

DOI: 10.20103/j.stxb.202405301252

安峥旭, 吴佳忆, 路晓平, 王静, 扎西, 桑珠扎西, 耿硕, 朱印酒, 李宁, 孟秀祥. 三江源唐古拉山以北区域藏野驴生境适宜性. 生态学报, 2025, 45(6): 2621-2629.

An Z X, Wu J Y, Lu X P, Wang J, Zha X, Sangzhu Z X, Geng S, Zhu Y J, Li N, Meng X X. Habitat suitability analysis for Tibetan Kiang (*Equus kiang*) in the Area North of Tanggula Mountain in Sanjiangyuan. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(6): 2621-2629.

## 三江源唐古拉山以北区域藏野驴生境适宜性

安峥旭<sup>1</sup>, 吴佳忆<sup>1</sup>, 路晓平<sup>1</sup>, 王 静<sup>2</sup>, 扎 西<sup>3</sup>, 桑珠扎西<sup>3</sup>, 耿 硕<sup>1</sup>, 朱印酒<sup>3</sup>,  
李 宁<sup>1</sup>, 孟秀祥<sup>1,3,\*</sup>

1 中国人民大学生态环境学院, 北京 100872

2 上海海关学院海关与公共管理学院, 上海 201204

3 西藏大学生态环境学院, 拉萨 850000

**摘要:** 三江源唐古拉山以北区域(三江源唐北区域)地处青海省和西藏自治区交界处, 是三江源国家公园的重要组成部分。因环境条件极端、相对缺乏前期工作基础及行政划分导致的管理职责不明等原因, 唐北区域的濒危动物种群及生境保护相关的科研及保育实践还需加强。藏野驴(*Equus kiang*)是唐北区域的重要旗舰物种, 已极度濒危。要提升对濒危藏野驴保护的有效性和可持续性, 其前提和基础是深入了解其生境的适宜性、分布、特征及关键影响因素。通过对三江源唐北区域的实地调查、红外相机监测以及查询已有的网络数据库, 获取藏野驴的分布点位, 采用最大熵模型(MaxEnt model), 结合区域内生态气候、地形及人类活动等影响因素, 对唐北区域的藏野驴生境进行了适宜性分析。结果表明, 唐北区域藏野驴适宜生境主要分布在区域中部, 面积为 28335 km<sup>2</sup>, 占总面积的 41.8%, 不适宜区主要分布于西北部和东南部, 有超过 30% 的藏野驴适宜区未被列入国家公园范围。影响三江源唐北区域藏野驴生境适宜性的主要环境因子是季节降水量变化、海拔、温度季节变动及最干季降水量。区域内的居民点对藏野驴的生境适宜性也有较大影响, 藏野驴偏好利用距离居民点 1000—3000 m 范围的生境, 这与藏野驴对该区域较好的草地资源和水源的正向选择有关。基于研究结果, 建议尽快完成三江源国家公园唐北区的勘界和界桩布设, 修复藏野驴非适宜生境, 优化其生境保护。青海和西藏两省应加强协作, 共同保护唐北区域的藏野驴。同时, 提高当地社区的野生动物保护意识, 发展替代生计, 完善生态补偿, 提升生态产品价值。

**关键词:** 三江源唐北区域; 藏野驴(*Equus kiang*); 生境适宜性; MaxEnt 模型

## Habitat suitability analysis for Tibetan Kiang (*Equus kiang*) in the Area North of Tanggula Mountain in Sanjiangyuan

AN Zhengxu<sup>1</sup>, WU Jiayi<sup>1</sup>, LU Xiaoping<sup>1</sup>, WANG Jing<sup>2</sup>, ZHA Xi<sup>3</sup>, SANGZHU Zhaxi<sup>3</sup>, GENG Shuo<sup>1</sup>, ZHU Yinjiu<sup>3</sup>, LI Ning<sup>1</sup>, MENG Xiuxiang<sup>1,3,\*</sup>

1 School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China

2 School of Customs and Public Administration, Shanghai Customs College, Shanghai 201204, China

3 College of Science, Tibet University, Lhasa 850000, China

**Abstract:** The Area North of Tanggula Mountain in Sanjiangyuan (ANTS) is located at the junction of Qinghai Province and the Tibet Autonomous Region, which is a crucial part of the Sanjiangyuan National Park. Owing to the extreme environmental conditions, the relative deficiency of the preexisting working foundation, and the ambiguous management responsibilities arising from administrative divisions, there is a need to strengthen the scientific research and conservation

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(32170489, 32470531); 上海市“科技创新行动计划”扬帆专项(22YF1415500); 西藏林业草原生态保护恢复资金建设项目

收稿日期: 2024-05-30; 网络出版日期: 2024-12-23

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: meng2014@ruc.edu.cn

efforts concerning endangered animal populations and their habitats in the ANTS. Tibetan Kiang (*Equus kiang*), a key flagship species in the ANTS, is critically endangered and classified as a national-level protected animal in China. Enhancing the effectiveness and sustainability of protection for the endangered Tibetan Kiang hinges on a deep understanding of its habitat suitability, distribution, characteristics, and key influencing factors. This study conducted field surveys, infrared camera monitoring, and queried existing online databases in the ANTS to ascertain the distribution points of the Tibetan Kiang, and used the Maximum Entropy Model, combined with ecological climate, topography, and human activities within the area, to analyze the habitat suitability of the Tibetan Kiang in the ANTS. The findings revealed that suitable Tibetan Kiang habitats in ANTS are predominantly in the central region, spanning 28335 km<sup>2</sup>(41.8% of the total area), whereas unsuitable habitats predominantly lie in the northwest and southeast; over 30% of suitable habitats for the Tibetan Kiang fall outside the national park's boundaries. The main environmental factors affecting habitat suitability for Tibetan Kiang in ANTS are precipitation seasonality, altitude, temperature seasonality, and precipitation of the driest quarter. Residential settlements within the region have a considerable impact on the habitat suitability for the Tibetan Kiang. The Tibetan Kiang prefers to utilize habitats within a range of 1000 to 3000 meters from residential areas, which is associated with its positive selection for the area's better grassland resources and water sources. In light of these findings, recommendations include accelerating the demarcation and boundary marker installation for ANTS within the Sanjiangyuan National Park, rehabilitating suboptimal habitats for Tibetan Kiangs, and bolstering conservation efforts for their habitats. Qinghai and Tibet should strengthen collaboration to jointly protect the Tibetan Kiang in the Tangbei region. Additionally, it is essential to raise the local community's awareness of wildlife conservation, develop alternative livelihoods, improve ecological compensation, and increase the value of ecological products.

**Key Words:** Area North of Tanggula Mountains in Sanjiangyuan; Tibetan Kiang (*Equus kiang*); habitat suitability; MaxEnt model

三江源唐古拉山以北区域(以下简称“唐北区域”)位于青海和西藏交界处,地处唐古拉山以北、可可西里以南,具有典型的高寒草原草甸及高寒湿地生态系统,是全球生物多样性保护热点区之一<sup>[1]</sup>,生态环境十分脆弱,其生态保护对于区域和全流域的生态安全屏障构建具有重要意义<sup>[2]</sup>。但长期以来,青海和西藏自治区间存在的对三江源唐北区域的行政区划、权属边界及管理权限的争议,以及区域内的传统畜牧业生产等可能影响藏野驴(*Equus kiang*)等大型有蹄类动物的生存<sup>[3]</sup>。我国于2021年设立三江源国家公园,将青海省行政区域内、唐古拉山以北西藏自治区实际使用管理的相关区域(唐北区域)纳入三江源国家公园范围,并实行青藏两省区“统一规划、统一政策,分别管理、分别负责”机制,推动与加强了该区域生态系统的保护和修复<sup>[4]</sup>。当前三江源国家公园唐北区域尚在建设初期,存在基础设施差、生态管控力量不足、科研基础薄弱等问题<sup>[4]</sup>,迄今缺失对于该区域的藏野驴等大型旗舰物种及栖息地的研究,这极不利于对该区域的生态保护。

藏野驴是青藏高原特有物种,分布于我国及周边的尼泊尔等国家<sup>[5-6]</sup>。由于偷猎、过度放牧等原因,藏野驴种群数量不断下降<sup>[7]</sup>,被列为国家一级重点保护野生动物。目前三江源及三江源唐北区邻近的羌塘高原和阿尔金山等区域的藏野驴适宜生境面积有所增加<sup>[5,8]</sup>。当前藏野驴等大型有蹄类动物在三江源国家公园区域的研究已开展较多,如郭兴健等<sup>[9]</sup>对三江源国家公园黄河源区藏野驴生境及种群数量进行了调查;曾晓明等<sup>[10]</sup>对整个三江源地区的藏野驴栖息地适宜性进行了分析;黄青东智等<sup>[11]</sup>探究了三江源国家公园黄河源区道路对藏野驴种群数量和栖息地的影响。迄今缺乏对三江源唐北区域藏野驴生境适宜性的研究。唐北区域是三江源区内海拔最高的区域,平均海拔达4500 m以上,自然环境特殊、环境条件恶劣<sup>[12]</sup>,对三江源其他区域藏野驴生境的研究结果不能为唐北区域藏野驴等大型有蹄类动物的保护提供有效参考。此外,唐北区域分布的传统藏族社区对藏野驴等野生动物的潜在影响也一直缺乏研究,而相关结果是开展藏野驴等濒危野生动物保护的前提和基础。

MaxEnt 模型基于已知的物种分布点和环境变量来对物种的生境适宜性进行空间分布的预测,具有误差小、稳定性强及准确性高等特点<sup>[13]</sup>,已被广泛应用于珍稀濒危动物的生境适宜性分析<sup>[14]</sup>。本研究通过实地调查和红外相机监测采集三江源唐北区域的藏野驴分布数据,运用 MaxEnt 模型对藏野驴生境适宜性进行分析,探讨气候、地形及人为影响等因素对藏野驴生境适宜性的影响。研究结果将为三江源唐北区域及青藏高原的藏野驴及同域濒危物种的种群和生境保护提供重要参考。

## 1 研究区域及方法

### 1.1 研究区概况

三江源唐古拉山以北区域( $39^{\circ}12'45''$ — $32^{\circ}26'3''$  N,  $89^{\circ}37'57''$ — $94^{\circ}36'3.79''$  E)(图 1)位于唐古拉山以北、可可西里以南,平均海拔 4500 m 以上,为高原大陆性气候,是长江和澜沧江的发源地,分布有藏野驴、藏原羚(*Procapra picticaudata*)、野牦牛(*Bos mutus*)、岩羊(*Pseudois nayaur*)、雪豹(*Panthera uncia*)及藏狐(*Vulpes ferrilata*)等国家重点保护动物<sup>[15]</sup>。

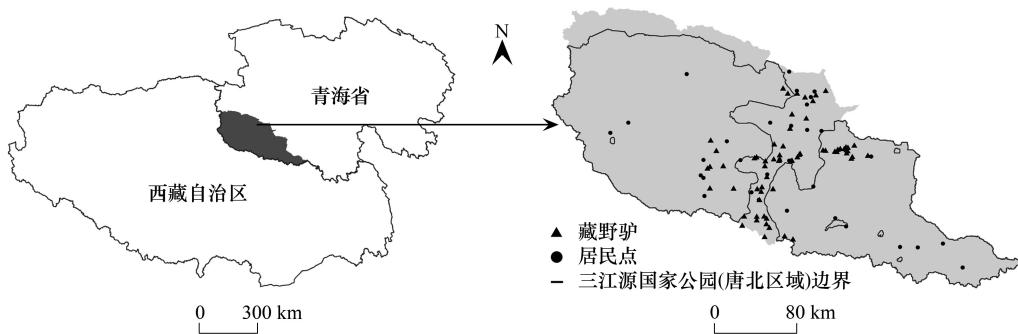


图 1 研究区位置示意图

Fig.1 Location of study area

### 1.2 物种分布点位获取与处理

藏野驴的生境调查于 2023 年 8 月 1 日—15 日及 2024 年 3 月 15 日—30 日期间进行。调查基于样线进行,每条调查样线长 10 km,驾驶车辆以 30 km/h 左右的速度行驶,记录沿途观测到的藏野驴位置信息,获取藏野驴点位 30 个。此外,基于 2023 年 8 月 1 日至 12 月 1 日间的红外相机监测,获取藏野驴点位 15 个,并从全球生物多样性数据库 GBIF (<https://www.gbif.org/>) 中获取藏野驴点位 44 个。共获取藏野驴分布点位 89 个。

为减少在同一栅格区域内出现多个重复点的情况,对藏野驴分布位点位进行筛选,减少由于样本点空间自相关对构建生态位模型所造成的负面影响,以提高模型精确度。使用 ArcGis10.8 软件对所有藏野驴分布点位进行邻域分析,剔除相邻 1 km 以内的点位<sup>[16]</sup>,最终筛选出 63 个藏野驴点位。

### 1.3 环境变量的获取与处理

如表 1 所示,在全球气象数据库 (Global Climate Date) (<https://worldclim.org/>) 中获取 19 个生物气候因子;从地理空间数据云 (<https://www.gscloud.cn/>) 中获取 DEM 高程数据,经 ArcGis10.8 软件处理获取坡度和坡向数据;从全国地理信息资源目录服务系统 (<https://www.webmap.cn/>) 获取河流与居民点的分布数据,并经 ArcGis10.8 软件计算得到“距河流距离”和“距居民点距离”数据,使用重分类将“距居民点距离”划分为 5 个水平,即 0—200 m、200—500 m、500—1000 m、1000—3000 m 和 3000 m 以上。

基于 ArcGIS10.8 软件,对上述环境变量统一边界大小,同时统一投影坐标系为 WGS\_1984\_UTM\_Zone\_46N,统一像元大小为 30 m×30 m。将处理后的环境变量导出为 MaxEnt 模型运行所需的 ASCII 格式。

环境变量之间可能存在自相关和多重线性重复等问题,影响模型的预测结果。对此,本研究基于预试验

并对环境变量进行了相关性分析,在相关性高( $>0.9$ )的环境变量之间保留对模型贡献率较高的环境变量,剔除贡献率较低或没有贡献的环境变量,提高模型预测结果的准确度<sup>[16—17]</sup>。

表1 环境变量筛选结果

Table 1 Filter results of environment variables

代码 Code	描述 Description	是否选用 Whether to select	代码 Code	描述 Description	是否选用 Whether to select
Bio1	年平均气温	否	Bio13	最湿月降水量	否
Bio2	平均气温日较差	否	Bio14	最干月降水量	是
Bio3	等温性(Bio2/Bio7)( $\times 100$ )	否	Bio15	季节降水量变化(变异系数)	是
Bio4	温度季节变动(标准差 $\times 100$ )	是	Bio16	最湿季降水量	否
Bio5	最热月最高温度	否	Bio17	最干季降水量	是
Bio6	最冷月最低温度	否	Bio18	最暖季降水量	否
Bio7	气温年较差(Bio5—Bio6)	是	Bio19	最冷季降水量	否
Bio8	最湿季均温	否	DEM	海拔	是
Bio9	最干季均温	否	Slope	坡度	否
Bio10	最暖季均温	否	Aspect	坡向	否
Bio11	最冷季均温	否	River	距河流距离	是
Bio12	年降水量	否	Settlement	距居民点距离	是

Bio1: 年平均气温 Annual mean temperature; Bio2: 平均气温日较差 Mean diurnal range; Bio3: 等温性 Isothermality; Bio4: 温度季节变动 Temperature seasonality; Bio5: 最热月最高温度 Max temperature of warmest month; Bio6: 最冷月最低温度 Min temperature of coldest month; Bio7: 气温年较差 Temperature annual range; Bio8: 最湿季均温 Mean temperature of wettest quarter; Bio9: 最干季均温 Mean temperature of driest quarter; Bio10: 最暖季均温 Mean temperature of warmest quarter; Bio11: 最冷季均温 Mean temperature of coldest quarter; Bio12: 年降水量 Annual precipitation; Bio13: 最湿月降水量 Precipitation of wettest month; Bio14: 最干月降水量 Precipitation of driest month; Bio15: 季节降水量变化 Precipitation seasonality; Bio16: 最湿季降水量 Precipitation of wettest quarter; Bio17: 最干季降水量 Precipitation of driest quarter; Bio18: 最暖季降水量 Precipitation of warmest quarter; Bio19: 最冷季降水量 Precipitation of coldest quarter; DEM: 海拔 Altitude; Slope: 坡度 Slope; Aspect: 坡向 Aspect; River: 距河流距离 Distance from river; Settlement: 距居民点距离 Distance from settlements

#### 1.4 MaxEnt 模型的建立、优化与运行

MaxEnt 模型采用受试者工作特征曲线(Receiver operating characteristic curve, ROC)和曲线下的面积(Area under curve, AUC)来对模型运行预测的结果进行检验,其值越大,表明环境变量和预测物种地理分布模型之间的相关性越强,产生结果的精确度越高。通常 AUC 值 0.5—0.6 为失败,0.6—0.7 为较差,0.7—0.8 为一般,0.8—0.9 为精确,0.9—1.0 为十分精确<sup>[18]</sup>。

将筛选过后的物种分布点位数据和环境变量数据按照相应的格式导入到 MaxEnt3.4.4 当中,选取 75% 的数据用于建立模型,25% 的数据用于精度验证。进行模型的调优之后,选择最优参数进行模型的构建,在 feature class selection 中勾选 Linear features、Quadratic features 和 Hinge features,  $\beta$  值设置为 1<sup>[19]</sup>,采用刀切法(Jackknife)来检测变量的重要性,采用均匀抽样方法(Bootstrap)重复运行 10 次,采用 10 次的运算结果的均值为最终预测结果。

## 2 研究结果

### 2.1 模型评估结果

由 MaxEnt 模型生成的 ROC 曲线图如图 2 所示。经过 10 次重复后,藏野驴 AUC 值为 0.939,高于 0.9,达到了优秀水平,表明藏野驴的生境适宜性分布的预测结果具有很高的准确度。

### 2.2 三江源唐北区域藏野驴生境适宜性分布

将 MaxEnt 模型预测产生的三江源唐北区域藏野驴生境适宜性分析结果数据导入 ArcGIS 10.8,对实验结果进行重分类(图 3),采用自然间断点法划分为 4 个适生等级<sup>[17]</sup>,即不适宜区(0—0.087)、低适宜区(0.087—

0.251)、中适宜区(0.251—0.467)和高适宜区(0.467—1)。其中,不适宜区生境面积为 $39407\text{ km}^2$ ,占比为58.2%;适宜区总面积为 $28335\text{ km}^2$ ,占比为41.8%,主要分布在三江源唐北区域的中部。在藏野驴的适宜区生境中,低适宜区生境面积为 $15983\text{ km}^2$ ,占比为23.6%;中适宜区生境面积为 $8440\text{ km}^2$ ,占比为12.5%;高适宜区生境面积最少为 $3912\text{ km}^2$ ,仅占5.8%。研究区域中,有69.3%( $19633\text{ km}^2$ )的藏野驴适宜区生境已列入三江源国家公园(唐北区域)范围,有82.5%的低适宜区、57.9%的中适宜区和40.1%的高适宜区生境被列入保护区范围,仍有超过30%的藏野驴适宜区未被列入国家公园范围。

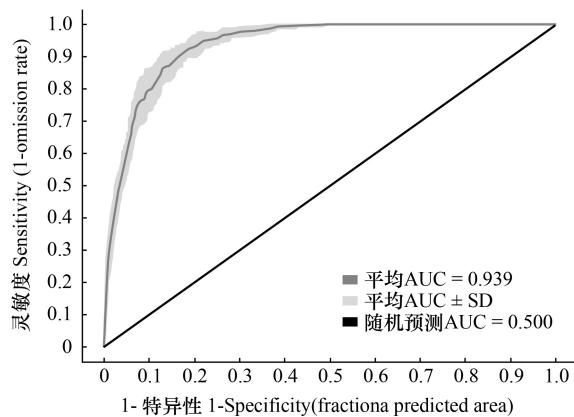


图2 MaxEnt 模拟藏野驴生境适宜性分布结果的 ROC 曲线验证结果

Fig.2 ROC Curve validation for MaxEnt modeled habitat suitability of Tibetan Kiang

ROC 曲线:受试者工作特征曲线 Receiver operating characteristic curve; AUC:ROC 曲线下面积 Area under ROC curve; SD: 标准差 Standard Deviation

### 2.3 环境变量贡献率

由 Jackknife 检验结果可知(表2),季节降水量变化(32.8%)、海拔(18.8%)、温度季节变动(17%)和最干季降水量(10.3%)为贡献率相对较高的环境变量,是影响三江源唐北区藏野驴生境适宜性的关键环境变量,累计贡献率为78.9%。

### 2.4 主要环境变量响应曲线

主要环境变量的响应曲线如图4所示。三江源唐北区的藏野驴生境适宜性主要受到降水、海拔和温度的影响。在降水方面,藏野驴的适宜生境主要受到季节降水量变化和最干季降水量的影响,其中季节降水量变化起主要作用。季节降水量变化在110—119(变异系数)之间的生境适宜藏野驴生存,从110(变异系数)开始,藏野驴的存在概率不断上升,在116(变异系数)左右时达到峰值,随后持续下降;最干季降水量在4.5 mm开始,随最干季降水量的升高,藏野驴的存在概率不断升高,于6.5 mm左右达到峰值,随后下降。海拔从4400 m开始,随海拔高度攀升,藏野驴的存在概率不断上升,在4547 m达到峰值,随后存在概率缓慢下降。在温度方面,温度季节变动在837—885(标准差×100)时适宜藏野驴生存,从837(标准差×100)开始,藏野驴的存在概率随着温度季节变动的升高而升高,在856(标准差×100)时达到峰值,随后存在概率缓慢下降。

### 2.5 居民点对藏野驴生境适宜性的影响

居民点附近以放牧为主的人类活动对藏野驴的适宜生境分布也有一定的影响。在模型当中,距居民点距

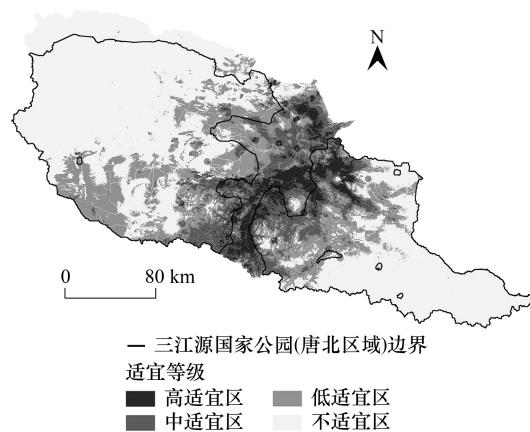


图3 三江源唐北区域藏野驴生境适宜性分布图

Fig.3 Habitat suitability distribution of Tibetan Kiang in the ANTS

ANTS:三江源唐古拉山以北区域 Area North of Tanggula Mountain in Sanjiangyuan

表2 环境变量贡献率

Table 2 Contribution rate of environmental variables

代码 Code	贡献率/% Contribution	代码 Code	贡献率/% Contribution
Bio15	32.8	Settlement	9.2
DEM	18.8	Bio14	6.4
Bio4	17	Bio7	3.1
Bio17	10.3	River	2.4

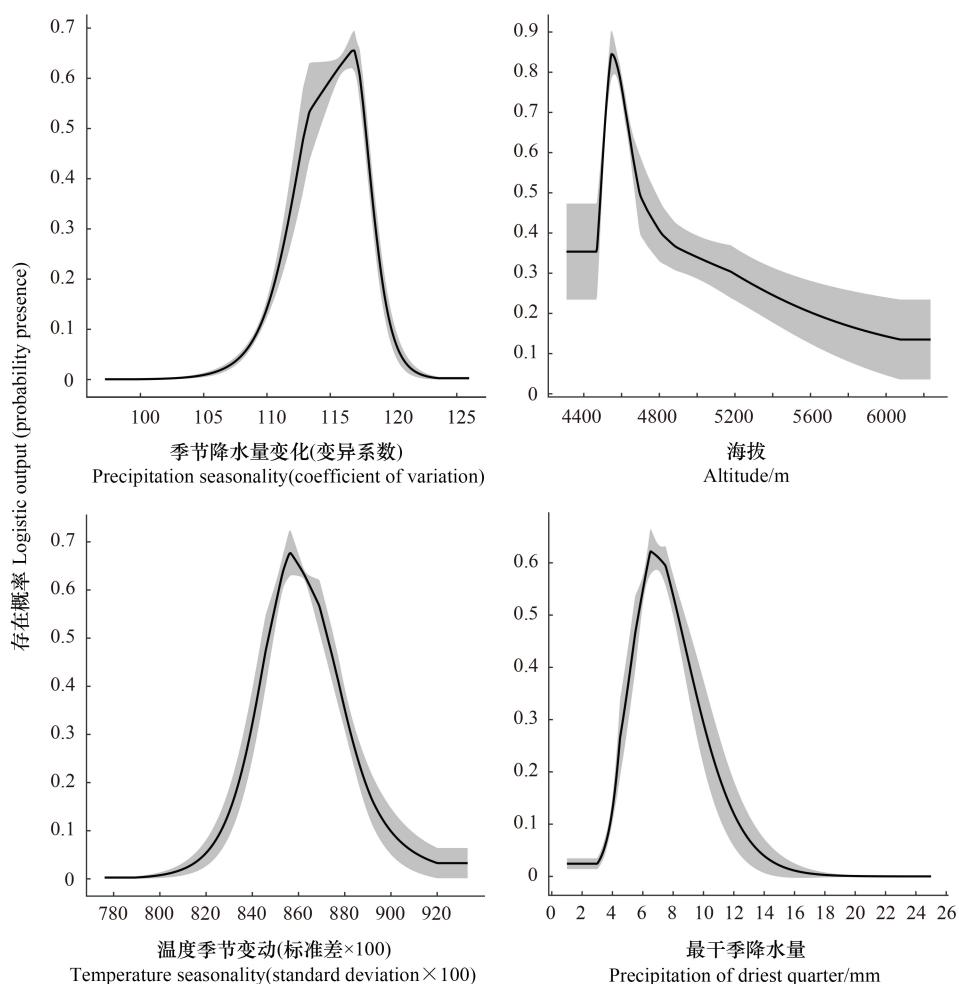


图4 主要环境因子响应曲线图

Fig.4 Response curves of key environmental factors

灰色阴影部分:平均响应±标准差

离的贡献率为9.2%。根据MaxEnt产生的响应图可知(图5),在距居民点1000—3000 m范围内的生境中的藏野驴存在概率最高,达0.837,当超过3000 m时,存在概率最低,为0.437。

### 3 讨论

生境是动物的活动场所,生境为动物生存提供必要资源和栖息基底<sup>[20]</sup>,生境是动物根据自身的需求,综合选择海拔、水源、食物、种间竞争和人类活动等环境因素的结果。藏野驴主要以禾本科(Poaceae)植物为食,食用占比超过90%<sup>[21]</sup>。藏野驴对干旱、寒冷具有极高的耐受力,能够在没有水的情况下生存数天,在干旱时期,它们会在河边地下水位高的地方挖掘寻找水源<sup>[22]</sup>。吴娱等<sup>[23]</sup>的研究表明,距离水源的远近对于藏野驴的分布影响不大,这和本文研究结果相同,即距河流距离的环境变量在模型运行当中的贡献率较低。

降水是影响三江源唐北区域藏野驴适宜分布区的主要因素。其中季节降水量变化是影响藏野驴生境的主要环境因子,季节降水量变化反映了一个区域一年中降水量的波动大小,影响当年植被生长<sup>[24]</sup>,从而对动物的生境利用和适宜性产生间接影响。在三江源唐北区域,植物生长主要受生长季节的降水量控制<sup>[25]</sup>,因植物对水热因子的年际变化敏感性较高,季节降水量波动较大相对不利于植物的生长<sup>[26]</sup>。藏野驴对干旱的耐受度较高,因此,降水主要通过作用于植物来间接影响藏野驴的食物资源,进而影响藏野驴的生境适宜区的分

布。相较于降水量波动较小的区域,降水量波动较大区域的植被生长状况较差,藏野驴的食物资源相对较少。对研究区内的季节降水量波动较小区域的分析结果表明,区域的年降水量较多且降水稳定年份及区域内的莎草科等植物处于优势地位,抑制了禾本科植物等藏野驴喜食植物种的生长<sup>[27]</sup>,因此藏野驴的分布概率反而较低。曾晓明等<sup>[10]</sup>的研究表明,三江源地区藏野驴在1990—2020年生境的变化,在年降水量波动上升的趋势下,藏野驴适宜栖息地的面积呈先减少后增加的态势,与年降水量变化趋势不一致,可能也是季节降水量分布不同的原因。

除降水之外,海拔和温度也是影响藏野驴适宜生境分布的重要因子。曾晓明等<sup>[10]</sup>的研究表明,三江源地区藏野驴适宜栖息地分布于海拔3440—4970 m。本研究结果表明,三江源唐北区域藏野驴适宜分布区在海拔4300—5400 m之间,在4500 m左右的区域,藏野驴分布概率最大,说明相对三江源其他区域的藏野驴,三江源唐北区的藏野驴分布海拔偏高,这与三江源唐北区地处藏北高原腹地,平均海拔较高(达4500 m以上)有关,如同处藏北的羌塘高原改则县的藏野驴适宜生境分布海拔为4400—4600 m间<sup>[8]</sup>。海拔高度与植被的分布有关<sup>[28]</sup>,海拔过高的区域,植被稀疏<sup>[17]</sup>,藏野驴难以获取食物。

在温度方面,藏野驴的适宜生境分布主要受到了温度季节变动的影响。藏野驴对寒冷有较强的耐受力,因此温度的季节变动可能主要通过作用于植被的生长<sup>[26,29]</sup>,从而影响藏野驴的食物的来源,间接影响藏野驴的生境适宜区分布。

当野生动物栖息地和人类居住地重合时,会难以避免地发生人兽冲突<sup>[3,30—31]</sup>。在三江源唐北区域分布有较多的牧民点及藏族乡镇,传统的畜牧产业发达,其放牧的牦牛等家畜会与藏野驴等野生食草动物发生草场和食物的竞争<sup>[32]</sup>。本研究结果显示,三江源唐北区的藏野驴更倾向于选择距离居民点1000—3000 m的区域,这印证了邵全琴等<sup>[33]</sup>和郭兴健等<sup>[9]</sup>的研究结果。藏野驴倾向于在距离居民点1000—3000 m的区域活动,是因为三江源地区的居民点多分布在植被覆盖度较高的区域<sup>[34]</sup>,这些区域可以为藏野驴提供丰富的食物资源。距居民点过近区域,由于放牧活动的频繁可能会造成草场退化,而过远的区域植被覆盖度较低<sup>[34]</sup>,难以支持藏野驴的生存需求。此外,放牧能够通过改变土壤的物理和化学性质,直接或间接影响植物群落的多样性合组成<sup>[35]</sup>,居民点周围合理的放牧活动也可能提升草场的植被质量和营养水平<sup>[36]</sup>。除了对食物的需求之外,藏野驴偏好在距离居民点1000—3000 m的地区活动可能是因为人类活动会对藏野驴的天敌动物产生干扰,从而降低其被天敌捕杀的概率<sup>[37]</sup>。Ronald等<sup>[37]</sup>发现,狼在追逐野生动物时发现家畜会更倾向于狩猎家畜。因此,藏野驴在居民点附近活动可以减少被狼等天敌猎杀的概率。综上所述,藏野驴倾向于在距居民点1000—3000 m这一适中距离范围内活动,可能是其在食物资源和栖息地质量之间进行权衡的结果,同时也说明传统牧民点及其活动不可避免地对藏野驴的分布存在影响。

本研究表明,在三江源唐北区域,藏野驴的适宜生境主要分布在该区域中部。相较于研究区域中部,该区域的西北区域的降水相对较少且降水季节性波动过大,食物和水源较为匮乏;而研究区东南区域降水量较多且稳定,导致藏野驴主要食用的禾本科植物较少<sup>[27]</sup>,且该地区多有沼泽生境<sup>[1]</sup>,而藏野驴更喜欢开阔的草原环境<sup>[10,22]</sup>。

国家公园是由国家批准设立的边界清晰、保持自然生态系统的原真性和完整性、维持生物多样性、保障生态安全屏障的重要陆域或海域<sup>[38]</sup>。但是为了避让永久基本农田、镇村等,国家公园范围内存在着大量“天

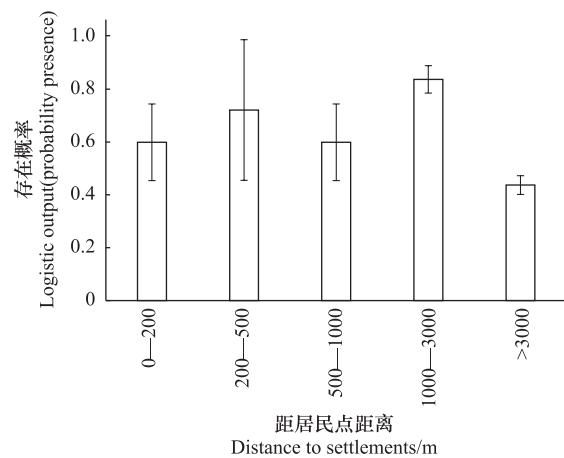


图5 藏野驴存在概率与居民点的关系

Fig.5 Relationship between the presence probability of Tibetan Kiang and human settlements

窗”,即在国家公园地理边界中存在的不属于国家公园的区域,造成国家公园空间上的不完整<sup>[39]</sup>。这种情况在三江源唐北区域同样存在,且有近一半的藏野驴中高适宜生境位于“天窗”当中,这些区域中的人类活动并不受国家公园管控,会对“天窗”中藏野驴生境造成一定程度的破坏,且这些影响也会渗透到国家公园内<sup>[39]</sup>。例如,该区域“天窗”中青藏公路和铁路的贯穿可造成藏野驴栖息地的割裂与丧失<sup>[11]</sup>;居民点附近过度的放牧活动会造成草场的破坏<sup>[34]</sup>,从而影响藏野驴的食物来源。在未来具体的保护实践中,可进一步优化国家公园的规划,扩大三江源国家公园的范围,将藏野驴适宜生境纳入国家公园范围,同时对于不能纳入国家公园的“天窗”部分也应进行一定程度的管理和限制。

#### 4 结论及建议

基于本研究结果,对三江源唐北区域藏野驴的保护提出如下建议:

- 1) 尽快完成对三江源国家公园唐北区边界确定和界桩布设,加强对国家公园区外的藏野驴种群和生境的保护和管理,在未来的国家公园建设实践中,可将国家公园外的藏野驴的高适宜性生境纳入国家公园范围;
- 2) 对三江源唐北区域的藏族社区开展环境教育和生态保护意识提供活动,增加传统藏族社区对藏野驴等野生动物的主动保护意愿。此外,实施替代生计的设计和试点,增设带薪岗位等生态补偿措施,提升畜牧业和旅游等区域性生态产品产业链设计和价值实现,减少当地社区对放牧等传统生计的依赖,以减少当地社区对藏野驴等野生动物的负面影响;
- 3) 因三江源唐北区域地处西藏和青海交界区域,藏野驴等野生动物的区域性和长距离的生境变动、扩散和迁移等极易导致动物种群在两省区域间活动,因此,青海省与西藏自治区的相关地区、县份及乡镇应共同构建一个协同的野生动物保护机制,提升对三江源唐北区域生态保护的有效性。

#### 参考文献(References):

- [1] 张丽云,郭克疾,李炳章,吕永磊,张路,欧阳志云. 唐古拉山以北地区生态资产核算. 生态学报, 2020, 40(10): 3229-3235.
- [2] 张爱儒,高新才. 青海藏区重要生态功能区生态脆弱度评价研究——以三江源生态功能区为例. 西藏大学学报(社会科学版), 2015, 30(1): 1-8.
- [3] 张同作,江峰,张婧捷,蔡振媛,高红梅,顾海峰,宋鹏飞. 三江源国家公园野生动物保护与管理对策. 兽类学报, 2023, 43(2): 193-205.
- [4] 国家林业局. 三江源国家公园(唐古拉山以北西藏自治区实际使用管理区)总体规划顺利通过西藏自治区政府专题会审查. (2021-12-22) [2024-06-27]. <https://www.forestry.gov.cn/c/kmy/xxdt/333888.jhtml>.
- [5] 苏旭坤,董世魁,刘世梁,刘颖慧,石建斌,吴娱,张翔,许东华. 阿尔金山自然保护区土地利用/覆盖变化对藏野驴栖息地的影响. 生态学杂志, 2014, 33(1): 141-148.
- [6] 王鑫鑫. 西藏羌塘地区藏野驴的种群调查及行为初探[D]. 南京:南京大学, 2021.
- [7] Schaller G B. Wildlife of the Tibetan steppe. Chicago: University of Chicago Press, 1998.
- [8] Qiao T, Xu Z R, Wei Z Q. Estimation of the Tibetan wild ass population in Gaize County of Chang Tang Plateau based on the belt transect method and random forest model. Journal of Resources and Ecology, 2022, 13(5): 860-869.
- [9] 郭兴健,邵全琴. 基于无人机遥感的三江源国家公园藏野驴种群数量及生境时空变化研究. 生态学报, 2023, 43(19): 7886-7895.
- [10] 曾晓明,杨莹,巩勿然,杨东东. 三江源地区藏野驴、藏原羚栖息地适宜性评价及动态趋势. 四川动物, 2023, 42(4): 371-380.
- [11] 黄青东智,陈刘阳,李尚鹏,孙章运,杨明新,张德喜,李成先,毛锐锐,李泽宇,张立勋. 道路对三江源国家公园黄河源园区藏野驴和藏原羚种群数量及其栖息地的影响. 兽类学报, 2022, 42(1): 34-48.
- [12] 张路,李炳章,郭克疾,刘峰. 西藏唐北地区湖泊动态及空间格局预测. 应用生态学报, 2019, 30(8): 2793-2802.
- [13] 白君君,侯鹏,赵燕红,徐海涛,张兵. 物种生境适宜性模型及验证的研究进展. 生态学杂志, 2022, 41(7): 1423-1432.
- [14] 丁彦珂,姚志诚,赵唱,张致荣,陈俊达,滕丽微,刘振生. 贺兰山马麝(*Moschus chrysogaster*)生境适宜性评价. 生态学报, 2023, 43(8): 3150-3156.
- [15] 三江源国家公园管理局. 三江源国家公园总体规划(2023—2030). (2023-08-02) [2024-06-27]. <https://sjy.qinghai.gov.cn/govgk/gknr/gsgg/25729.html>.

- [16] 迟翔文, 江峰, 高红梅, 覃雯, 吴彤, 张婧捷, 蔡振媛, 张同作. 三江源国家公园雪豹和岩羊生境适宜性分析. 兽类学报, 2019, 39(4): 397-409.
- [17] 张振西, 林扎西尖措, 高太侦, 王晓龙, 苏雪军, 谢久祥. 基于 MaxEnt 模型的天峻县大型野生草食动物生境适宜性评价. 中国草食动物科学, 2023, 43(1): 13-18.
- [18] Swets J A. Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 1988, 240(4857): 1285-1293.
- [19] Elith J, Phillips S J, Hastie T, Dudik M, Chee Y E, Yates C J. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. Diversity and Distributions, 2011, 17(1): 43-57.
- [20] Padié S, Morellet N, Mark Hewison A J, Martin J L, Bonnot N, Cargnelutti B, Chamaillé-Jammes S. Roe Deer at risk: teasing apart habitat selection and landscape constraints in risk exposure at multiple scales. Oikos, 2015, 124(11): 1536-1546.
- [21] 殷宝法, 淮虎银, 张镱锂, 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.
- [22] Jiang F M. Equus Kiang: Wanderer of the Plateau. China Today, 2018, 67(10): 64-65.
- [23] 吴娱, 董世魁, 张相锋, 刘颖慧, 石建斌, 张翔, 苏旭坤, 王学霞, 李媛媛. 阿尔金山保护区藏野驴和野牦牛夏季生境选择分析. 动物学杂志, 2014, 49(3): 317-327.
- [24] 李德新, 白永飞, 赵虎生. 降水量的季节分配对羊草种群地上生物量影响的数学模型. 中国草地, 1996, 18(6): 1-5.
- [25] Zhao J X, Luo T X, Li R C, Li X, Tian L H. Grazing effect on growing season ecosystem respiration and its temperature sensitivity in alpine grasslands along a large altitudinal gradient on the central Tibetan Plateau. Agricultural and Forest Meteorology, 2016, 218: 114-121.
- [26] 李翔, 王忠, 赵景学, 罗天祥. 念青唐古拉山南坡高寒草甸生产力对温度和降水变化的敏感性及其海拔分异. 生态学报, 2017, 37(17): 5591-5601.
- [27] 雷石龙, 廖李容, 王杰, 张路, 叶振城, 刘国彬, 张超. 高寒草地植物多样性与 Godron 群落稳定性关系及其环境驱动因素. 草业学报, 2023, 32(3): 1-12.
- [28] 高浩翔, 申立泉, 刘瑞, 王功, 张爱萍, 陈蕾, 张毅桢, 张学炎, 祁军, 王春玲, 耿硕, 周鑫, 吕青昕, 吴佳亿, 孟秀祥. 基于最大熵模型的野生马麝夏季生境适宜性研究. 生态学报, 2023, 43(1): 441-448.
- [29] 李英年, 关定国, 赵亮, 古松, 赵新全. 海北高寒草甸的季节冻土及在植被生产力形成过程中的作用. 冰川冻土, 2005, 27(3): 311-319.
- [30] Samoilik T, Selva N, Daszkiewicz P, Fedotova A, Wajrak A, Kuijper D P J. Lessons from Białowieża Forest on the history of protection and the world's first reintroduction of a large carnivore. Conservation Biology, 2018, 32(4): 808-816.
- [31] 赵晓娜, 陈琼, 支泽民. 三江源国家公园人兽冲突风险评价. 野生动物学报, 2024, 45(1): 148-156.
- [32] 苏凯文, 任婕, 黄元, 杨洁, 温亚利. 自然保护地人兽冲突管理现状、挑战及建议. 野生动物学报, 2022, 43(1): 259-265.
- [33] 邵全琴, 郭兴健, 李愈哲, 汪阳春, 王东亮, 刘纪远, 樊江文, 杨帆. 无人机遥感的大型野生食草动物种群数量及分布规律研究. 遥感学报, 2018, 22(3): 497-507.
- [34] 王素慧, 贾绍凤, 吕爱锋. 三江源地区植被盖度与居民点的关系研究. 资源科学, 2012, 34(11): 2045-2050.
- [35] Zhang H R, Fu G. Responses of plant, soil bacterial and fungal communities to grazing vary with pasture seasons and grassland types, northern Tibet. Land Degradation & Development, 2021, 32(4): 1821-1832.
- [36] 付刚, 王俊皓, 李少伟, 何萍. 藏北高寒草地牧草营养品质对放牧的响应机制. 草业学报, 2021, 30(9): 38-50.
- [37] Bjorge R R, Gunson J R. Evaluation of wolf control to reduce cattle predation in Alberta. Journal of Range Management, 1985, 38(6): 483.
- [38] 徐卫华, 赵磊, 韩梅, 欧阳志云. 国家公园空间布局物种保护状况评估. 国家公园(中英文), 2023, 1(1): 11-16.
- [39] 欧阳志云, 唐小平, 杜傲, 臧振华, 徐卫华. 科学建设国家公园: 进展、挑战与机遇. 国家公园(中英文), 2023, 1(2): 67-74.