繁殖和非繁殖季节的栖息地分布,并分别识别两个时期受人类活动干扰的区域,以助力野生动物保护工作和人与野生动物关系协调。结果表明:藏羚羊在非繁殖季节较为集中的分布在羌塘高原东南部,围绕在色林错等水系周围,其越冬区面积约为 26 万 km²。倾向选择海拔 4800m 以上、气候温暖、靠近水源且食物资源丰富的区域。藏羚羊在繁殖季节栖息地明显呈现向北部扩散的趋势,多在水系周围呈小片状分布于羌塘东北、西北和南部区域,产羔区面积约为 30 万 km²。选择产羔区时则更加注重坡度、水源、海拔、气温日较差等,对植被资源的选择倾向较非繁殖季弱,更重视迁徙通道连贯性和产羔区安全性。受人类活动影响的栖息地主要在那曲地区南部和阿里西南部,受到干扰的栖息地分别占越冬区的 39.7%,产羔区的 34.9%。

参考文献 (References):

- [1] 国际自然与自然资源保育联盟. 濒危野生动植物种国际贸易公约. 1973.
- [2] IUCN. The IUCN red list of threatened species. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 2016.
- [3] Schaller G B. Wildlife of the Tibetan steppe. Chicago: University of Chicago Press, 2000: 1-26.
- [4] 诸葛海锦, 李晓文, 张翔, 高峰, 许东华. 青藏高原高寒荒漠区藏羚适宜生境识别及其保护状况评估. 应用生态学报, 2014, 25(12): 3483-3490.
- [5] Ruan X D, He P J, Zhang J L, Wan Q H, Fang S G. Evolutionary history and current population relationships of the chiru (*Pantholops hodgsonii*) inferred from mtDNA variation. Journal of Mammalogy, 2005, 86(5): 881-886.
- [6] 吴晓民, 张洪峰. 藏羚羊种群资源及其保护. 自然杂志, 2011, 33(3): 143-148, 154-154.
- [7] 吴娱, 张相锋, 董世魁, 刘世梁, 张翔, 苏旭坤, 王学霞, 李媛媛. 阿尔金山自然保护区东部典型植物群落的物种组成、多样性及生物量. 生态学杂志, 2013, 32(9): 2250-2256.
- [8] 魏子谦, 徐增让, 毛世平. 西藏自治区生态空间的分类与范围及人类活动影响. 自然资源学报, 2019, 34(10): 2163-2174.
- [9] 董世魁, 武晓宇, 刘世梁, 苏旭坤, 吴娱, 石建斌, 李晓文, 张翔, 许东华, 翁晋. 阿尔金山自然保护区基于野牦牛、藏野驴、藏羚羊适宜栖息地的生态容量估测. 生态学报, 2015, 35(23): 7598-7607.
- [10] 曹伊凡, 苏建平, 连新明, 张同作, 崔庆虎. 可可西里自然保护区藏羚羊的食性分析. 兽类学报, 2008, 28(1): 14-19.
- [11] 殷宝法, 淮虎银, 张德铨, 周乐, 魏万红. 可可西里地区藏羚羊、藏原羚和藏野驴的营养生态位. 应用生态学报, 2007, 18(4): 766-770.
- [12] Buho H, Jiang Z, Liu C, Yoshida T, Mahamut H, Kaneko M, Asakawa M, Motokawa M, Kaji K, Wu X, Otaishi N, Ganzorig S, Masuda R. Preliminary study on migration pattern of the Tibetan antelope (*Pantholops hodgsonii*) based on satellite tracking. Advances in Space Research, 2011, 48(1): 43-48.
- [13] Bleisch W V, Buzzard P J, Zhang H B, Xü D H, Liu Z H, Li W D, Wong H. Surveys at a Tibetan antelope *Pantholops hodgsonii* calving ground adjacent to the Arjinshan Nature Reserve, Xinjiang, China: decline and recovery of a population. Oryx, 2009, 43(2): 191-196.
- [14] Schaller G B, Kang A L, Cai X B, Liu Y L. Migratory and calving behavior of Tibetan antelope population. Acta Theriologica Sinica, 2006, 26(2): 105-113.
- [15] 刘务林, 奚志农. 藏羚羊母亲: 独自到远方寻找娩床. 森林与人类, 2010, (6): 24-31.
- [16] 赵海迪, 刘世梁, 董世魁, 苏旭坤, 张翔. 基于植被覆盖度的藏羚羊栖息地时空变化研究. 生态学报, 2014, 34(12): 3285-3292.
- [17] Wangdwei M, Fox J L. Habitat selection by sympatric chiru and Tibetan gazelle in the Aru Basin, Chang Tang Nature Reserve, Tibet Autonomous Region, China.. Acta Theriologica Sinica, 2008, 28(3): 225-231.
- [18] 李维东, 荆晨, 刘志虎, 张会斌. 昆仑山木孜塔格峰北坡藏羚羊繁殖地的自然植被. 新疆环境保护, 1999, 21(3): 9-14.
- [19] Xia L, Yang Q S, Li Z C, Wu Y H, Feng Z J. The effect of the Qinghai-Tibet railway on the migration of Tibetan antelope *Pantholops hodgsonii* in Hoh-xil National Nature Reserve, China. Oryx, 2007, 41(3): 352-357.
- [20] 徐增让, 靳茗茗, 郑鑫, 魏子谦. 羌塘高原人与野生动物冲突的成因. 自然资源学报, 2019, 34(7): 1521-1530.
- [21] 殷宝法, 于智勇, 杨生妹, 淮虎银, 张德铨, 魏万红. 青藏公路对藏羚羊、藏原羚和藏野驴活动的影响. 生态学杂志, 2007, 26(6): 810-816.
- [22] Schaller G B, Kang A L, Tashi-Dorjie H, Cai P. A winter wildlife survey in the northern Qiangtang of Tibet Autonomous Region and Qinghai Province, China. Acta Theriologica Sinica, 2007, 27(4): 309-316.
- [23] 路飞英, 石建斌, 张子慧, 苏旭坤, 吴娱, 董世魁, 李晓文, 张翔, 许东华, 高峰, 翁晋. 阿尔金山自然保护区藏羚羊、藏野驴和野牦牛的

- 数量与分布. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2015, 51(4): 374-381.
- [24] 胡一鸣, 李玮琪, 蒋志刚, 刘务林, 梁健超, 林宜舟, 黄志文, 覃海华, 金崑, 胡慧建. 羌塘、可可西里无人区野牦牛种群数量和分布现状. 生物多样性, 2018, 26(2): 185-190.
- [25] 张懿铨, 刘林山, 王兆锋, 摆万奇, 丁明军, 王秀红, 阎建忠, 许尔琪, 吴雪, 张炳华, 刘琼欢, 赵志龙, 刘峰贵, 郑度. 青藏高原土地利用与覆被变化的时空特征. 科学通报, 2019, 64(27): 2865-2875.
- [26] 新华社. 羌塘国家自然保护区内藏羚羊数量已近 20 万只. 西藏新闻. 2014.
- [27] 新华社. 生态羌塘成为动物“天堂”——我国面积最大的自然保护区创新管理取成效. 中国政府网, 2019-10-23.
- [28] The Wildlife Conservation Society. Report on Ungulate Status and Trends in the Tibetan Plateau. New York: The Wildlife Conservation Society, 2014.
- [29] Phillips S J, Dudík M, Schapire R E. A maximum entropy approach to species distribution modeling//Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning. New York: ACM, 2004.
- [30] 许仲林, 彭焕华, 彭守璋. 物种分布模型的发展及评价方法. 生态学报, 2015, 35(2): 557-567.
- [31] Fourcade Y, Engler J O, Rödder D, Secondi J. Mapping species distributions with MAXENT using a geographically biased sample of presence data: a performance assessment of methods for correcting sampling bias. PLoS One, 2014, 9(5): e97122.
- [32] Dong X, Chu Y M R, Gu X D, Huang Q Y, Zhang J D, Bai W K. Suitable habitat prediction of Sichuan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus roxellana*) and its implications for conservation in Baihe Nature Reserve, Sichuan, China. Environmental Science and Pollution Research, 2019, 26(31): 32374-32384.
- [33] 塞依丁·海米提, 努尔巴依·阿布都沙力克, 许仲林, 阿尔曼·解思斯, 邵华, 维尼拉·伊利哈尔. 气候变化情景下外来入侵植物刺苍耳在新疆的潜在分布格局模拟. 生态学报, 2019, 39(5): 1551-1559.
- [34] Phillips S J. A brief tutorial on Maxent. AT&T Research, 2005, 190(4): 231-259.
- [35] Phillips S J, Dudík M. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. Ecography, 2008, 31(2): 161-175.
- [36] Merow C, Smith M J, Silander Jr J A. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. Ecography, 2013, 36(10): 1058-1069.
- [37] Sharp R, Tallis H T, Ricketts T, Guerry A D, Wood S A, Chapin-Kramer R, Nelson E, Ennaanay D, Wolny S, Olwero N, Vigerstol K, Pennington D, Mendoza G, Aukema J, Foster J, Forrest J, Cameron D, Arkema K, Lonsdorf E, Kennedy C, Verutes G, Kim C K, Guannel G, Papenfus M, Toft J, Marsik M, Bernhardt J, Griffin R, Gowinski K, Chaumont N, Perelman A, Lacayo M, Mandle L, Hamel P, Vogl A L, Rogers L, Bierbower, W. InVEST User's Guide. Stanford: The Natural Capital Project, Stanford, 2014.
- [38] Hijmans R J, Cameron S E, Parra J L, Jones P G, Jarvis A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, 2005, 25(15): 1965-1978.
- [39] Global Land Cover Network. 青藏高原 SRTM DEM 数据集(2012). 国家青藏高原科学数据中心, 2019.
- [40] 中国科学院中国植被图编辑委员会. 1:1000000 中国植被图集. 北京: 科学出版社, 2001. [