

羌塘高原野牦牛分布样线调查及不同情景 下潜在栖息地分布模拟数据集研发

魏子谦^{1,2}, 徐增让^{3*}, 韦学薇³, 鲜运峰³

1. 中国建筑科学研究院有限公司, 北京 100013; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083;
3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

摘要: 野牦牛作为青藏高原的珍稀野生动物, 被《世界自然保护联盟》(IUCN)列为易危(VU)物种, 也是国家一级保护动物。因野牦牛栖息地人迹罕至, 自然环境恶劣, 加之种群数量稀少, 对人类规避性强, 目前野牦牛分布点位数据匮乏, 栖息地边界不明确, 不利于野牦牛的精准保护。为此, 研究以野牦牛核心分布区——羌塘高原为研究区, 采用野外样线调查与模型模拟相结合的办法, 获取野牦牛栖息地分布现状, 并模拟未来生态系统类型和气候情景以预测栖息地状况, 以期为青藏高原生物多样性维护提供数据支撑。通过连续4年前往羌塘高原开展样线调查, 共收集到野牦牛点位127个, 获得现状栖息地总面积为25.1万km², 集中分布在羌塘东北部。受气候变化影响, 2050年羌塘高原暖湿化趋势明显, 野牦牛栖息地将向西北部扩张, 面积将增长3.3万km²左右, 在RCP4.5情景下栖息地面积达28.4万km², 阿里地区的北部将出现大面积野牦牛栖息地。本数据集内容包括3个部分: (1) 野牦牛分布点位数据; (2) 现阶段野牦牛栖息地分布数据; (3) 2050年野牦牛栖息地分布预测数据。数据集存储为.tif、.shp和.txt格式, 由35个数据文件组成, 数据量为9.55 MB(压缩为1个文件, 376 KB)。

关键词: 野牦牛; 青藏高原; 分布点位; 栖息地

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2025.01.06>

CSTR: <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2025.01.06>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志(中英文)》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2024.12.09.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.12.09.V1>。

1 前言

野牦牛(*Bos mutus*)作为青藏高原独有的珍稀物种, 不仅是中国一级重点保护动物,

收稿日期: 2024-11-02; 修订日期: 2025-2-23; 出版日期: 2025-03-25

基金项目: 中国建筑科学研究院有限公司(20231201331030043); 国家自然科学基金(42371283, 32161143025); 中华人民共和国科学技术部(2019QZKK0603)

*通讯作者: 徐增让 0000-0001-8619-6427, 中国科学院地理科学与资源研究所, xuzr@igsrr.ac.cn

数据引用方式: [1] 魏子谦, 徐增让, 韦学薇等. 羌塘高原野牦牛分布样线调查及不同情景下潜在栖息地分布模拟数据集研发[J]. 全球变化数据学报, 2025, 9(1): 43–51. <https://doi.org/10.3974/geodp.2025.01.06>.
<https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2025.01.06>.

[2] 魏子谦, 徐增让, 韦学薇等. 羌塘高原野牦牛分布样线调查结果(2019–2022)及不同情景下潜在栖息地分布模拟数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2024. <https://doi.org/10.3974/geodb.2024.12.09.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.12.09.V1>.

在《世界自然保护联盟》(IUCN)濒危物种红色名录中也被评定为易危(VU)^[1]。其分布范围主要集中于中国境内,包括西藏北部的羌塘高原、新疆南部阿尔金山以及青海可可西里。此外,在克什米尔的部分边缘地带也有零星踪迹^[2-4]。

野牦牛在外观上与家牦牛有相似之处,但成年野牦牛的体型大于家牦牛,毛色常见为黑色,但在羌塘高原西北部也分布有少量金色毛色的“金牦牛”^[5]。野牦牛的生活模式较为独特,它们并无固定的居住场所,而是频繁进行短距离且无明确目标的资源导向型迁徙,偏好的栖息地往往有着特定的生态特征。在地形方面,野牦牛多选择在地势相对平缓、起伏较小之处活动。通过对不同地区野牦牛栖息地的长期监测与分析,学者们指出,高山草甸和矮半灌木林是野牦牛尤为青睐的生境类型^[6,7]。野牦牛对栖息地的选择是基于多种因素的综合权衡,包括食物的种类与数量、水源的距离与质量、周边环境的安全性以及微气候条件等^[7]。

本次研究以野牦牛集中分布的羌塘高原为研究区,北起昆仑山脉,南至冈底斯-念青唐古拉山脉,面积 77.5 万 km²,属西藏那曲市与阿里地区。羌塘高原地势高亢,向东南倾斜,海拔 4,500–5,100 m,自然景观从东南的高寒草原,渐变为西北的高寒荒漠草原和高寒荒漠,植被以紫花针茅等为主,覆盖率不超 40%^[8-10]。羌塘高原作为世界上保存最完好的高寒生态系统是众多珍稀野生动物的家园,分布有野牦牛、藏羚、藏原羚、白唇鹿和西藏野驴等特有种。在全球气候变化的大背景下,羌塘高原作为青藏高原的重要组成部分展现出极高的响应敏锐度。近 50 年来,暖湿化态势突出,升温速率达到全球同期均值的两倍。这种自然环境的快速演变,为栖息于此的濒危野生动物带来了极大的生存挑战,其栖息地面临诸多不稳定因素^[4]。

因野牦牛栖息地人迹罕至,自然环境恶劣,加之野牦牛种群数量稀少,对人类规避性强,目前野牦牛分布点位数据匮乏,栖息地边界不明确。另外,气候变化对栖息地的影响具有较大不确定性,对野牦牛栖息地精细化保护带来诸多困难。为此,作者以羌塘高原为研究区,采用野生动物样线调查法,布设样线获取野牦牛分布点位。借助 Maxent 模型,对野牦牛在当下(以 2020 年为时间节点)的栖息地分布予以模拟。同时,将未来气候及生态系统类型的改变纳入考量,预估 2050 年左右其栖息地情形,预测未来栖息地分布状况,以期为青藏高原生物多样性保护工作提供科学支撑。

2 数据集元数据简介

《羌塘高原野牦牛分布样线调查结果(2019–2022)及不同情景下潜在栖息地分布模拟数据集》^[11]的名称、作者、地理区域、数据年代、空间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

3 数据研发方法

3.1 技术路线

研究综合考量野牦牛习性 & 高原地理环境,布设野生动物调查样线,获取野牦牛分布点位。以野牦牛点位为样本,挑选气候、地形、食物、水源四类环境因素共 16 个指标输入最大熵 Maxent 模型,获得现阶段野牦牛栖息地分布。随后,整合 CMIP5 (Coupled Model

表 1 《羌塘高原野牦牛分布样线调查结果（2019–2022）及不同情景下潜在栖息地分布模拟数据集》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	羌塘高原野牦牛分布样线调查结果（2019–2022）及不同情景下潜在栖息地分布模拟数据集
数据集短名	WildYaksQiangtangPlateau
作者信息	魏子谦, 中国建筑科学研究院有限公司, weizq.a8s@igsnrr.ac.cn 徐增让, 中国科学院地理科学与资源研究所, xuzr@igsnrr.ac.cn 韦学薇, 中国科学院地理科学与资源研究所, 17623589098@163.com 鲜运峰, 中国科学院地理科学与资源研究所, 326376678@qq.com
地理区域	羌塘高原
数据年代	现状调查数据（2019–2022）; 模拟数据（2050）
空间分辨率	1 km
数据格式	.shp、.tif、.txt
数据量	376 KB（压缩后）
数据集组成	野牦牛分布点位数据、现阶段野牦牛栖息地分布数据、2050 年野牦牛栖息地分布预测数据
基金项目	中国建筑科学研究院有限公司（20231201331030043）; 国家自然科学基金（42371283, 32161143025）; 中华人民共和国科学技术部（2019QZKK0603）
数据计算环境	ArcGIS10.7; Maxent 3.4.4; GeoSOS-FLUS; Python 3.7.8
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101, 中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放, 用户免费浏览、免费下载; （2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源; （3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报（中英文）》编辑部签署书面协议, 获得许可; （4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则, 即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%, 同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[12]
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS, GEOSS, PubScholar, CKRSC

Intercomparison Project 5) 的 3 种温室气体排放情景下的未来气候模式与 Geo-FLUS 模型预测的生态系统数据, 构建了 3 种 2050 年环境情景, 结合野牦牛分布点位, 经 Maxent 模型预测未来栖息地分布结果。最终获得了野牦牛现阶段（2020 年）和未来情景下（2050 年）的栖息地分布状况（图 1）。

3.2 野生动物分布点位获取

研究团队于 2019 年至 2022 年间, 连续 4 年深入羌塘高原, 针对野生动物开展样线调查工作。具体调查时间为 2019 年的 5 月和 8 月, 以及 2020 年、2021 年、2022 年每年的 8 月。团队充分考量野牦牛的生物习性、羌塘高原独特的地形特征, 并借鉴当地野生动物保护站工作人员积累的丰富经验, 在研究区域内科学规划并系统布设了总长度达 8,221 km 的调查样线。样线调查过程中, 团队分成两组, 乘坐两辆汽车, 使用测距望远镜观察样线两侧野牦牛出现状况, 发现目标后, 记录当时观察者坐标、野生动物距离、观察者和野生动物的相对角度。野外调查工作完成后, 两组调查人员对记录数据进行仔细核对并完成目标坐标的计算。随后, 运用 ArcGIS 软件的缓冲区分析法对所有样点展开筛选, 设定 0.5 km 为缓冲半径。若缓冲区内存在多个点, 仅保留其中 1 个, 以减少样本空间信息的冗余。此

外，团队参考前人调研成果，进一步补充遗漏的调查点位^[6-8,13]，最终共获取野牦牛出现点位 127 处（图 2）。

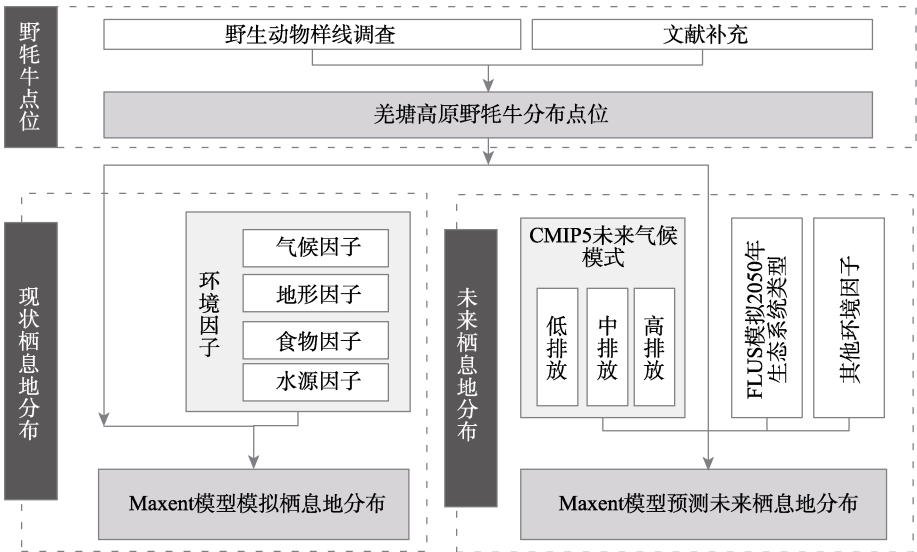


图 1 技术路线图

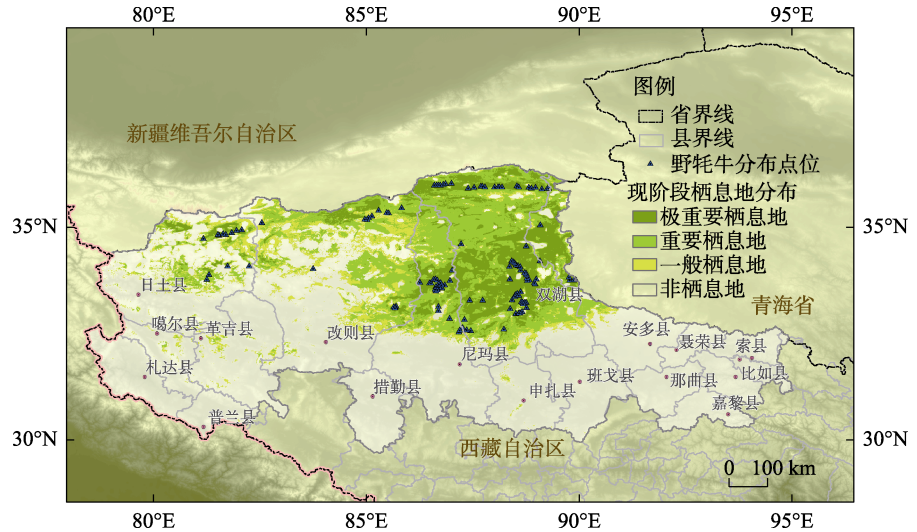


图 2 野牦牛分布点位图（2019–2022 调查发现）

3.3 现状栖息地分布模拟

在模拟野牦牛栖息地分布过程中，以实地测量所获取的野牦牛出现点位作为训练与测试样本，借助最大熵 Maxent 模型展开栖息地分布模拟工作。最大熵 Maxent 模型具有强大的模拟与预测能力，在野生动物保护研究领域应用颇为广泛，该模型依据物种实际出现的点位信息，结合对应的环境变量状况，对物种栖息地的分布情形进行推算^[14]。具体而言，Maxent 模型会在众多符合特定约束条件的模型解中，挑选出熵值处于最大状态的结果，作为物种分布的预测结果^[15]。

综合考虑野牦牛的生理特性以及其在栖息地选择方面的偏好，挑选出与野牦牛分布直接关联的气候、地形、食物以及水源这四类环境因素。为有效避免共线性问题，防止模型出现过度拟合现象，针对所有环境变量进行了相关性分析，排除相关性较强同时与野牦牛栖息地选择偏好联系不够紧密的环境变量，最终筛选出 16 个指标（表 2）。随后，将野牦牛的点位数据以及上述四类环境因子数据，一同输入至 Maxent 模型，随机抽取 20% 的野牦牛分布点位，用于模型精度验证。通过模型运算，获取研究区内野牦牛的分布概率数值，据此划分栖息地分布。将分布概率高于 0.15 的区域设定为“潜在栖息地”否则为“非栖息地”，当概率高于 0.6 时设定为野牦牛“极重要栖息地”，概率高于 0.25 低于 0.6 区域为“重要栖息地”，其余为“一般栖息地”^[9,13,15]。

表 2 模型输入的数据来源表

数据类型	数据名称	数据来源	应用模型	
			Maxent	Geo-FLUS
野生动物	野牦牛出现点位	样线调查获取	√	
气候	年均温度（℃）	来自 WorldClim1.4（www.worldclim.org/）采用	√	√
	平均昼夜温差（℃）	了其中“Historical（历史数据集）”和“Future	√	
	最热月最高温度（℃）	（未来数据集）”两个数据集	√	
	最冷月最低温度（℃）		√	
	暖季平均温度（℃）		√	
	冷季平均温度（℃）		√	
	年均降雨量（mm）		√	√
	最湿月降雨量（mm）		√	
	最干月降雨量（mm）		√	
	暖季降雨量（mm）		√	
	冷季降雨量（mm）		√	
地形	坡度（°）	通过 ASTER_GDEM（earthdata.nasa.gov/）	√	√
	海拔（m）	演算而来	√	√
	植被净初级生产力（NPP）	现状来自资源环境数据云平台（www.resdc.cn/）	√	
		未来数据来自参考文献 ^[16]		
水源	土地覆被类型	来自 2001、2010、2020 年 MODIS 数据	√	√
	（2001、2010、2020 年）	MCD12Q1（earthdata.nasa.gov/）产品数据		
	距离水源距离（km）	来自资源环境数据云平台（www.resdc.cn/）	√	√
其他	人口密度（万人/km ² ）	来自资源环境数据云平台（www.resdc.cn/）		√
	地区生产总值（GDP）（亿元）			√
	距离道路距离（km）			√

3.4 未来栖息地分布预测

研究结合未来气候数据以及 Geo-FLUS 预测的生态系统类型数据，从未来气候、地形、食物和水源 4 个方面构建了羌塘高原 2050 年环境情景（表 2），使用现阶段野牦牛分布点位，通过 Maxent 模型对未来野牦牛栖息地进行预测。为保证栖息地结果一致性，采用现阶段栖息地阈值划分模拟结果。

其中，羌塘高原未来气候数据采用 CMIP5 耦合模式比较计划的 3 种代表性温室气体浓

度路径 (Representative Concentration Pathways, RCPs) 情景^[16], RCP2.6 (可持续发展), RCP4.5 (中间路线) 和 RCP8.5 (经济发展优先) 在 2050 年的气候情景。未来生态系统类型数据采用 Geo-FLUS 模型预测获得。Geo-FLUS 模型基于元胞自动机 (Cellular Automata, CA) 原理, 采用神经网络 (Artificial Neural Network, ANN) 算法建立土地利用与人为活动和自然因素的关系, 完成未来生态系统类型的模拟预测^[9]。模拟过程中用到的环境因子包括平均温度、年均降水、与水系距离、海拔、坡度等, 人为因子有人口密度、GDP, 与公路距离。历史生态系统类型包括 2001、2010、2019 年 MODIS-MCD12Q1 生态系统类型数据 (表 2)。利用历史生态系统类型数据进行模型精度检验。首先利用 2001 年生态系统类型模拟 2010 年情景, 并与 2010 真实数据对比, 获得 Kappa 系数为 0.839, 整体精度为 0.913。再用 2010 年生态系统类型模拟 2019 年情景, 与 2019 年真实数据对比, 获得 Kappa 系数为 0.907, 整体精度为 0.949。Geo-FLUS 模型精度表现良好, 可用于未来生态系统类型模拟。以 2019 年的生态系统类型为基础, 将气候因子替换为 CIMP 5 2050 年气候情景数据, 模拟羌塘高原未来生态系统类型, 获得 3 种温室气体排放模式下的生态系统类型结果^[16,17]。

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

本数据集内容包括 3 个部分: (1) 野牦牛分布点位数据; (2) 现阶段野牦牛栖息地分布数据; (3) 2050 年野牦牛栖息地分布预测数据。数据集存储为 .tif、.shp 和 .txt 格式, 由 35 个数据文件组成, 数据量为 9.55 MB (压缩为 1 个文件, 376 KB)。

4.2 数据结果

4.2.1 野牦牛样线调查分布结果

野牦牛多见于羌塘高原北部, 包括那曲市双湖县中北部, 尼玛县北部和安多县北部, 阿里地区改则县北部和日土县等人迹罕至的高原丘陵。样线调查发现双湖县的措折强玛乡、嘎措乡和尼玛县俄久乡、荣玛乡为野牦牛相对集中区域 (图 2)。调查发现的最大种群规模仅为 4 只, 出现点位离人类活动较远, 一般情况下不会被交通、旅游、放牧等活动打扰。

野牦牛出现位置的海拔范围为 4,792–5,620 m, 平均海拔约 5,000 m。野牦牛喜好在山坡上栖息, 出现点位的最大坡度为 12°。野牦牛栖息地年均温度为 -6.4 °C, 年均降水量在 178 mm 左右, 最干旱区域年均降水仅有 35 mm。主要植被类型为三指雪莲花、西藏扁芒菊稀疏植被, 紫花针茅、珠峰苔草高寒草原, 植被覆盖率平均为 19%。

4.2.2 野牦牛现状栖息地分布结果

羌塘高原野牦牛栖息地总面积为 25.1 万 km², 约占研究区的 1/3。其中野牦牛极重要栖息面积 5.8 万 km², 约占羌塘高原的 7.5%, 重要栖息地为 12.2 万 km², 一般栖息地面积为 7.1 万 km²。野牦牛极重要区集中分布在羌塘高原东北部, 以那曲市北部多格错仁和附近水系为核心, 向周围呈扩散状。另外在阿里地区日土县也有部分极重要栖息地的分布。野牦牛栖息地主要集中在那曲市, 其中双湖县栖息地面积达 10.5 万 km², 占双湖县总面积的 90%。阿里地区的栖息地在改则县东北部分布较集中, 日土县、革吉县、嘎尔县存在零星栖息地分布。

4.2.3 野牦牛未来栖息地分布结果

野牦牛栖息地在未来三十年的时间跨度内历经显著变迁，清晰呈现出向西部拓展蔓延的态势。预计至 2050 年，阿里地区的改则县与日土县将涌现出大量新增的野牦牛栖息地。同时始终具备高海拔以及远离居民聚居区域的特征，未来，栖息地分布边界与羌塘自然保护区在地理范围上的一致性将进一步增强。在三种未来气候情景下，栖息地将增长 3.3 万 km² 左右，总面积分别为，RCP2.6 情景下 28.2 万 km²，RCP4.5 情景下 28.4 万 km²，RCP8.5 情景下 28.0 万 km²，核心区位置基本不变，新增栖息地多为野牦牛重要和一般栖息地（图 3）。

3 种气候情景下野牦牛的栖息地总面积相近，分布格局相似，均向北聚集，尤其是羌塘高原的西北部，野牦牛栖息地扩张的趋势明显。但南部的零散栖息地格局差异较大，如 RCP2.6 和 RCP4.5 情境下的南部存在大量小片的野牦牛栖息地，而在 RCP8.5 情景下南部几乎不见成规模栖息地分布。RCP4.5 情景下，未来羌塘高原栖息地总面积增长至 28.4 万 km²，其中极重要栖息地面积为 4.4 万 km²，重要栖息地 14.3 万 km²，一般栖息地面积为 9.7 万 km²。

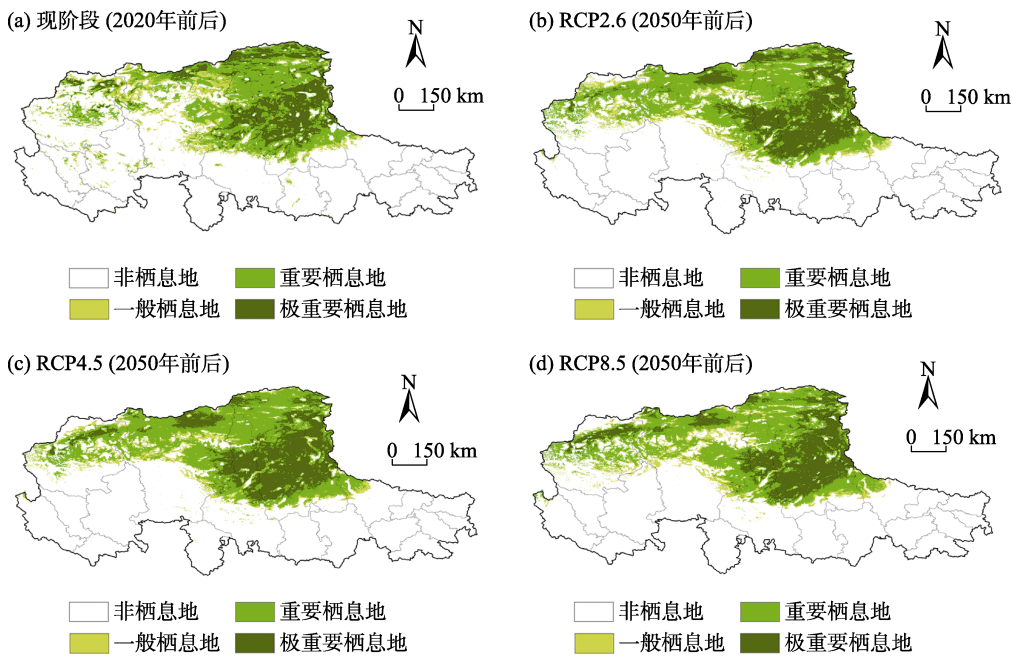


图 3 不同情境下野牦牛栖息地分布预测图（2050）

4.3 数据结果验证

运用 Maxent 模型对当前及未来野牦牛栖息地进行模拟操作时，均从全部点位中随机抽选 20% 计算分布概率 p 所对应的测试受试者工作特征曲线与坐标轴围成区域的面积（即 AUC 值）进行精准验证。现状栖息地模拟结果的 AUC=0.907，未来栖息地模拟时，RCP2.6（AUC=0.908），RCP4.5（AUC=0.907），RCP8.5（AUC=0.904），4 次模拟结果精度均较高，结果较有可信度。

5 讨论和总结

作者选定羌塘高原为研究区域,采用野外实地调查和物种分布模型相结合的方法,连续4年针对野生动物开展样线调查,获取野牦牛种群的分布数据。基于对野牦牛生理特性以及其栖息地选择倾向的了解,借助实地测量得到的野牦牛点位数据,运用 Maxent 模型对野牦牛当下的栖息地分布情况进行模拟。同时,综合考量未来气候条件变化和生态系统类型的演变情景,进一步利用该模型对2050年野牦牛的栖息地分布状况展开模拟预测,分析变化趋势,发现研究结果与以往对相关物种的文字记录和图片资料等吻合度较高。

研究发现,野牦牛倾向栖息于人烟稀少的高原丘陵地带。在地域分布上,栖息地集中出现在羌塘自然保护区腹地,包括双湖县中北部、尼玛县北部、安多县北部,以及阿里地区的改则县北部和日土县。经统计,其栖息地总面积达22.9万 km^2 ,以那曲市北部的多格错仁及其附近水系为核心区域,并以此为中心向周边呈辐射状延展。2050年羌塘高原暖湿化明显,草地、水体等生态系统的面积增加,野牦牛栖息地将向西部、北部扩散,面积将增长3.3万 km^2 左右,阿里地区的北部将出现大面积栖息地,而南部零星分布的栖息地将消失。

野牦牛的栖息地多位于高寒草原荒漠、高山稀疏植被区域,以及冰川雪地的缓坡地带。当下,其栖息地范围受限,生存状态堪忧。依据本研究结果,到2050年,野牦牛栖息地有望呈现显著扩张态势。然而,本研究运用的 Maxent 模型存在一定局限性。该模型基于野生动物出现点位与环境因素间的关联,剖析物种对栖息地的环境诉求,并将种群密度、迁移阻碍等因素纳入考量,但由于实际生态环境极为复杂,诸多难以量化的因素难以全部涵盖,导致模型预测存在不可避免的不确定性。因研究限制,尚未对野牦牛规模、雌雄比例、年龄组成和繁衍状况等做深入研究,虽然在过去20年内野牦牛数量恢复性增长,但若未来种群数量无法维持增长状态,栖息地较难如期扩张。

作者分工: 徐增让对数据集的开发做了总体设计;韦学薇、鲜运峰采集和处理了野牦牛分布点位数据;魏子谦设计了模型和算法、做了数据验证并撰写了数据论文等。

利益冲突声明: 本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

- [1] IUCN. The IUCN red list of threatened species [R]. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 2016.
- [2] Liang, X. C., Kang, A. L., Pettorelli, N. Understanding habitat selection of the Vulnerable wild yak *Bos mutus* on the Tibetan Plateau [J]. *Oryx*, 2017, 51(2): 361–369.
- [3] 徐增让, 靳茗茗, 郑鑫等. 羌塘高原人与野生动物冲突的成因[J]. 自然资源学报, 2019, 34(7): 1521–1530.
- [4] 徐增让, 邹秀萍. 羌塘高原自然保护区社会生态效果评价[J]. 生态学报, 2020, 40(23): 8743–8752.
- [5] Berger, J., Schaller, G. B., Cheng, E., *et al.* Legacies of past exploitation and climate affect mammalian

- sexes differently on the roof of the world—the case of wild yaks [J]. *Scientific Reports*, 2015, 5: 8676.
- [6] Buzzard, P. J., Zhang, H. B., Xu, D. H. *et al.* A globally important wild yak *Bos mutus* population in the Arjinshan Nature Reserve, Xinjiang, China [J]. *Oryx*, 2010, 44(4): 577–580.
- [7] Schaller, G. B., Liu, W. L. Distribution, status, and conservation of wild yak *Bos grunniens* [J]. *Biological Conservation*, 1996, 76(1): 1–8.
- [8] 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 [J]. *Environmental Development*, 2020, 34: 100495.
- [9] Liu, X. P., Liang, X., Li, X., *et al.* A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 168: 94–116.
- [10] 刘务林, 乔治·B·夏勒. 野牦牛的分布和现状[J]. 西藏科技, 2003(11): 17–23.
- [11] 魏子谦, 徐增让, 韦学薇等. 羌塘高原野牦牛分布样线调查结果(2019–2022)及不同情景下潜在栖息地分布模拟数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2024. <https://doi.org/10.3974/geodb.2024.12.09.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.12.09.V1>.
- [12] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017 年更新).
- [13] Wildlife Conservation Society (WCS). Report on ungulate status and trends in the Tibetan Plateau [R]. New York: The Wildlife Conservation Society, 2014.
- [14] Merow, C., Smith, M. J., Silander, J. A. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter [J]. *Ecography*, 2013, 36(10): 1058–1069.
- [15] 魏子谦, 徐增让. 羌塘高原藏羚羊栖息地分布及影响因素[J]. 生态学报, 2020, 40(23): 8763–8772.
- [16] 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) [DB/OL]. 国家青藏高原科学数据中心/第三极环境数据中心, 2022. <https://data.tpdac.ac.cn/home>.
- [17] Wei, Z. Q., Xu, Z. R., Qiao, T., *et al.* Habitats change of Tibetan Antelope and its influencing factors on the North Tibetan Plateau from 2020 to 2050 [J]. *Global Ecology and Conservation*, 2023(43): e02462.