

DOI: 10.20103/j.stxb.202208042223

魏子谦, 徐增让, 乔添, 邹秀萍, 靳茗茗, 多布拉. 未来情景羌塘高原野牦牛栖息地分布及其影响因素. 生态学报, 2024, 44(8): 3317-3328.

Wei Z Q, Xu Z R, Qiao T, Zou X P, Jin M M, Dorblha. Habitat distribution and influencing factors of wild yak of Qiangtang Plateau in future scenarios. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(8): 3317-3328.

未来情景羌塘高原野牦牛栖息地分布及其影响因素

魏子谦^{1,2}, 徐增让^{2,*}, 乔添^{2,3}, 邹秀萍⁴, 靳茗茗⁵, 多布拉⁶

1 中国建筑科学研究院有限公司, 北京 100013

2 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

3 中国科学院大学, 北京 100049

4 中国科学院科技战略咨询研究院, 北京 100190

5 北京航天世景信息技术有限公司, 北京 100081

6 西藏拉萨市当雄县农业农村局兽医站, 拉萨 851500

摘要:近 30 年来,羌塘高原野牦牛(*Bos mutus*)种群数量虽缓慢恢复,但仍为野生有蹄类中仅有的易危物种。由于其对人为活动规避明显且具有极强的攻击性,野牦牛栖息地分布和质量数据仍很匮乏。把野外调查与最大熵(Maxent)、土地利用模拟模型(FLUS)、InVEST 三种模型相结合,系统分析羌塘高原野牦牛栖息地分布及其影响因素,并通过未来气候、未来土地覆被和未来食物情景构建 2050 年不同温室气体排放浓度(RCPs)情景下羌塘高原生境状况,预测栖息地变化状况,以期为青藏高原生物多样性维护提供数据支撑。结果发现:2020 年前后野牦牛栖息地总面积为 25.1 万 km²,集中分布在那曲市北部,阿里地区分布零散。栖息地以草原和荒漠为主,部分位于冰川区,野牦牛对气候条件反应敏感,偏好生活在暖季降雨量约在 200mm,冷季降雨量约 10mm,年最低温度-30℃的区域,坡度耐受性高。约 92%的野牦牛栖息地位于羌塘自然保护区内,仅有南部约 1.2 万 km²栖息地与人类活动交叠明显。2050 年前后羌塘高原暖湿化明显,草原面积增加,野牦牛栖息地将向西北部无人区扩张,目前栖息地分布较零散的阿里地区也将出现大面积高质量栖息地,三种 RCPs 情境下栖息地面积分别为 28.2 万 km²(RCP2.6)、28.4 万 km²(RCP4.5)和 28.0 万 km²(RCP8.5),新增栖息地以极重要栖息地为主,边界与羌塘自然保护区范围更加吻合,自然保护区体系建设将有力支撑野牦牛的保护。

关键词:野牦牛;青藏高原;气候变化;栖息地模拟;人为干扰;羌塘自然保护区

Habitat distribution and influencing factors of wild yak of Qiangtang Plateau in future scenarios

WEI Ziqian^{1,2}, XU Zengrang^{2,*}, QIAO Tian^{2,3}, ZOU Xiuping⁴, JIN Mingming⁵, Dorblha⁶

1 China Academy of Building Research, Beijing 100013, China

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

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

4 Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

5 SpaceWill Info. Co., Ltd, Beijing 100081, China

6 Veterinary Station of the Agricultural and Rural Bureau of Dangxiong County, Lhasa 851500, China

Abstract: In the past 30 years, the population of wild yaks (*Bos mutus*) has slowly recovered and is still the only vulnerable species among the wild ungulates on the Qiangtang Plateau. Due to its obvious avoidance of human activities and

基金项目:国家自然科学基金项目(41971263);第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0603);中国建筑科学研究院有限公司青年科研基金项目(20231201331030043);国家重点研发计划项目(2022YFE0119200)

收稿日期:2022-08-04; **网络出版日期:**2024-01-30

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

strong aggressiveness, there is still a lack of data on the distribution and quality of wild yak habitats. This study used a combination of field investigation and simulations using Maxent, Geo-FLUS, and InVEST models to systematically analyze the distribution and influencing factors of wild yak habitats on the Qiangtang Plateau. In the future climate, land cover, and food scenarios, the habitat conditions of the Qiangtang Plateau under different CO₂ concentrations in 2050 was constructed, and habitat changes were predicted to provide data support for biodiversity maintenance on the Qinghai Xizang Plateau. The results showed that the total habitat area of wild yaks around 2020 was 251000 km², concentrated in the northern plateau of Nagqu City, and scattered in the Ali district. The habitats composed mainly by alpine steppe and alpine desert steppe, with some scattered in glacial areas. Wild yaks were sensitive to climate and preferred to live in areas with warm season precipitation about 200mm and cold season precipitation of 10mm, the annual minimum temperature was -30°C, and could be tolerable to high slope. About 92% of the wild yak habitats were located within the Qiangtang National Nature Reserve, with only 12000 km² of the species' habitats distributed in the southern plateau that overlapping with human activities. In 2050, the average annual temperature of the Qiangtang Plateau will increase by about 2.7°C, with an increase of area in alpine steppe and water body, while a decrease of area in bare land and glaciers and snow cover. The habitats of wild yaks will spread to the northwest of the Qiangtang plateau, with habitats areas of 282000 km²(RCP2.6), 284000 km²(RCP4.5), and 280000 km²(RCP8.5) under the three RCPs scenarios, respectively. A large and continuous area of habitats will appear in the northern part of Ali district. Climate variables dominating among environmental factors will affect the future habitats situation of the species. Wild yaks will prefer to areas characterized by annual precipitation of 185mm. The Qiangtang national nature reserve has already and will play an important role in maintaining the habitats of wild yaks in the plateau.

Key Words: wild yak; Tibetan Plateau; climate change; habitat simulation; human interference; Qiangtang Nature Reserve

青藏高原自然地理条件独特、生态系统类型多样,分布有 120 余种濒危野生动物,其腹地羌塘高原被誉为“有蹄类野生动物的天堂”,是全球生物多样性保护关键和热点地区^[1]。中共中央第七次西藏工作座谈会强调“保护好青藏高原生态就是对中华民族生存和发展的最大贡献”。受全球气候变化影响,过去 50 年间青藏高原暖湿化明显,变暖速度超过全球同期 2 倍,达到过去 2000 年内最热水平^[2-3],但野牦牛(*Bos mutus*)、藏羚羊(*Pantholops hodgsonii*)、藏野驴(*Equus kiang*)等野生有蹄类对气候变化反应具有滞后性^[4-6],加之道路建设,过牧超载等人类活动影响,青藏高原生物多样性保护面临较大挑战^[7-8]。

野牦牛作为青藏高原动物区系的典型代表,是我国一级保护动物,世界自然保护联盟(IUCN)世界濒危动物红色名录易危(UV)物种^[9],濒危野生动植物种国际贸易公约(CITES)附录 I 物种,主要分布在以羌塘高原为核心的青藏高原高寒荒漠区,印控克什米尔也有少量分布。野牦牛比家牦牛更高大俊美,毛色分为黑色和金色两种,具有极强的领地意识,对人类活动规避明显^[10]。野牦牛栖息地多靠近水源,偏好高山草甸和矮半灌木林^[11-12]。对食物的选择多取决于季节和当地植被类型^[13-14],如青海地区的野牦牛夏春季多选择高原嵩草(*Carex coninux*)类植被,秋冬季选择高山干旱草原的针茅类^[10],而西藏羌塘高原的种群还会采食苔草和垫状驼绒藜等,高寒荒漠草原和高寒草甸为羌塘区系野牦牛提供了 90% 以上的食物^[15-16]。不同于藏羚羊的繁殖大迁徙,野牦牛常进行短距离且无明确目的地资源性迁徙^[4],暖季常在人类干扰较少的雪山或冰川活动,仅求偶等情况才会离开山区。但冷季山区食物资源匮乏,野牦牛到海拔较低的山脚下采食,与山下牧场、村落偶发冲突^[17]。在过去 30 年内羌塘高原野牦牛数量恢复性增长,从 1990 年代中期的 8000—8500 头^[18-20],上升至 2020 年前后的 11000—21000 头之间^[5, 7, 14, 21-22]。

羌塘国家自然保护区、羌塘藏羚羊野牦牛国家公园的相继设立以及生态保护红线的划定对野牦牛种群保护起到了很大作用^[8]。但是野牦牛数量稀少,对人类规避性、攻击性强,栖息地环境恶劣野外调查难度大,专

门针对野牦牛的科学考察 1984 年后才渐次开始^[18-19, 23],学者们在新疆阿尔金山和青海可可西里进行了野牦牛种群调查^[12, 15-16]。但西藏羌塘作为野牦牛分布的主要地区数据仍相对缺乏,现有资料无法为精准保护提供有力支撑。为此,本研究以羌塘高原为研究区,采用野外调查和物种分布模型相结合的方法,探讨在气候变化背景下野牦牛栖息地变化趋势。利用野生动物实测点位和最大熵(Maxent)模型模拟野牦牛已有栖息地分布,基于未来气候和土地覆被类型预测 2050 年的潜在栖息地分布,分析变化原因并挖掘栖息地潜力,完善生物多样性保护体系,优化自然保护地与生态保护红线格局。

1 研究方法

1.1 研究区

羌塘高原位于青藏高原的核心腹地,面积 77.5 万 km²。区域内地势高亢,海拔 4500—5100m。属典型大陆性高原气候,全年寒冷干燥,对全球气候变化敏感^[11]。生态系统类型涵盖高寒灌丛、高寒草甸、高寒草原、高寒荒漠性草原和荒漠等,为野牦牛、藏羚羊、藏野驴、藏原羚等数以万计有蹄类野生动物提供了栖息空间^[24]。北部的羌塘国家自然保护区已被列入中国生物多样性保护战略与行动计划重点区域^[8]。

1.2 研究方法与数据来源

1.2.1 样线调查法获取野牦牛分布点位

研究团队连续 4 年前往羌塘高原开展野生动物样线调查,分别为 2019 年 5 月和 8 月,2020 年 8 月和 2021 年 8 月和 2022 年 8 月。综合考虑野牦牛生理习性、地形特点并结合当地野生动物保护站访谈,布设调查样线 8221km,结合前人调研资料^[11, 18, 23, 25],共获取野牦牛出现点位 128 处。

1.2.2 最大熵模型模拟野牦牛分布概率

最大熵(Maxent)模型是以最大熵理论为基础的物种地理尺度空间分布模型,已广泛应用于地理学、生态学等领域^[26-27]。研究以野牦牛出现点位为训练和测试样本,选取气候、地形、食物和水源四类共 17 个环境因子^[28-30],将野牦牛点位(随机选取 80%的点位)和环境因子输入 Maxent 模型模拟野牦牛的分布概率,并采用其余 20%出现点位验证模拟精度。分布概率 P 越大,栖息地越重要。当 $P>0.6$ 时为野牦牛“极重要栖息地”, $0.25<P\leq 0.6$ 为“重要栖息地”, $0.15<P\leq 0.25$ 为“一般栖息地”, $P\leq 0.15$ 为“非栖息地”。在决定栖息地模拟的环境因子选择方面,选取了 11 个气候因子,包括描述研究区基本气候特点的年均气温、年均降雨量和平均昼夜温差,同时结合前人研究中对野牦牛栖息地的气候描述以及气候因子的相关性,尽可能选取了和野牦牛活动关系密切且相关性低的成对因子,如最冷和最暖月平均气温、最湿和最干月降雨量、冷季和暖季平均气温、最湿和最干月降雨量等,食物和水源条件因子选择了植被类型、土地覆被类型、植被净初级生产力(NPP)和距水源的距离。

1.2.3 国际耦合模式比较计划第五阶段(CMIP5)气候模式预测未来气候情景

2050 年羌塘高原气候情景采用 CMIP5 耦合模式比较计划的 3 种代表性温室气体浓度路径(RCPs)情景^[31-32]:1)RCP2.6:温室气体排放和辐射强度最低的情景,高度重视环境保护,地表植被盖度显著提升,人口和国内生产总值(GDP)增长率维持最低水平;2)RCP8.5:温室气体排放最高情景,人口增长速度快,能源革新速度缓慢,缺少应对全球气候变化的政策;3)RCP4.5:经济发展和气候变化相适应的情景,技术发展速度较快,人口增长速度适中,通过电能、低排放技术等适度限制温室气体排放,全球大部分区域基本可以实现社会经济的可持续发展。RCP4.5 也被认为是 2050 年中国出现概率最大的排放情景,将在 3 种情景比较分析的基础上,着重讨论 RCP4.5 情景下的野牦牛栖息地变化^[11, 33]。

1.2.4 土地利用模拟模型(FLUS)预测潜在土地覆被类型

土地覆被类型与栖息地的食物条件、连通性和遮蔽条件等密切相关,对野生动物分布起到重要作用。采用土地利用变化情景模拟软件(Geo-FLUS)模型预测了羌塘高原潜在土地覆被类型^[34-35]。利用过去 2001、2010、2020 年的历史土地覆被类型数据进行两次模型模拟和精度检验,再以 2020 年土地覆被类型为模拟基

年,以未来 RCP2.6、RCP4.5 和 RCP8.5 三种代表性气候情景和其他自然、人为因子为驱动因子,模拟预测 2050 年潜在土地覆被类型。FLUS 模型所需基础数据和驱动因子见表 1。

表 1 Maxent、FLUS 和 InVEST 模型数据来源
Table 1 Data sources of Maxent, FLUS and InVEST models

研究方法 Research methods	数据类别 Data categories	数据名称 Data names	数据来源 Data sources	
Maxent 栖息地模拟 Habitat simulation with Maxent	野生动物信息	野牦牛出现点位	野外样线调查、前人研究资料	
	现阶段环境因子	气候因子	年均气温、平均昼夜温差、最热月最高气温、最冷月最低气温、暖季平均气温、冷季平均气温、年均降雨量、最湿月降雨量、最干月降雨量、暖季降雨量和冷季降雨量	a
		地形因子	坡度、海拔	d
		食物因子	植被类型、植被净初级生产力(NPP)、土地覆被类型	《1:1000 中国植被图集》、b、c
	未来环境因子	水源因子	距水源距离	b
		气候因子	2050 年三种不同温室气体排放浓度(RCP)情景下对应的 11 个气候因子	a
		地形因子	坡度、海拔	d
食物因子		未来土地覆被类型、未来 NPP	FLUS 模拟结果、e	
FLUS 未来土地覆被类型模拟 Future Land Cover Simulation with FLUS	模拟基础数据	2001、2010、2020 年土地覆被类型	b	
	模拟驱动因子	自然因子	平均气温、年均降水、距水源距离、海拔、坡度、坡向	a、b、d
		人为因子	人口密度、国内生产总值(GDP) ^[36] 、距主要公路距离	c
InVEST 人为干扰模拟 Human interference simulation with InVEST	人为活动干扰因子	放牧、城乡聚落、交通道路	文献 ^[37] 、c	

数据来源:a; WorldClim1.4(www.worldclim.org/)采用了其中“Historical(历史数据集)”和“Future(未来数据集)”两个数据集;b; 2001、2010、2020 年 MODIS_MCD12Q1(earthdata.nasa.gov/)产品数据,该数据采用国际地圈生物圈计划(IGBP)(International Geosphere-Biosphere Programme)的全球植被分类方案;c; 资源环境数据云平台(www.resdc.cn/);d; 通过 ASTER_GDEM(earthdata.nasa.gov/)演算而来;e. 采用国家青藏高原数据中心(https://data.tpdc.ac.cn/)全球不同 CO₂ 浓度情景下模拟生态系统生产力数据^[37]

1.2.5 InVEST 模拟人为活动对栖息地的干扰

综合考虑羌塘高原草地放牧、城乡聚落、交通道路等主要人类活动,采用 InVEST3.5.0 Habitat Quality^[38] 模块,就人类活动对野牦牛栖息地质量的影响进行定量分析。因西藏地区人为活动整体水平偏弱,适度降低了强度划分标准,当结果中人为活动强度指数低于 0.025 时认为人类活动强度不足以对栖息地造成干扰,0.025—0.03 时对栖息地干扰较弱,0.03—0.04 时对栖息地产生干扰一般,高于 0.04 时干扰严重^[38]。方法详见文献^[39]。

2 研究结果

2.1 现阶段栖息地分布状况分析

2.1.1 野牦牛栖息地分布

野牦牛多出现在羌塘高原北部人迹罕至的高原丘陵,海拔高,植被相对稀疏,地形坡度大,河流和湖泊相

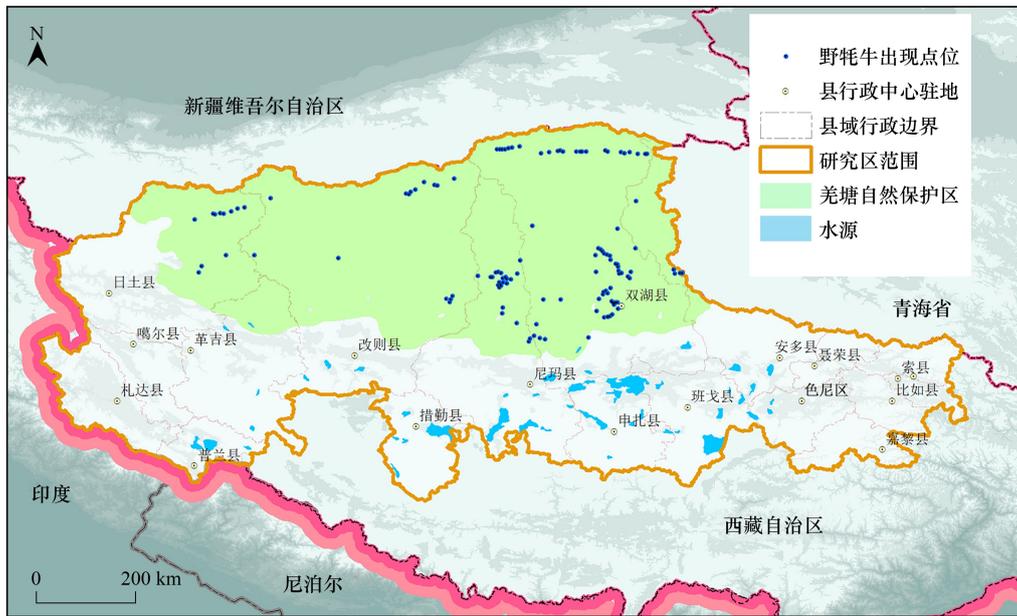


图1 研究区位置及野牦牛分布点位图

Fig.1 location of the study area and distribution points of wild yaks

对较少,在双湖县、尼玛县北部无人区出现频繁,该区域多属于羌塘国家自然保护区的核心区域,不易受交通、旅游、放牧等人为活动打扰。野牦牛偏好单独活动,调查中发现的最大种群规模仅为4头。

羌塘高原野牦牛栖息地分布状况如图2所示,分布概率P的测试受试者工作特征曲线下与坐标轴围成的面积(AUC)=0.907,Maxent模拟精度较高^[27]。

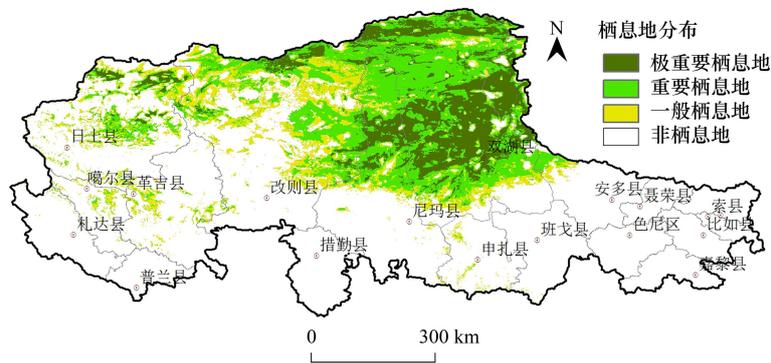


图2 现阶段羌塘高原野牦牛栖息地分布

Fig.2 Habitat distribution of wild yaks in Qiangtang plateau at present

羌塘高原野牦牛栖息地为25.1万km²,占羌塘高原总面积的36%,以多格错仁水系为核心向周围扩散,主要分布在那曲市北部高原,该区域栖息地连通性高,且重要性等级很高。阿里地区的栖息地分布相对分散,连通性较低,但是日土县有小块极重要栖息地分布,这里还分布有极为珍稀的金色野牦牛。羌塘高原野牦牛极重要栖息面积为7.1万km²,重要栖息地为12.2万km²,一般栖息地为7.2万km²(表2)。

2.1.2 环境因子对栖息地的影响

将影响现阶段野牦牛栖息地分布的17个环境因子进行刀切法分析,发现气候因素对栖息地的贡献值达到78%,食物因素贡献约20%,其余为地形和水源贡献。野牦牛对栖息地冬季的低温非常敏感,最冷月最低

气温是贡献值最高的环境因子,贡献值达 30%,它和昼夜温差一定程度上限定了野牦牛分布范围。此外,降水对野牦牛栖息地选择贡献率高达 40%,对最冷季降水量、最暖季降水量反应敏感;食物资源是野生动物生存条件的基本要素,植被类型分别贡献 18.7%(图 3)。

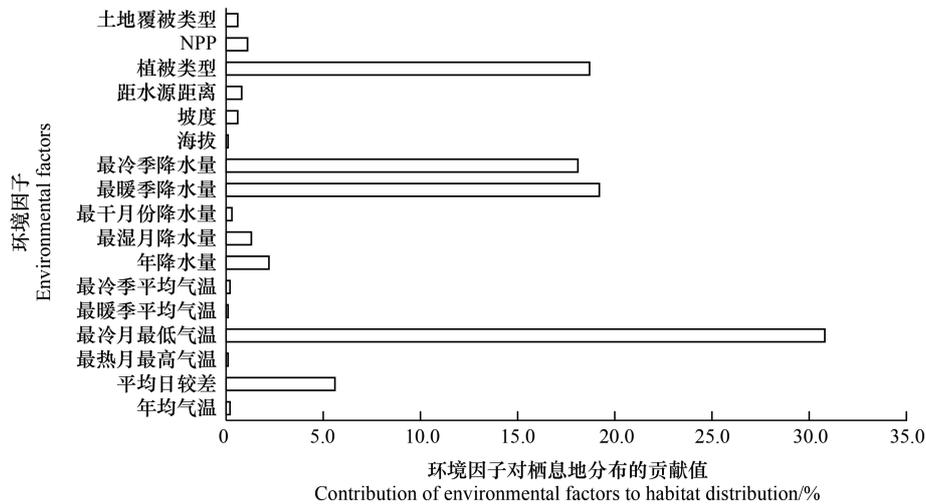


图 3 现阶段不同环境因子对野牦牛栖息地分布的贡献值

Fig.3 Contribution values of environmental factors to the habitat distribution of wild yak at present

NPP: 植被净初级生产力 Net Primary Productivity

栖息地对单一环境因子的响应曲线反映了野牦牛栖息地选择偏好(图 4)。野牦牛倾向最暖季降水量在 100—200mm 之间、最冷季降水量<30mm 区域活动,偏好昼夜温差 15℃ 以内,最冷月最低温度在 -35°—-20℃ 之间,并且在 -24℃ 左右响应最高。栖息地海拔在 4800—5800m,常在海拔 5500m 地区活动。野牦牛可在 15° 以内的山坡活动,对地形耐受力高于多数有蹄类野生动物,在 1—3° 的缓坡出现概率更高。野牦牛栖息地土地覆被主要为荒漠高原、草原和高寒稀疏植被、冰川及永久积雪,紫花针茅为栖息地主要植被类型,伴生物种有垫状驼绒藜、青藏苔草、小嵩草等。野牦牛栖息地对水源条件反应较弱,原因是野牦牛栖息地海拔总体较高,还有部分位于雪山冰川上,冷季可以直接采食冰雪,暖季可用冰雪融水。

2.1.3 人为活动对栖息地的干扰作用

羌塘高原整体人为活动水平较弱,但城乡建设、道路交通、放牧等人类活动对脆弱的生态系统以及野生动物栖息地产生了一定影响,计算 128 个野牦牛出现点位与主要人为活动频繁区最小距离,发现野牦牛出现点距离居民点较远,距县市级居民点 (183.1±112.6) km (平均值±标准差),距离乡镇 (129.4±101.4) km,距乡村 (111.8±95.1) km (图 5)。羌塘高原南部路网密集北部稀疏,加之旅游具有季节性,对栖息地的干扰相对有限。野牦牛距离道路为 (13.9±11.6) km。放牧干扰主要体现在家畜与野牦牛争夺水草资源,牧民一般都在村庄步行 2 小时范围内放牧,因此放牧对野牦牛栖息地影响也很有限。

采用 InVEST Habitat Quality 模块对人类活动强度进行量化,发现羌塘高原人类活动水平整体较弱,那曲市南部、阿里地区东南人类活动较活跃。将栖息地与 InVEST 模拟获取的人类干扰强度叠置分析,获得受人类干扰的栖息地范围(图 5)。因野牦牛总体分布于羌塘北部,远离南部人类活动主导区域,受到干扰的栖息地面积仅 1.2 万 km²,约占栖息地的 4.9%,干扰严重的区域约 103km²,主要分布在那曲市双湖县中南部。

2.1.4 自然保护区体系对栖息地的作用

截至 2023 年羌塘高原生态保护红线区域超过 40 万 km²,涵盖 31 类自然保护区,其中对野牦牛栖息地保护作用最重要的为羌塘国家自然保护区,92% (23.2 万 km²) 野牦牛栖息地分布在自然保护区内,其中位于核心区的栖息地为 8.7 万 km²,位于缓冲区的栖息地面积为 9.9 万 km²,保护区外栖息地面积仅占栖息地的 8%

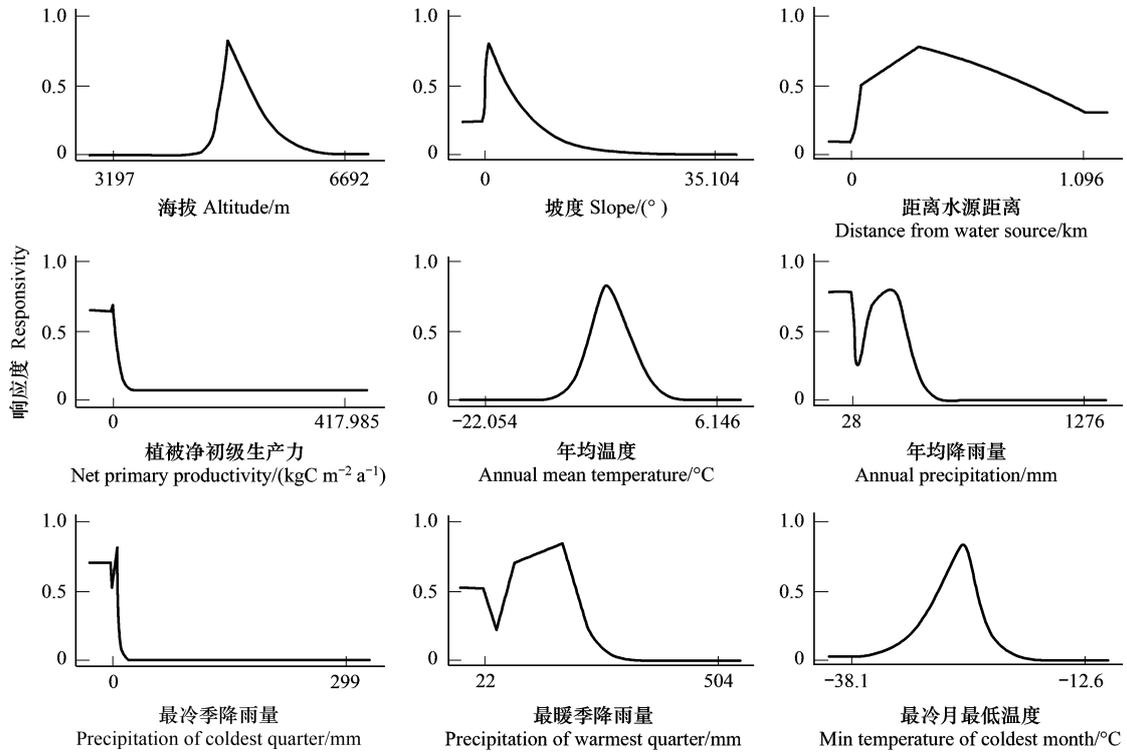


图 4 现阶段野牦牛栖息地选择对环境因子的响应曲线

Fig.4 Response curve of wild yak habitats selection to environmental factors at present

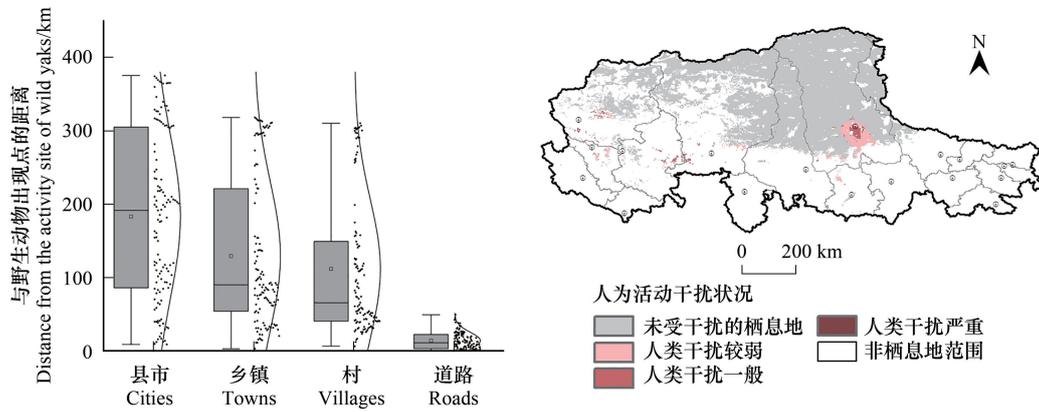


图 5 野生动物出现点与居民点和道路的距离,受人类活动干扰的野牦牛栖息地

Fig.5 Distance between the wildlife occurrence point and the residential area and the road, and the wild yak habitat disturbance by human activities

(图 6)。在《中华人民共和国自然保护区条例》、自然资源部《生态保护红线管理办法(暂行)》的共同管制下,保护区内野牦牛栖息地受到人为活动干扰少,有利于野牦牛种群数量恢复。

2.2 未来情景下栖息地分布预测

2.2.1 2050 年气候情景下土地覆被类型模拟

在 3 种气候情景下,羌塘高原 2050 年暖湿化明显^[31],RCP2.6、RCP4.5 和 RCP8.5 情景下年均气温分别上升 2.18℃、2.73℃和 3.5℃,阿里西部升温最明显,而色林错湖盆区温度略有下降。未来羌塘高原降雨量总体

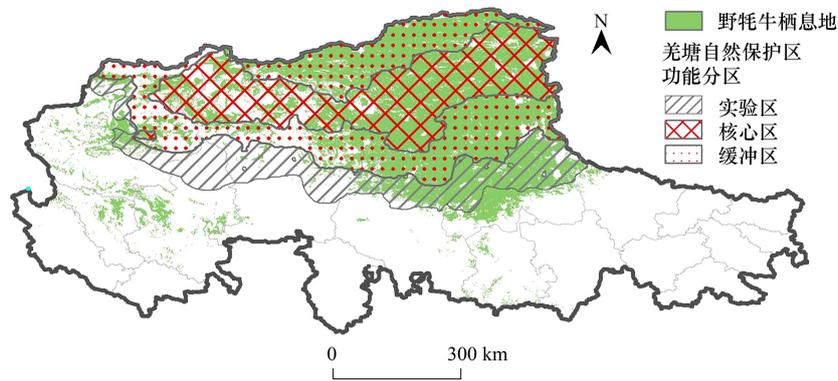


图 6 羌塘自然保护区管理分区对野牦牛栖息地分布

Fig.6 Management zones of Qiangtang nature reserve and distribution of wild yak habitats

呈现增加态势,三种情景下增加约 5—8mm,主要表现为阿里地区的降雨量提升。未来草原和裸地依然是羌塘高原主要土地覆被类型,分别占总面积的 46.9%和 48.1%(RCP2.6 情景)、46.7%和 48.4%(RCP4.5 情景)以及 45.2%和 49.9%(RCP8.5 情景)。草原、水体、林地和城镇面积均有增长,裸地、永久积雪和耕地面积缩减。草原面积增加主要由裸地转化来,还有部分草原转化成水体和灌木林地。RCP4.5 情景下,裸地减少了 3536km²,大部分转为草原。草原面积增加 779 km²。此外,约 610 km²的冰川及永久积雪转化为裸地(图 7)。

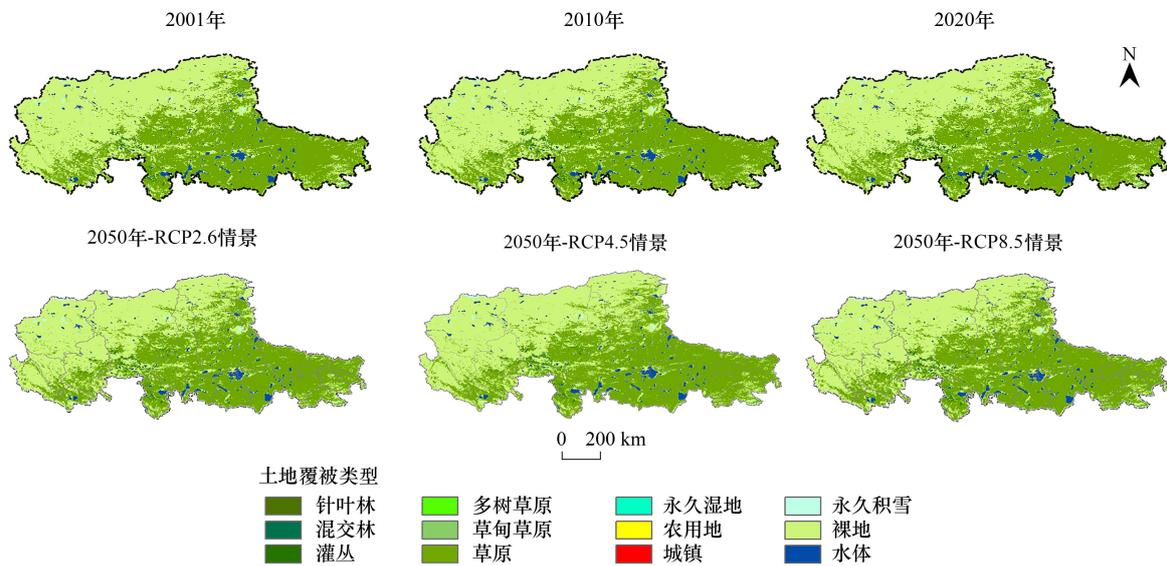


图 7 未来情景下土地覆被类型模拟

Fig.7 Ecosystem type simulation in the future scenario

RCP:代表性温室气体浓度路径

2.2.2 未来情景下栖息地分布

基于 3 种未来气候情景和 FLUS 模拟的土地覆被类型,选择了 16 个环境因子构建 2050 年羌塘高原的环境情景,利用 Maxent 模型预测未来野牦牛空间分布概率,RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5 情景下测试 AUC 依次为 0.908、0.907、0.904,模拟精度较高。参照前文阈值划分标准,得到 3 种情景下 2050 年野牦牛栖息地分布(图 8)。

未来 30 年野牦牛栖息地发生了较大变化,3 种气候情景下野牦牛栖息地分别增长 3.1 万 km²(RCP2.6)、

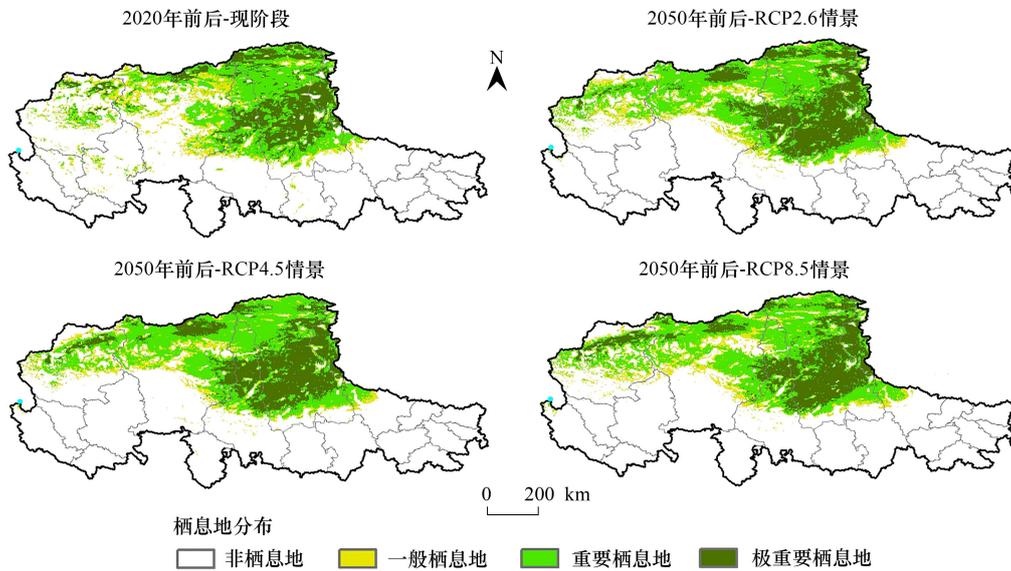


图 8 2020、2050 年不同情景下野牦牛栖息地分布

Fig.8 Abitat distribution of wild yaks under different scenarios in 2020 and 2050

3.3 万 km^2 (RCP4.5) 和 2.8 万 km^2 (RCP8.5) 左右,总面积可达约 28.2 万 km^2 、28.4 万 km^2 和 28.0 万 km^2 ,新增栖息地主要为重要栖息地。呈现向西北部扩散趋势,西北部阿里地区的改则和日土县栖息地明显扩大,栖息地分布总体仍保持了高海拔和远离居民点的特点。羌塘自然保护区内的野牦牛栖息地将达到 25 万 km^2 ,较现阶段增加了约 9%,随着阿里地区北部的栖息地面积增长且分布更加聚集,栖息地分布将与保护区边界更加吻合。

表 2 2020、2050 年野牦牛栖息地面积

Table 2 Wild yak habitat area in 2020 and 2050

野牦牛栖息地面积/ km^2 Area of wild yak habitat	2020 年前后 Around 2020		2050 年前后 Around 2050	
	现状	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
一般栖息地 Commonly habitat	71805	93043	97163	89849
重要栖息地 Important habitats	121822	142750	143113	140427
极重要栖息地 Extremely important habitats	57605	46263	43681	49710
栖息地面积合计 Total habitat area	251231	282056	283957	279986

2.2.3 未来情景下栖息地分布的环境因子

影响未来野牦牛栖息地选择的各种环境因子中,气候仍起主导作用,3 种气候情景的环境因子贡献较为类似,气温类因子占比 30% 左右,降雨类因子占比 27% 上下,其中最冷季气温和最冷季降雨量的单因子贡献可高达 27% 和 20%。食物类因子贡献值在 30% 左右。未来野牦牛栖息地的海拔主要在 4500—5500m 之间,偏好海拔 5000m 的区域,偏好年均降雨量在 185mm。栖息地的主要覆被类型为草原、荒漠和冰川。与 2020 年相比,食物类因子的比重有所提高,对暖季降雨量响应有所降低,对水源和地形的响应略有提高(图 9)。

3 结论与讨论

3.1 讨论

相比藏羚羊、藏野驴、藏原羚等其他有蹄类,近 50 年羌塘高原野牦牛种群数量恢复速度十分缓慢^[14, 40],目前仍属于濒危物种,生存状况并不乐观。野牦牛集中在西藏的羌塘,青海的可可西里和新疆的阿尔金山,羌

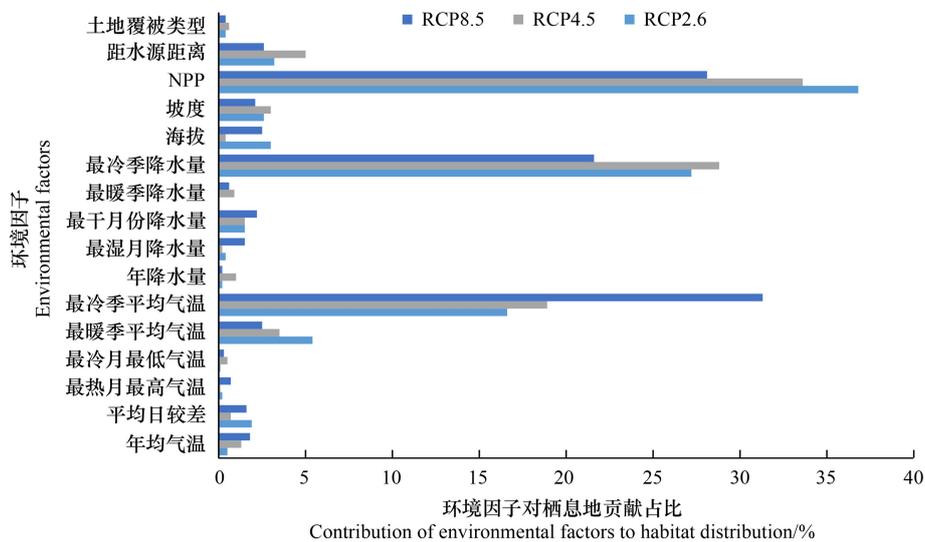


图9 2050年3种气候情景下环境因子对野牦牛栖息地贡献值

Fig.9 Contribution value of environmental factors to wild yak habitat under three climate scenarios in 2050

塘东北部种群分布更密集^[23, 40-41]。本研究发现野牦牛坡度耐受度高,偏好高寒草原、高寒草原、高寒荒漠、冰川和永久积雪区域,与前人在羌塘地区的调查结论相近^[4, 14]。阿尔金山地区野牦牛主要采食禾本科、莎草科,本研究显示野牦牛倾向分布在以紫花针茅、高寒苔草、垫状驼绒藜为主导植被的区域,印证了 Schaller、董世魁等“采食偏好易受当地主要植被影响”的观点^[18, 22, 41]。Maxent 模型通过野生动物出现点位与环境因子相关性分析物种对栖息地的环境需求^[30],综合考虑种群密度和迁移阻力模拟野生动物分布概率。模拟结果显示在未来30年内野牦牛在尼玛县西部和阿里东北部扩张概率大。但栖息地与种群特征密切相关,本文未对野牦牛年龄组成、生理习性等做深入调查,尚无法确定未来野牦牛种群特征是否可支撑栖息地扩张。此外,在未来情景模拟时无法获取2050年的植被类型分布,该因子的缺失可能对结果的精准性产生一定影响。

未来30年青藏高原气候呈现暖湿化,即便是RCP2.6情景,2050年羌塘高原总体升温仍达 2.2°C ^[31],对野牦牛生存带来较大不确定性。首先野牦牛栖息地多为荒漠草原、冰川和永久冻土,气候变化促使冰川冻土消融,丰富区域水资源,提升地表植被覆盖水平,本次研究也发现2050年野牦牛栖息地将向阿里地区北部扩张。随着羌塘高原的暖湿化,曾经限制野牦牛生存的极寒区域在缩减,同时过去因地表水和降雨匮乏而形成的荒漠未来也将具备提供食物资源的条件。加之羌塘高原北部人为活动较弱,满足了野牦牛规避人为活动的天性。但是野牦牛作为典型高寒动物,长期自然选择使其适应了高寒荒漠系统,栖息地的暖湿化可能导致种群的生理不适应、物种内遗传多样性丧失,甚至爆发新型传染病^[42]。

近年藏北高原实施定居化,野牦牛主要活动地区远离人类聚落,与家畜争夺草场资源等问题并不突出^[39],与社区的主要冲突表现在繁殖季节雄性牦牛会掳走雌性牦牛^[24]。此外,野牦牛体型巨大,易怒且领地意识较强,人类误入其领地后易遭到野牦牛攻击。目前,羌塘国家自然保护涵盖了野牦牛九成的栖息地范围,该区域同时也被划入了西藏生态保护红线内,自然保护区核心区严禁各类人为活动,其他区域仅允许开展有限人为活动,随着高海拔生态搬迁等政策的持续推行,目前研究识别的重点冲突区——那曲市双湖县的居民将有序退出栖息地,迁至海拔更低更宜居区域,未来野牦牛栖息地将得到更好的保护。

3.2 结论

将野外调查与物种分布模型相结合,模拟了羌塘高原野牦牛栖息地分布现状和栖息地选择偏好,分析了现阶段影响栖息地分布的自然环境、人为活动干扰及保护措施的影响,构建了2050年气候与土地覆被情景以预测未来野牦牛栖息地分布状况。研究发现野牦牛多见于羌塘北部人迹罕至的高原丘陵,栖息地总面积

25.1 万 km²,以那曲市北部多格错仁为核心向周围扩散。栖息地对气候因子敏感,偏好暖季降雨量在 100—200mm,冷季降雨量<30mm 区域,对坡度耐受性高,栖息地优势植被为紫花针茅,伴生有垫状驼绒藜、青藏苔草、小嵩草等,部分栖息地分布在冰川区域。92.3%的栖息地位于羌塘国家自然保护区内,受到良好保护,仅南部边缘区域受到较严重人为干扰。2050 年羌塘高原年均温度约升高 2.7℃,草原、水体面积增加,裸地、永久积雪面积缩减,野牦牛栖息地将向西北部扩散,三种 RCPs 情境下栖息地面积均增长 3 万 km²左右,分别为 28.2 万 km²(RCP2.6)、28.4 万 km²(RCP4.5)和 28.0 万 km²(RCP8.5),阿里北部将出现大面积栖息地。在影响未来野牦牛栖息地的环境因子中,气候仍为主导因素,野牦牛偏好年降雨量 185mm/年,栖息地主要覆被类型为草原、荒漠及部分冰川雪被。保护地体系建设已经并将继续对野牦牛栖息地保护起到重要作用。

参考文献(References):

- [1] 孙鸿烈, 郑度, 姚檀栋, 张懿铨. 青藏高原国家生态安全屏障保护与建设. 地理学报, 2012, 67(1): 3-12.
- [2] 李海东, 高吉喜. 生物多样性保护适应气候变化的管理策略. 生态学报, 2020, 40(11): 3844-3850.
- [3] Tao F L, Zhang Z. Dynamic responses of terrestrial ecosystems structure and function to climate change in China. *Journal of Geophysical Research*, 2010, 115(G3): G03003.
- [4] Liang X C, Kang A L, Pettoirelli N. Understanding habitat selection of the Vulnerable wild yak *Bos mutus* on the Tibetan Plateau. *Oryx*, 2017, 51(2): 361-369.
- [5] Shi Q J, Guo Y Y, Engelhardt S C, Weladji R B, Zhou Y, Long M, Meng X X. Endangered wild yak (*Bos grunniens*) in the Tibetan Plateau and adjacent regions: population size, distribution, conservation perspectives and its relation to the domestic subspecies. *Journal for Nature Conservation*, 2016, 32: 35-43.
- [6] Thuiller W. Climate change and the ecologist. *Nature*, 2007, 448(7153): 550-552.
- [7] 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.
- [8] 徐增让, 邹秀萍. 羌塘高原自然保护区社会生态效果评价. 生态学报, 2020, 40(23): 8743-8752.
- [9] IUCN. The IUCN red list of threatened species. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 2016.
- [10] 连新明, 李晓晓, 徐图. 可可西里四种有蹄类动物对道路的回避距离及保护建议. 生态学杂志, 2012, 31(1): 81-86.
- [11] Berger J, Schaller G B, Cheng E, Kang A L, Krebs M, Li L S, Hebblewhite M. Legacies of past exploitation and climate affect mammalian sexes differently on the roof of the world—the case of wild yaks. *Scientific Reports*, 2015, 5: 8676.
- [12] Buzzard P J, Zhang H B, Xu D H, Wong H M. A globally important wild yak *Bos mutus* population in the Arjinshan Nature Reserve, Xinjiang, China. *Oryx*, 2010, 44(4): 577-580.
- [13] 姚军, 杨博辉, 闫萍, 梁春年, 郭健, 焦硕, 郎侠, 郭宪, 冯瑞林, 程胜利. 中国野牦牛栖息地环境及种群行为分析. 草业学报, 2006, 15(2): 124-128.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 苏旭坤, 董世魁, 刘世梁, 刘颖慧, 石建斌, 吴娱, 张翔, 高峰, 许东华. 阿尔金山国家级自然保护区基于 GIS-生态位模型的野牦牛栖息地辨识研究. 干旱区地理, 2014, 37(6): 1216-1221.
- [17] 赵宠南, 苏云, 刘振生, 姚志诚, 张明明, 李志刚. 贺兰山牦牛冬春季的生境选择. 生态学报, 2012, 32(6): 1762-1772.
- [18] Schaller G B, Liu W L. Distribution, status, and conservation of wild yak *Bos grunniens*. *Biological Conservation*, 1996, 76(1): 1-8.
- [19] 朴仁珠, 马逸清, 崔花淑. 中国野牦牛现状研究. 生命科学研究, 1999, 3(2): 161-169.
- [20] 张知贵, 夏霖, 杨奇森. 牦牛的分布及保护. 动物学杂志, 2009, 44(1): 148-150.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 刘务林, 乔治·B·夏勒. 野牦牛的分布和现状. 西藏科技, 2003(11): 17-23.
- [24] Xu Z R, Wei Z Q, Jin M M. Causes of domestic livestock - wild herbivore conflicts in the alpine ecosystem of the Chang Tang Plateau. *Environmental Development*, 2020, 34: 100495.

- [25] Society T W C. Report on ungulate status and trends in the Tibetan plateau. New York: The Wildlife Conservation Society, 2014.
- [26] 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.
- [27] Dudík M, Phillips S J, Schapire R E. Maximum entropy density estimation with generalized regularization and an application to species distribution modeling. *Journal of Machine Learning Research*, 2007, 8: 1217-1260.
- [28] 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.
- [29] Baldwin R. Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy*, 2009, 11(4): 854-866.
- [30] Merow C, Smith M J, Silander J A Jr. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 2013, 36(10): 1058-1069.
- [31] Stocker T. Climate Change 2013-The Physical Science Basis Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [32] Veloz S D, Williams J W, Blois J L, He F, Otto-Bliessner B, Liu Z Y. No-analog climates and shifting realized niches during the late quaternary: implications for 21st-century predictions by species distribution models. *Global Change Biology*, 2012, 18(5): 1698-1713.
- [33] Zhuang Q, He J, Lu Y, Ji L, Xiao J, Luo T. Carbon dynamics of terrestrial ecosystems on the Tibetan Plateau during the 20th century: an analysis with a process-based biogeochemical model. *Global Ecology and Biogeography*, 2010, 19(5): 649-62.
- [34] Liang X, Liu X P, Li X, Chen Y M, Tian H, Yao Y. Delineating multi-scenario urban growth boundaries with a CA-based FLUS model and morphological method. *Landscape and Urban Planning*, 2018, 177: 47-63.
- [35] Liu X P, Liang X, Li X, Xu X C, Ou J P, Chen Y M, Li S Y, Wang S J, Pei F S. A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 168: 94-116.
- [36] 西藏自治区统计局. 西藏统计年鉴. 2020. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [37] 郑周涛. 全球不同 CO₂浓度情景下模拟生态系统生产力数据(2006-2100). <https://dx.doi.org/>. 2022.
- [38] Katie A J, Bernhardt; Will, Bierbower; Nicholas, Chaumont; Douglas, Denu; James, Douglass; David, Fisher. Habitat Quality-InVEST documentation//RICHARD S J, DOUGLASS; STACIE, WOLNY. InVEST User Guide. 2017.
- [39] 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.
- [40] 郭妍妍, 周杨, 施奇静, 孟秀祥. 濒危野牦牛分布、种群、致危因素及保育. 野生动物学报, 2018, 39(3): 702-708.
- [41] Buzzard P J, Xu D H, Li H. Sexual/aggressive behavior of wild yak during the rut; influence of female choice. *Chinese Science Bulletin*, 2014, 59(22): 2756-2763.
- [42] Wei Z Q, XU Z R, Qiao T, Wang S X, Ishiwaran N, Yang M X. Habitats Change of Tibetan Antelope and Its Influencing Factors on the North Tibetan Plateau from 2020 to 2050. *Global Ecology and Conservation*, 2022, 43(2023): e02462.