•研究报告•

四川邛崃山脉雪豹与散放牦牛潜在分布重叠与捕食风险评估

史晓昀^{1,2} 施小刚³ 胡 强³ 官天培⁴ 付 强⁵
张 剑⁶ 姚 蒙^{1,2} 李 晟^{1,2*}

1 (北京大学生命科学院, 北京 100871)

2 (北京大学生态研究中心, 北京 100871)

3 (四川卧龙国家级自然保护区, 四川汶川 623004)

4 (绵阳师范学院生态安全与保护四川省重点实验室, 四川绵阳 621000)

5 (四川鞍子河自然保护区, 四川崇州 611230)

6 (四川黑水河自然保护区, 四川大邑 611330)

摘要: 由雪豹(*Panthera uncia*)捕食散放家畜引起的人兽冲突是目前中国雪豹保护面临的主要挑战之一。四川邛崃山脉地处雪豹分布范围的东南缘, 本研究以邛崃山中部的自然保护区群为研究区, 收集了2014–2018年红外相机调查和动物粪便DNA分析中采集到的雪豹与散放牦牛的分布位点, 使用MaxEnt物种分布模型预测两物种在研究区内的潜在分布范围, 以两物种分布重叠的程度作为评估雪豹捕食家畜潜在风险的指标, 从而识别雪豹–家畜冲突的高危区域。结果表明, 在邛崃山中部的保护区群中, 模型预测的雪豹适宜栖息地面积为871.14 km², 牦牛适宜栖息地面积为988.41 km², 二者重叠面积达534.47 km², 主要分布在研究区西部的高山草甸地区, 占域内雪豹适宜栖息地总面积的61.35%。研究区域内总体上可能存在较高的雪豹–家畜冲突风险。在这些自然保护区以及新建的大熊猫国家公园的管理规划中, 应把高山放牧作为对区内野生雪豹种群的关键威胁之一, 重点关注模型预测的人兽冲突高危区域, 通过改变社区牧业管理方式、发展社区替代生计等方式, 降低潜在冲突的风险。

关键词: 人兽冲突; 放牧管理; 保护地管理; 物种分布模型; 红外相机; 保护地网络

Evaluating the potential habitat overlap and predation risk between snow leopards and free-range yaks in the Qionglai Mountains, Sichuan

Xiaoyun Shi^{1,2}, Xiaogang Shi³, Qiang Hu³, Tianpei Guan⁴, Qiang Fu⁵, Jian Zhang⁶, Meng Yao^{1,2}, Sheng Li^{1,2*}

1 School of Life Sciences, Peking University, Beijing 100871

2 Institute of Ecology, Peking University, Beijing 100871

3 Wolong National Nature Reserve, Wenchuan, Sichuan 623004

4 Ecological Security and Protection Key Laboratory of Sichuan Province, Mianyang Normal College, Mianyang, Sichuan 621000

5 Anzihe Nature Reserve, Chongzhou, Sichuan 611230

6 Heishuihe Nature Reserve, Dayi, Sichuan 611330

Abstract: Human–wildlife conflict (HWC) related to livestock predation is one of the main challenges for snow leopard conservation in China. The Qionglai Mountains are located on the southeastern edge of the snow leopard's range, and we used the nature reserve network which transects the central Qionglai Mountains as our study area. We collected occurrence data for snow leopards and free-range yaks from camera-trapping surveys and animal fecal DNA analysis from 2014 to 2018 and then predicted the distribution of each species using species distribution models (MaxEnt). We mapped the overlapping patches of suitable habitats between snow leopards and yaks and used the extent of habitat overlapping as the indicator of

收稿日期: 2019-03-04; 接受日期: 2019-06-14

基金项目: 生态环境部生物多样性保护专项(2110404: MM-2016-026; MM-2017-026)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: shengli@pku.edu.cn

potential predation risk. The results showed that, across the seven nature reserves, the predicted suitable habitat for snow leopards and yaks is 871.14 km² and 988.41 km², respectively. The overlapping habitat between the two species is 534.47 km², primarily distributed in the alpine meadow area in the western part of the study area, accounting for 61.35% of snow leopard's suitable habitat. We suggest that, when developing the management plans of these nature reserves and the newly established Giant Panda National Park, managers should consider alpine grazing a key threat to wild snow leopards and give high priority to the management of high-risk areas identified in this study. Immediate actions are needed to reduce the risk of potential HWC through interdisciplinary approaches such as grazing control and alternative livelihoods in local communities.

Key words: human-wildlife conflict; grazing management; protected area management; species distribution models; camera-trapping; protected area network

在濒危野生动物尤其是大型哺乳动物的保护中,人兽冲突(human-wildlife conflict)是最主要的威胁来源之一(Sangay & Vernes, 2008)。人兽冲突的形式与原因多种多样,通常都会给当地社区和居民带来经济损失和/或安全威胁,导致当地社区对野生动物产生负面印象,容忍度下降(Barua et al, 2013)。如果缺乏适当的管理措施,人兽冲突可逐渐激化,进而导致对肇事动物的报复性猎杀或清除(Messmer, 2000)。

在引发人兽冲突的各类野生动物中,大型食肉动物是受到人们关注与研究最多的类群,而食肉动物捕食家畜是人兽冲突最为重要的表现形式和肇因之一(Pettigrew et al, 2012)。有研究发现,野生猎物的生物量是对大型猫科动物捕食家畜影响最大的因子,在野生猎物数量下降到一个最小阈值后,会导致大型猫科动物捕食家畜的概率显著上升(Khorozyan et al, 2015)。而另一方面,家畜是当地居民赖以生存发展的重要资源(Wang et al, 2015),因而在家畜和大型食肉动物共存的环境中,暴发人兽冲突的风险更高。在家畜被捕食后,家畜主人往往出于愤怒而对野生大型食肉类动物采取报复性的猎杀行为,双方关系陷入恶性循环,激化保护工作和社会经济问题之间的矛盾(Sharma et al, 2015)。在人兽冲突激烈的地区,人与野生动物的关系往往紧张而脆弱,对维护区域生态系统稳定和平衡社区经济发展造成不利影响(Inskip & Zimmermann, 2009)。因此,人兽冲突已经成为濒危野生动物保护中最亟待解决的问题之一(Valeix et al, 2012)。

雪豹(*Panthera uncia*)起源于青藏高原,是高原生态系统中的顶级捕食者,在生态系统结构与功能的维持中具有重要的作用。近年来,得益于保护投

入的增加与法律法规的完善,雪豹保护取得了不小的成就。但不可忽视的一个现实情况是,在其整个分布区内,虽然强度在各地并不均衡,但由雪豹引发的人兽冲突广泛存在(Bagchi & Mishra, 2006; Aryal et al, 2014)。在我国,雪豹的分布区与藏传佛教的影响区之间具有很高的重叠度(Li et al, 2014);得益于传统文化、宗教等因素的影响,在我国大部分雪豹分布区内,当地社区对雪豹具有较高的容忍度(Li et al, 2013),因此这些广泛存在的雪豹捕食家畜的冲突没有进一步升级为激烈的对抗。随着社会经济不断发展,中国的雪豹保护目前仍然面临巨大挑战(Li & Lu, 2014)。雪豹面临的威胁从过去以大肆捕猎为主的严峻形势,已转化成为获取毛皮制品、豹骨药材而偷盗猎、非法贸易和报复性猎杀等共存的局面(Li & Lu, 2014),其中报复性猎杀是人-雪豹冲突的最主要表现形式,主要因雪豹捕食散放家畜而引发(Li et al, 2016)。因此,在区域尺度上对潜在发生冲突的地区进行识别,对捕食家畜而引起的人兽冲突进行科学的研究以探明其发生机制与特征,并制定相应的管理策略,已经成为雪豹保护中亟待解决的问题之一(Valeix et al, 2012)。

邛崃山脉地处雪豹分布区的东南缘,是四川省内的雪豹栖息地之一(Li et al, 2010; 李娟, 2012),但该区域内雪豹研究起步晚、研究少,雪豹分布、种群、猎物组成、动态变化等相关信息严重匮乏。同时,该区域内存在以牦牛为主的大量家畜散放的情况,但缺乏可以部分缓解人兽冲突强度的浓厚文化与宗教传统,人与雪豹间存在较高的潜在冲突风险。本研究通过获取雪豹和牦牛的实地活动位点,结合物种分布模型,对雪豹与家畜的空间分布进行预测,以两者的重叠分布区作为雪豹捕食家畜的潜

在高危风险区,以期在区域尺度上识别关键地区,对冲突风险进行评估。

1 研究方法

1.1 研究区域

邛崃山脉位于四川省中部,是大熊猫野生种群的核心分布区之一(胡锦涛和夏勒, 1985; 胡锦涛, 2004)。自20世纪60年代起,区内先后建立起7个自然保护区(卧龙、鞍子河、黑水河、蜂桶寨、四姑娘山、米亚罗、草坡),空间上相互连接,构成了邛崃山系中部的自然保护区群(四川省林业厅, 2015; 图1)。邛崃山系自2009年首次确认野外雪豹分布记录以来(Li et al, 2010),区内已有卧龙、鞍子河、黑水河、蜂桶寨、四姑娘山5个自然保护区使用红外相机记录到雪豹活动(施小刚等, 2017; 唐卓等, 2017; 胡茜茜等, 2018),并初步建立起以卧龙保护区为核心的区域性红外相机监测网络。自然保护区是我国生物多样性保护的基础,也是保护行动、保护政策落地实施的实际管理单元,因此本研究以该保护区群7个自然保护区为核心研究区域。为了降低边界效应的影响,以保护区群的外边界向外扩展10 km作为本研究中模型构建的空间范围(图1)。该区域总面积11,524 km²,其中7个保护区总面积5,563 km²,地理范围为30.3°–31.8° N, 102.6°–103.5° E,海拔1,150–6,250 m,地势自东南向西北逐渐升高,以卧龙、四姑娘山、米亚罗3个保护区交界处的四姑娘山一带为海拔最高区域。

研究区内分布着藏族、羌族等少数民族的聚居区,历来有放牧牛羊的传统,畜牧业是当地社区重要的经济来源之一(Hull et al, 2014; 王晓等, 2018)。在区内林线以上的高山草甸与草地(即雪豹活动的主要生境类型)中,放牧家畜种类以家牦牛占绝对优势,管理方式粗放,为无人跟随的散放,家养动物在高山草甸与草地生境中自由活动(Zhang et al, 2017)。

1.2 数据收集

系统收集研究区域内2014–2018年之间雪豹与牦牛的出现位点信息,包括经纬度坐标与海拔。数据来源包括卧龙、米亚罗、鞍子河、黑水河等自然保护区的红外相机实地调查记录(施小刚等, 2017; 唐卓等, 2017; 胡茜茜等, 2018),以及动物粪便样品DNA分析鉴定记录(姚蒙和李晟, 未发表数据)。共

图1 邛崃山脉中部自然保护区群及雪豹与牦牛的记录位点示意图。图中编号1–7依次代表米亚罗、草坡、卧龙、鞍子河、黑水河、蜂桶寨及四姑娘山7个自然保护区。

Fig. 1 The nature reserve network in central Qionglai Mountains and the occurrence locations of snow leopards and yaks. 1, Miyalu; 2, Caopo; 3, Wolong; 4, Anzihe; 5, Heishuihe; 6, Fengtongzhai; 7, Siguniangshan.

收集雪豹记录位点187个(其中红外相机记录位点166个,经DNA物种鉴定确认的粪便记录位点21个),牦牛记录位点133个(图1)。

1.3 分布模型

使用物种分布模型分别对研究区域内雪豹与牦牛的适宜栖息地和空间分布进行预测。

选取地形、气候、植被、人类影响四大类因子作为模型预测的环境变量。(1)地形数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/>)分辨率为30 m × 30 m的数字高程(DEM)图。从获取的数字高程图中,利用ArcMAP 10.0的空间分析工具得到相应的坡度和坡向变量图层。其中坡度重分类为0°–5°、5°–10°、10°–20°、20°–30°及> 30°共5类,坡度重分类为阳坡(45°–225°)和阴坡(225°–45°) 2类。(2)气候数据来源

于 WorldClim 网站 (<http://www.worldclim.org/>) 的 Bioclim数据集, 包括19个气候图层, 分辨率为30 arc-seconds。在R软件中对研究区域内这19个气候变量进行Pearson相关性检验, 去除相关系数高于0.7的变量, 以减小变量共线性对模型结果的影响(王茹琳等, 2017)。初步选取bio2 (月均昼夜温差)、bio3 (等温性)、bio4 (温度季节性)、bio5 (最暖月最高温)、bio7 (年温差)、bio14 (最干月降水量)。(3)植被数据来源于Land Processes Distributed Active Archive Center(https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table)的MODIS数据产品MOD13Q1和MCD12Q1, 下载后的MODIS数据先在MRTTools中拼接和投影。从MCD12Q1数据集提取分辨率为500 m × 500 m的植被类型数据, 在ArcMAP中重分类为针叶林、阔叶林、灌丛、草地、裸岩和其他6类; 从MOD13Q1数据集提取分辨率为250 m × 250 m的归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)。(4)以人口密度作为人类干扰的指标, 数据来源为中国科学院资源环境数据云平台(www.resdc.cn), 原始分辨率为1 km × 1 km。

用最近邻法将所有环境变量图层的分辨率统

一重采样为100 m × 100 m, 并重投影为WGS_1984_UTM_Zone_48N坐标系, 转为ASC格式, 用于后续的建模分析。

选取MaxEnt模型(版本3.4.0)预测雪豹与牦牛的空间分布。该模型基于最大熵原理(maximum entropy)开发而来, 具有数据量需求小、操作简单、预测结果可靠性高等优势, 在野生动物分布预测中被广泛使用(Phillips et al, 2006)。在本研究中, 因为动物分布数据量有限, 且位点在研究区域内分布较为分散, 所以未对分布点做疏化处理, 全部用于后续的分佈模型。在模型中设置检验数据的比例为25%, 其余75%为训练数据, 重复运行20次Bootstrap, 选择创建响应曲线(response curves), 并对变量重要性做刀切分析(Jackknife)。以ROC曲线(receiver operating characteristic curve)中的AUC值(area under curve)来评价模型的模拟效果。在建模过程中, 首先把所有变量放入模型进行预分析, 选取对预测结果贡献较大的因子, bio3、坡向和人口密度因子被筛选, 保留海拔、坡度、bio2、bio4、bio5、bio7、bio14、NDVI指数和植被类型共9个变量(表1); 然后, 使用预筛后的9个变量对研究区域内的雪豹和牦牛

表1 雪豹及牦牛适宜栖息地预测最终模型中使用的环境变量

Table 1 The environmental variables used in the final models for predicting the suitable habitat of snow leopard and yak

环境变量 Environmental variables	分类与赋值 Classification and assignment	原始分辨率 Original resolution	来源 Source
地形 Topography			
海拔 Elevation	连续变量 Continuous variable	30 m	中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台 Geospatial Data Cloud
坡度 Slope	0°–5° (1); 5°–10° (2); 10°–20° (3); 20°–30° (4); > 30° (5)	30 m	
气候 Climate			
月均昼夜温差 Mean diurnal range (bio2)	连续变量 Continuous variable	30"	WorldClim
温度季节性 Temperature seasonality (bio4)	连续变量 Continuous variable		
最暖月最高温 Max. temperature of the warmest month (bio5)	连续变量 Continuous variable		
年温差 Temperature annual range (bio7)	连续变量 Continuous variable		
最干月降水量 Precipitation of the driest month (bio14)	连续变量 Continuous variable		
植被 Vegetation			
归一化植被指数 Normalized difference vegetation index (NDVI)	连续变量 Continuous variable	250 m	Land Processes Distributed Active Archive Center
地被类型 Land cover	针叶林 Coniferous forest (1)	500 m	
	阔叶林 Broad-leaved forest (2)		
	灌丛 Shrub (3)		
	草地 Grassland (4)		
	裸岩 Bare rock (5)		
	其他 Others (6)		

的空间分布分别构建最终模型。

1.4 叠加分析

MaxEnt模型的预测结果是值为0–1的范围, 值越接近于1表示适宜程度越高。以模型结果中给定的敏感度和特异度的最大和(maximum training sensitivity plus specificity logistic threshold)作为阈值(李娟, 2012), 在ArcMap 10.0中将雪豹与牦牛的预测结果分别重分类为适宜栖息地与非适宜栖息地, 即高于该物种分布阈值的区域作为其适宜栖息地, 重新赋值为1, 而低于该阈值的区域为非适宜栖息地, 赋值为0。将雪豹和牦牛重分类后的2个分布图层进行加和, 值为2的像素即为两物种的分布重叠区, 将其识别为发生人兽冲突的高危区域。分别计算研究区各自然保护区内雪豹与牦牛的分布区面积和分布重叠面积。

1.5 景观分析

基于景观分析软件Fragstats 4.2 (McGarigal & Marks, 1995)及通过MaxEnt模型得到的适宜栖息地预测结果, 对研究区内的潜在雪豹适宜栖息地、牦牛适宜栖息地及其重叠区域分别进行景观分析。选取斑块数(number of patches, NP)、斑块密度(patch density, PD)、平均斑块面积(mean patch size, MPS)、最大斑块指数(largest patch index, LPI)、斑块结合度指数(patch cohesion index, COHESION)、分割指数(segmentation index, DIVISION)、分离度指数(separation index, SPLIT)、景观蔓延度指数(contagion index, CONTAG)、边缘面积分维度(perimeter area fractal dimension, PAFRAC)共9个指数作为指标来评估三者的景观特征(和梅香等, 2018)。

2 结果

根据模型输出的ROC曲线, 雪豹和牦牛预测模型的平均AUC值分别为0.961和0.948, 表明模型预测精度良好。在研究区的保护区群内, 预测得到雪豹适宜栖息地主要分布在海拔偏高的西部, 总面积871.14 km², 占研究区7个自然保护区总面积的15.66%; 预测得到的牦牛适宜栖息地面积为988.41 km², 占总面积的17.77%, 与雪豹适宜栖息地具有相似的分布特征, 但位置相对偏北、范围更广。在7个自然保护区中, 卧龙保护区内的雪豹和牦牛的潜在适宜栖息地面积均为最大, 分别为533.70 km²与425.86 km², 占该保护区总面积的26.69%与21.29%(表2)。叠加分析的结果显示, 两物种适宜栖息地重叠区域的面积达534.47 km², 分别占雪豹与牦牛适宜栖息地总面积的61.35%与54.07%。这些重叠区以卧龙和四姑娘山自然保护区中分布最多, 并在卧龙与蜂桶寨、黑水河保护区交界处至卧龙与四姑娘山保护区交界处, 沿山脊线两侧存在一个面积相对较大的连片区域(图2, 表2)。

从影响雪豹和牦牛分布的环境变量上看, 两物种存在一定差异。9个变量中, 对雪豹分布影响最大的因子为温度季节性(bio4)、最暖月最高温(bio5)和植被类型, 其贡献率依次为34.4%、18.3%和11.2%; 对牦牛分布影响最大的则是植被类型、温度季节性(bio4)和坡度, 贡献率依次为27.6%、14.1%和12.7%。温度季节性(bio4)对两物种分布都具有较大影响, 但温度对雪豹分布的限制程度高于牦牛。雪豹偏好活动的区域海拔高于4,000 m, 在6种植被类

表2 雪豹、牦牛适宜栖息地及其分布重叠区在邛崃山脉中部7个自然保护区内的分布情况
Table 2 Distribution of suitable habitats of snow leopard and yak and their overlapping region in the seven nature reserves in central Qionglai Mountains

自然保护区 Nature reserve	总面积 Area (km ²)	雪豹适宜栖息地面积 Suitable habitat area of snow leopard (km ²)	牦牛适宜栖息地面积 Suitable habitat area of yak (km ²)	重叠区域面积 Area of overlapping habitats (km ²)
鞍子河 Anzihe	101	6.52	0.76	0.75
蜂桶寨 Fengtongzhai	390	52.31	49.91	41.90
黑水河 Heishuihe	318	51.51	31.11	29.55
米亚罗 Miyaluo	1,607	31.57	182.97	20.49
四姑娘山 Siguniangshan	591	138.11	215.26	90.96
草坡 Caopo	556	57.42	82.53	35.71
卧龙 Wolong	2,000	533.70	425.86	315.11
合计 Total	5,563	871.14	988.41	534.47

图2 邛崃山脉中部7个自然保护区内雪豹与牦牛适宜栖息地与重叠区分布

Fig. 2 Suitable habitats and overlapping region of snow leopards and yaks in the seven natural reserves in central Qionglai Mountains

型中最为偏好草地, 其分布概率约在最暖月最高温 (bio5) 为 12℃ 时达到最大, 在温度季节性 (bio4) 为 5,799 到 6,878 间先上升后下降。对雪豹分布而言, 温

度比海拔影响更大的结论与已有研究一致。牦牛则偏好在坡度相对平缓的草地或阔叶林中活动, 其分布概率在温度季节性 (bio4) 为 5,799 时最高, 此后随着 bio4 值的上升而下降。

景观分析结果显示, 研究区内雪豹适宜栖息地的斑块数量和密度均小于牦牛适宜栖息地和两物种重叠区, 但反映破碎化程度的平均斑块面积、最大斑块指数以及斑块结合度指数则均大于其余二者, 表明研究区内雪豹适宜栖息地斑块数量少但破碎化程度低于牦牛适宜栖息地和重叠区 (表3)。同时, 相比牦牛适宜栖息地及重叠区域, 雪豹适宜栖息地的分割指数及分离度指数低, 而斑块结合度指数及景观蔓延度指数高, 表示其斑块间的分离程度相对较低 (表3)。此外, 能够反映人类干扰程度的边缘面积积分维度数值属雪豹适宜栖息地最低 (表3)。综上, 研究区内雪豹适宜栖息地的破碎化程度相对低、连通度相对高、人类干扰程度相对弱, 从景观尺度上表现出比牦牛适宜栖息地更高的质量。

3 讨论

根据预测结果, 研究区内雪豹与牦牛重叠的适宜栖息地范围达 534.47 km², 占雪豹适宜栖息地总面积的 61.35%, 表明研究区内有超过一半的雪豹适宜栖息地内可能有牦牛活动, 区内的雪豹种群正受到相当程度的人类放牧活动的干扰。这些具有人-豹冲突高危风险的区域主要出现在研究区内海拔偏高的西部, 尤其以四姑娘山和卧龙自然保护区内部以及在卧龙南部与蜂桶寨和黑水河的边界区域为主。预测得到的潜在适宜栖息地与人兽冲突高危

表3 邛崃山脉中部7个自然保护区内雪豹、牦牛适宜栖息地及分布重叠区景观指数统计表

Table 3 Landscape measures of snow leopard's and yak's suitable habitats and the overlapping patches in the seven nature reserves in central Qionglai Mountains

景观指数 Landscape index		雪豹 Snow leopard	牦牛 Yak	分布重叠区 Overlapping patches
破碎度 Fragmentation	斑块数 Number of patches	524	1,307	653
	斑块密度 Patch density (ind./km ²)	0.60	1.32	1.22
	平均斑块面积 Mean patch size (km ²)	1.65	0.76	0.82
	最大斑块指数 Largest patch index (%)	33.07	7.33	11.43
连通度 Connectivity	斑块结合度指数 Patch cohesion index	95.75	87.68	89.04
	分割指数 Segmentation index	0.86	0.98	0.97
	分离度指数 Separation index	7.31	50.73	32.79
	景观蔓延度指数 Contagion index	75.59	68.47	68.85
人类干扰程度 Human disturbance	边缘面积分维度 Perimeter area fractal dimension	1.37	1.43	1.39

区域的分布符合雪豹和牦牛作为高山物种偏好高海拔生境的习性,侧面证明了模型结果的可信度。从各个自然保护区的情况来看,卧龙和四姑娘山自然保护区内分布着最大面积的雪豹、牦牛和重叠潜在适宜栖息地,即涵盖了最大面积的人兽冲突风险区域,应当作为预防风险的重点区域引起重视。

除了雪豹捕食家畜可能会带来人兽冲突的风险之外,研究区内广泛存在的散放家畜还有可能通过其他的间接途径对雪豹及其栖息地产生多方面的负面影响。相比于野生食草动物,散放家畜通常体型大且群体大,活动及采食强度高,会与生态位相近的岩羊(*Pseudois nayaur*)等野生食草动物(雪豹的主要猎物)形成资源竞争(王小明等, 1998),导致雪豹野生猎物空间分布的改变和种群数量的下降(Mishra et al, 2004)。家畜的活动还会极大地增加疫病在野生动物中传播的风险。此外,放牧人在高山的活动也会给栖息地带来负面影响,客观上也为偷猎者进行非法活动提供了便利。除了对野生动物的负面影响之外,高密度家畜的啃食、踩踏还会破坏地表植被、增加水土流失,给原本脆弱的生态系统带来严重的甚至不可逆的影响。因此,加强对高山放牧的管理已是该区域自然保护区亟需解决的问题。建议考虑以下几点管理措施:

(1)结合扶贫、社区发展等区域规划和项目,在改善当地居民生计的过程中,寻找、发展畜牧业以外的替代生计,以逐步降低畜牧业在当地社会经济中的比重。

(2)进行畜牧业管理方式的转变与升级,在当地探索、发展小规模集约化家畜管理方式,把粗放的野外散放改为精细的集中管理。

(3)在人兽冲突的潜在高危区域加强管理,尽量减少散放家畜在这些区域的活动强度,以降低家畜被捕食的风险,同时减少放牧活动对雪豹及其伴生动物和栖息地的影响。

(4)联合卫生防疫部门加强对牦牛等家畜生理状况的管理监督,预防疾病传播,不仅能提高家畜的存活率,也能防止野生动物经由家畜传播而患上疾病。

(5)建立人兽冲突事件的信息采集、损失评估和生态补偿机制,使得当地居民在受到雪豹或其他野生食肉动物捕食家畜的损失后,能及时得到关注与合理补偿,从而减轻人兽冲突的强度。

(6)加强对区域内野生有蹄类种群的保护,在野生食物资源足够丰富的情况下雪豹对家畜的捕食率可能会下降,从而降低人兽冲突发生的风险。

与研究人兽冲突时常使用的传统调查方法相比,本研究的方法结合了物种分布模型,既有优点也有局限。传统的人兽冲突以访谈、问卷等形式为主,能够以定量的数据反映冲突历史、强度、各利益相关方态度等方面的信息,但通常费时费力,结果易受到问题设计和访问人员记忆等认知能力的干扰(Li et al, 2013)。相较而言,本研究的方法主要关注人兽冲突发生的空间特征,实现了对红外相机等保护区监测数据的深入挖掘与多重利用,从一定程度上预估了人兽冲突可能发生的区域。虽然无法定量地评估或预测冲突的强度,但对于基础信息严重匮乏而保护需求极为紧迫的情况,这种方法可以在前期快速评估潜在风险的程度以及空间分布,为区域性保护规划、保护管理策略的制定提供指导。相较于传统的问卷调查,本方法操作更为简单便捷,结果更加明晰直观,同时更能节省人力物力,对于相对大尺度的相关研究而言具有一定的参考价值。

由于数据和方法等条件的限制,本研究也存在一些局限和有待完善的地方。首先,物种分布模型预测结果的准确性和可靠性会受到物种分布数据的数据量、空间分布特征等多方面因素的影响(Guisan & Thuiller, 2005)。过小的数据量、分布位点空间分布上的不均衡(spatial bias)(Boria et al, 2014)以及不适当的研究范围都可能导致物种分布模型的预测结果出现相应偏差,造成对物种适宜栖息地的局部高估或低估(Stockwell & Peterson, 2002; Elith & Leathwick, 2009)。在本研究中,收集到的物种分布位点在研究区的中部和西北部有较好的覆盖,分布也较为分散,但在研究区域的东北部(例如草坡自然保护区)与南部(例如蜂桶寨自然保护区),则缺乏监测数据,在MaxEnt模型预测中可能会导致局部低估两物种的适宜栖息地。其次,研究区域内的牦牛虽然管理粗放,可以在高山生境中自由活动,但牛群的空间分布也会受到放牧人管理的影响。为简化起见,本研究在建模中未考虑放牧人影响而把散放牦牛作为完全自由活动的动物处理,其实际的空间分布情况还需更多野外调查数据来评估。另外,雪豹与散放家畜之间的捕食风险高低会受到多方面因素的共同影响。例如,本研究中仅预

测了雪豹与散放家畜的空间分布,而未把以岩羊为代表的野生猎物考虑进来。已有研究显示,野生猎物的缺失或不足,会引发和加剧食肉类对家畜的捕食(Athreya et al, 2013; Khorozyan et al, 2015)。此外,家畜的疾病发生率也可能对雪豹的捕食强度造成影响,因为家畜中疾病的发生能够提高雪豹对其捕食的成功率。雪豹对家畜的捕食情况会受到家畜季节性分布模式的影响,表现出强度的差异(Aryal et al, 2014)。如果通过引入区域内家畜的季节性活动规律甚至两物种的活动节律等时间尺度的变量,则可以更进一步提高风险评估的完整性。在本研究中,仅使用地理水平上的分布重叠情况作为雪豹与散放家畜之间冲突风险程度的评估指标,是在考虑到当前基础研究匮乏、信息严重不足这些现实情况的前提下,对这一复杂问题的简化处理。

今后,随着相关研究的深入和数据、信息的持续积累,我们可以在更精细的空间和时间尺度上,将更多的潜在影响因素纳入考虑范围,对雪豹和散放家畜的捕食风险进行更为可靠的评估和预测,从而对区域性的人兽冲突管理与保护规划提供更为准确的指导和建议。

致谢:感谢卧龙、鞍子河、黑水河、四姑娘山、米亚罗等自然保护区的工作人员在野外调查与数据采集中的辛苦努力。感谢邵昕宁、厉威池、陈晓宇等提供动物粪便样品的DNA分析与物种鉴定结果。感谢卜红亮、刘鸣章在模型构建与数据分析中提供的帮助。

参考文献

- Aryal A, Brunton D, Ji WH, Barraclough KR, Raubenheimer D (2014) Human-carnivore conflict: Ecological and economical sustainability of predation on livestock by snow leopard and other carnivores in the Himalaya. *Sustainability Science*, 9, 321–329.
- Athreya V, Morten O, Linnell DCJ, Krishnaswamy J, Karanth U (2013) Big cats in our backyards: Persistence of large carnivores in a human dominated landscape in India. *PLoS ONE*, 8, e57872.
- Bagchi S, Mishra C (2006) Living with large carnivores: Predation on livestock by the snow leopard (*Uncia uncia*). *Journal of Zoology*, 268, 217–224.
- Barua M, Bhagwat SA, Jadhav S (2013) The hidden dimensions of human-wildlife conflict: Health impacts, opportunity and transaction costs. *Biological Conservation*, 157, 309–316.
- Boria RA, Olson LE, Goodman SM, Anderson RP (2014) Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models. *Ecological Modelling*, 275, 73–77.
- Elith J, Leathwick JR (2009) Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 677–697.
- Forestry Department of Sichuan Province (2015) The Panda of Sichuan—The 4th Survey Report on Giant Panda in Sichuan Province. Sichuan Science and Technology Press, Chengdu. (in Chinese) [四川省林业厅 (2015) 四川的大熊猫——四川省第四次大熊猫调查报告. 四川科学技术出版社, 成都.]
- Guisan A, Thuiller W (2005) Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8, 993–1009.
- He MX, Chen LX, Luo G, Gu XD, Wang G, Ran JH (2018) Suitable habitat prediction and overlap analysis of two sympatric species, giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*) and Asiatic black bear (*Ursus thibetanus*) in Liangshan Mountains. *Biodiversity Science*, 26, 1180–1189. (in Chinese with English abstract) [和梅香, 陈丽心, 罗概, 古晓东, 王戈, 冉江洪 (2018) 凉山山系大熊猫和黑熊适宜生境预测及重叠分析. 生物多样性, 26, 1180–1189.]
- Hu JC, Schaller BG (1985) Wolong's Giant Panda. Sichuan Science and Technology Press, Chengdu. (in Chinese) [胡锦涛, 夏勒 (1985) 卧龙的大熊猫. 四川科学技术出版社, 成都.]
- Hu JC (2004) Population and conservation of giant pandas in Wolong and Caopo nature reserves. *Acta Theriologica Sinica*, 24, 48–52. (in Chinese with English abstract) [胡锦涛 (2004) 卧龙及草坡自然保护区大熊猫的种群与保护. 兽类学报, 24, 48–52.]
- Hu XX, Zheng WC, Li JQ, Li S, Yang H, Chen X, Guan TP (2018) Preliminary survey on mammal and bird diversity at Siguniang Mountains National Nature Reserve, Sichuan, China. *Biodiversity Science*, 26, 1325–1331. (in Chinese with English abstract) [胡茜茜, 郑维超, 李佳琦, 李晟, 杨晗, 陈星, 官天培 (2018) 四姑娘山国家级自然保护区鸟兽多样性初步调查. 生物多样性, 26, 1325–1331.]
- Hull V, Zhang J, Zhou S, Huang J, Viña A, Liu W, Tuanmu M-N, Li RG, Liu D, Xu WH, Huang Y, Ouyang ZY, Zhang HM, Liu JG (2014) Impact of livestock on giant pandas and their habitat. *Journal for Nature Conservation*, 22, 256–264.
- Inskip C, Zimmermann A (2009) Human-felid conflict: A review of patterns and priorities worldwide. *Oryx*, 43, 18–34.
- Khorozyan I, Ghoddousi A, Soofi M, Waltert M (2015) Big cats kill more livestock when wild prey reaches a minimum threshold. *Biological Conservation*, 192, 268–275.
- Li J (2012) Ecology and Conservation Strategy of Snow Leopard (*Panthera uncia*) in Sanjiangyuan Area on the Tibetan Plateau. PhD dissertation, Peking University, Beijing. (in

- Chinese with English abstract) [李娟 (2012) 青藏高原三江源地区雪豹(*Panthera uncia*)的生态学研究及保护. 博士学位论文, 北京大学, 北京.]
- Li J, Lu Z (2014) Snow leopard poaching and trade in China 2000–2013. *Biological Conservation*, 176, 207–211.
- Li J, Wang DJ, Yin H, Jiagong ZL, Lu Z (2013) Human–snow leopard conflicts in the Sanjiangyuan Region of the Tibetan Plateau. *Biological Conservation*, 166, 118–123.
- Li J, Wang DJ, Yin H, Zhaxi DJ, Jiagong ZL, Schaller BG, Mishra C, McCarthy MT, Wang H, Wu L, Xiao LY, Basang LM, Zhang YG, Zhou YY, Lu Z (2014) Role of Tibetan Buddhist monasteries in snow leopard conservation. *Conservation Biology*, 28, 87–94.
- Li J, Xiao LY, Lu Z (2016) Challenges of snow leopard conservation in China. *Science China: Life Sciences*, 59, 637–639.
- Li S, Wang DJ, Lu Z, McShea WJ (2010) Cats living with pandas: The status of wild felids within giant panda range, China. *Cat News*, 52, 20–23.
- McGarigal K, Marks BJ (1995) Fragstats: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. General Technical Report, Portland.
- Messmer TA (2000) The emergence of human–wildlife conflict management: Turning challenges into opportunities. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 45, 97–102.
- Mishra C, Wieren SV, Ketner P, Heitkonig IM, Prins HH (2004) Competition between domestic livestock and wild bharal *Pseudois nayaur* in the Indian Trans-Himalaya. *Journal of Applied Ecology*, 41, 344–354.
- Pettigrew M, Xie Y, Kang AL, Rao M, Goodrich J, Liu T, Berger J (2012) Human–carnivore conflict in China: A review of current approaches with recommendations for improved management. *Integrative Zoology*, 7, 210–226.
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259.
- Sangay T, Vernes K (2008) Human–wildlife conflict in the Kingdom of Bhutan: Patterns of livestock predation by large mammalian carnivores. *Biological Conservation*, 141, 1272–1282.
- Sharma RK, Bhatnagar YV, Mishra C (2015) Does livestock benefit or harm snow leopards? *Biological Conservation*, 190, 8–13.
- Shi XG, Hu Q, Li JQ, Tang Z, Yang J, Li WJ, Shen XL, Li S (2017) Camera-trapping surveys of the mammal and bird diversity in Wolong National Nature Reserve, Sichuan Province. *Biodiversity Science*, 25, 1131–1136. (in Chinese with English abstract) [施小刚, 胡强, 李佳琦, 唐卓, 杨建, 李文静, 申小莉, 李晟 (2017) 利用红外相机调查四川卧龙国家级自然保护区鸟兽多样性. 生物多样性, 25, 1131–1136.]
- Stockwell DRB, Peterson AT (2002) Effects of sample size on accuracy of species distribution model. *Ecological Modelling*, 148, 1–13.
- Tang Z, Yang J, Liu XH, Wang PY, Li ZY (2017) Research on snow leopards (*Panthera uncia*) using camera-trapping in Wolong National Nature Reserve, China. *Biodiversity Science*, 25, 62–70. (in Chinese with English abstract) [唐卓, 杨建, 刘雪华, 王鹏彦, 李周园 (2017) 基于红外相机技术对四川卧龙国家级自然保护区雪豹(*Panthera uncia*)的研究. 生物多样性, 25, 62–70.]
- Valeix M, Hemson G, Loveridge JA, Mills G, MacDonald WD (2012) Behavioural adjustments of a large carnivore to access secondary prey in a human-dominated landscape. *Journal of Applied Ecology*, 49, 73–81.
- Wang F, McShea WJ, Wang DJ, Li S (2015) Shared resources between giant panda and sympatric wild and domestic mammals. *Biological Conservation*, 186, 319–325.
- Wang RL, Li Q, Feng CH, Shi ZP (2017) Predicting potential ecological distribution of *Locusta migratoria tibetensis* in China using MaxEnt ecological niche modeling. *Acta Ecologica Sinica*, 37, 8556–8566. (in Chinese with English abstract) [王茹琳, 李庆, 封传红, 石朝鹏 (2017) 基于MaxEnt的西藏飞蝗在中国的适生区预测. 生态学报, 37, 8556–8566.]
- Wang X, Li YJ, Li C, Zhang JD (2018) The impact of livestock on giant pandas in Wolong Nature Reserve. *Journal of China West Normal University (Natural Sciences)*, 39, 11–15. (in Chinese with English abstract) [王晓, 李玉杰, 李程, 张晋东 (2018) 卧龙自然保护区放牧对大熊猫的影响. 西华师范大学学报(自然科学版), 39, 11–15.]
- Wang XM, Liu ZX, Xu HF, Li M, Li YG (1998) The blue sheep population ecology and its conservation in Helan Mountain, China. *Chinese Biodiversity*, 6, 1–5. (in Chinese with English abstract) [王小明, 刘志霄, 徐宏发, 李明, 李元广 (1998) 贺兰山岩羊种群生态及保护. 生物多样性, 6, 1–5.]
- Zhang J, Hull V, Ouyang ZY, Li R, Connor T, Yang H, Zhang ZJ, Silet B, Zhang HM, Liu JG (2017) Divergent responses of sympatric species to livestock encroachment at fine spatiotemporal scales. *Biological Conservation*, 209, 119–129.

(责任编辑: 蒋志刚 责任编辑: 闫文杰)