DOI: 10.5846/stxb201812252800
李美玲,陈强强, 韩雷, 王鹏, 杨建伟, 汪沐阳, 杨维康.新疆塔什库尔干野生动物自然保护区马可波罗盘羊生境适宜性评价.生态学报,2020,40(11):3549-3559.
Li M L, Chen Q Q, Han L, Wang P, Yang J W, Wang M Y, Yang W K.Habitat suitability assessment of Marco Polo sheep in Taxkorgan Nature Reserve in Xinjiang.Acta Ecologica Sinica,2020,40(11):3549-3559.

新疆塔什库尔干野生动物自然保护区马可波罗盘羊生境适宜性评价

李美玲[1,2],陈强强[1,2,3],韩 雷[1,2,3],王 鹏[4],杨建伟[4],汪沐阳[1,2],杨维康[1,2,*]
1 中国科学院干旱区生物地理与生物资源重点实验室中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011
2 木垒野生动物生态监测实验站,中国科学院新疆生态与地理研究所,木垒 831900
3 中国科学院大学,北京 100049
4 塔什库尔干野生动物自然保护区管理局, 喀什 844000

摘要:马可波罗盘羊是帕米尔高原的代表性物种,开展生境适宜性评价对于该物种的保护与管理具有重要意义。综合考虑植被、地形等影响马可波罗盘羊生境选择的关键因子,以及道路和牧场等人为干扰因子,借助 ArcGIS,构建生境适宜性指数模型,在不同尺度上评价分析马可波罗盘羊的生境适宜性及其季节变化特征。结果表明:15836 km^2保护区内马可波罗盘羊夏季潜在适宜生境面积为 2127.19 km^2,冬季为 1915.70 km^2。保护区西北部面积 3767.73 km^2的马可波罗盘羊实际分布区内,夏季潜在适宜生境面积为 1095.48 km^2,冬季为 1072.82 km^2,马可波罗盘羊适宜生境集中分布于保护区内该物种实际分布区。受人为干扰,保护区内马可波罗盘羊夏季和冬季实际适宜生境丧失率分别为 18.43%和 17.78%,实际分布区内适宜生境丧失率分别为 33.65%和 29.73%,表明实际分布区马可波罗盘羊适宜生境受人类活动影响较大,应予以重点保护。总体而言,影响马可波罗盘羊生境适宜性的关键因素是国道 314 和放牧。基于上述研究结果,作者提出了 4 点关于马可波罗盘羊生境保护,以及保护区管理与规划的建议与思考。

关键词:马可波罗盘羊;生境适宜性;地理信息系统;生境适宜性指数;生境丧失率

Habitat suitability assessment of Marco Polo sheep in Taxkorgan Nature Reserve in Xinjiang

LI Meiling[1,2], CHEN Qiangqiang[1,2,3], HAN Lei[1,2,3], WANG Peng[4], YANG Jianwei[4], WANG Muyang[1,2], YANG Weikang[1,2,*]
1 *CAS Key Laboratory of Biogeography and Bioresources in Arid Land*, *Xinjiang Institute of Ecology and Geography*, *Urumqi* 830011, *China*
2 *Mori Wildlife Monitoring and Experimentation Station*, *Xinjiang Institute of Ecology and Geography*, *Chinese Academy of Sciences*, *Mori* 831900, *China*
3 *University of Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100049, *China*
4 *Taxkorgan Wildlife Nature Reserve Administration*, *Kashgar* 844000, *China*

Abstract: Marco Polo sheep is a representative species in Pamir Plateau. Habitat suitability assessment is of great significance for the protection and management of the species. In this study, three groups of parameters including biological, non-biological factors, and the human interference were considered comprehensively. With help of ArcGIS, the habitat suitability index model was used to compare and analyze the potential and valid habitat areas and habitat loss rates at different scales, as well as the changes of habitat suitability in different seasons. The results showed that the potential

基金项目:国家自然科学基金项目(31661143019,41661144001);国家重点研发计划项目(2016YFC0503307)
收稿日期:2018-12-25; **网络出版日期**:2020-03-31
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: yangwk@ms.xjb.ac.cn

suitable habitat areas within the reserve was 2127.19 km^2 in summer and 1915.70 km^2 in winter, respectively. The potential suitable habitat areas within the actual distribution area in the northwest area of the reserve was 1095.48 km^2 in summer and 1072.82 km^2 in winter. Therefore, the suitable habitats for the Marco Polo sheep were mainly distributed within the actual distribution area. With the human interference, the suitable habitat loss rates within the reserve were 18.43% in summer and 17.78% in winter, 33.65% in summer and 29.73% in winter within the actual distribution area. The results showed that human activities have a greater impact on the actual distribution area, so we should focus on protecting it. In conclusion, the key impact factors were the National Road G314 and grazing activities. Four suggestions and ideas are proposed for the habitat protection of the Marco Polo sheep and the management and planning of the reserve.

Key Words: Marco Polo sheep (*Ovis ammon polii*); habitat suitability; GIS; HSI; habit loss rate

生境适宜性评价是开展濒危物种生境保护的首要工作。传统的生境适宜性评价易受时空等诸多限制,在数据分析和结果表达上都存在局限性,无法满足日益深入的野生动物生境质量评价需求[1-2]。近年来,将地理信息系统(Geographical Information System,GIS)与数学模型结合是研究野生动物生境的发展要求与趋势。生境适宜性指数(Habitat Suitability Index,HSI)作为一种生境评价标准,在野生动物生境质量评估中应用广泛。该模型最初由美国渔业与野生动物局开发[3],基于生境选择和限制因子等生态学理论[4],依据野外观察资料量化野生动物生境因子[5],用以定量刻画生物对生境偏好与生境因子间的关系[6]。因此该指数适用于表达简单而易于理解的主要环境因素对物种分布的影响[7]。目前将 HSI 模型与 GIS 技术结合的方法已广泛应用于国内外野生动物生境质量评价[8-11]。

盘羊(*Ovis ammon*)是中国国家Ⅱ级重点保护野生动物,《中国濒危动物红皮书》濒危(EN)物种[12],世界自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature,IUCN)红色名录近危(NT)物种[13],《濒危野生动植物种国际贸易公约(Convention on the Settlement of Investment Disputes Between States and Nationals of Other States,CITES)》附录Ⅱ物种[14]。马可波罗盘羊是盘羊帕米尔亚种(*Ovis ammon polii*),主要分布于塔吉克斯坦、阿富汗、巴基斯坦、吉尔吉斯斯坦,以及中国五国接壤的帕米尔高原区域。中国境内马可波罗盘羊主要分布于西昆仑山北坡、帕米尔高原东部、喀喇昆仑山和天山南部,紧邻我国边境线的一条狭带上[15]。近二十年来国内外相关保护和研究机构对马可波罗盘羊的生存现状高度关注,在该物种地理分布与数量、种群结构和生化遗传等方面开展了一系列研究工作[15-18],但目前关于保护区内马可波罗盘羊生境适宜性研究的报道较少,且仅限于对其生境选择的初步调查,或针对单一生境因子的研究[19-20],欠缺对该物种的多因子生境适宜性评价。

新疆塔什库尔干野生动物自然保护区是我国唯一以马可波罗盘羊为主要保护对象的自然保护区[21]。受过度放牧影响,近年来该保护区内植被退化严重,生境状况不容乐观[20]。加之近年来保护区受道路修建和工程施工[22]等人类活动干扰,致使马可波罗盘羊生境受到不同程度的干扰与破坏,因此亟待开展种群生境适宜性评价。本研究在赴实地收集大量马可波罗盘羊野外生境数据的基础上,通过建立其生境信息数据库,借助 ArcGIS 软件,结合生境适宜性指数模型,评价塔什库尔干自然保护区内马可波罗盘羊生存现状,旨在探究:(1)马可波罗盘羊生境状况如何?(2)影响马可波罗盘羊生境质量的关键因素是什么?研究结果可为有效保护马可波罗盘羊,以及客观准确的修订保护区功能区划提供科学指导。

1 研究区域概况

本研究区为新疆塔什库尔干野生动物自然保护区(北纬 35°38′—37°30′、东经 74°30′—77°00′)成立于 1984 年,总面积约 15836 km^2,位于新疆维吾尔自治区西南边缘的塔什库尔干塔吉克自治县的西南部,与巴基斯坦、阿富汗和塔吉克斯坦三国接壤,该保护区是马可波罗盘羊在中国的主要分布区,保护区内马可波罗盘羊种群数量占中国种群数量的 44.6%[20]。保护区内河谷纵横,高峰迭起,冰川广布,平均海拔在 4000 m 以上。

区内空气稀薄、年平均气温 3℃左右,年平均降水量 70 mm,蒸发量高达 2571 mm,属大陆性高原干旱荒漠气候。土壤类型主要以高山草甸土、高山草甸草原土、高山寒漠土和高山荒漠土为主。植被类型主要包括高寒草原植被、荒漠植被、高山稀疏植被、草甸和灌丛植被。常见植物有紫花针茅(*Stipa purpurea*)、沙生针茅(*Stipa glareosa*)、垫状驼绒藜(*Ceratoides compacta*)和麻黄(*Ephedra* sp)[19]。保护区内分布有北山羊(*Capra sibirica*)、雪豹(*Panthera uncia*)、胡兀鹫(*Gypaetus barbatus*)、金雕(*Aquila chrysaetos*)等国家Ⅰ级重点保护野生动物 10 种,马可波罗盘羊、豺(*Cuon alpinus*)、藏原羚(*Procapra picticaudata*)、岩羊(*Pseudois nayaur*)、藏雪鸡(*Tetraogallus tibetanus*)、暗腹雪鸡(*Tetraogallus himalayensis*)、秃鹫(*Aegypius monachus*)等国家Ⅱ级重点保护野生动物 25 种[20]。保护区内常驻居民很少,主要是以游牧为生的塔吉克牧民,每年驱赶牲畜在冬夏牧场之间迁移,家畜量约 23 万只,主要是山羊、绵羊和牦牛。保护区内道路分国道 314 线、乡村道路和国防公路 3 类。国道 314 线作为主要交通干线,贯穿保护区南北,承担主要的交通运输功能,车辆来往较频繁。由于人口稀少,乡村道路较少,且主要作为牧民步行道或摩托道使用,几乎无大型车辆通行,对马可波罗盘羊的分布与迁移几乎不构成干扰。2016 年新修建的国防公路,为开放的简易砂石路面,仅有极少的军用车辆偶尔通行,大部分时间无车辆过往,野外调查时多次发现马可波罗盘羊横穿国防公路。同时,自 2016 年起保护区内所有厂矿企业均已全部关停,正在实施生态修复。

2　研究方法

2.1　马可波罗盘羊分布点数据获取

首先咨询当地牧民和保护区工作人员,并查阅文献[19-20,23],初步确定保护区内马可波罗盘羊的分布区域。在此基础上,分别于 2017 年夏季(6 月—8 月)和冬季(11 月)采用样线法[24-25]进行野外调查。参照地形地貌情况,分别沿卡拉其古、萨热吉勒尕、色日克塔什、卡拉吉勒嘎、皮斯岭、赞坎和库西比力等保护区内主要沟谷布设样线,相邻样线间距离在 5—30 km 之间,平均 17.5 km。调查时沿沟谷驾车或徒步行进,每隔 2—5 km 用 8×42 双筒望远镜和 20—60 倍的单筒望远镜搜索沟谷两侧,发现马可波罗盘羊后停车观察并记录观察点经纬度坐标、盘羊与观察点的角度与距离。根据观察点经纬度、距离以及夹角计算出马可波罗盘羊出现点位经纬度信息[26]。为避免重复记录,每一条样线的统计在一天内完成。本次调查共布设样线 16 条,样线总长度 327.51 km。共获取 166 个位点,2376 只马可波罗盘羊,其中,夏季 1439 只,冬季 937 只(图 1)。

2.2　数据来源及处理

选择非生物因素(海拔、坡度、坡向、坡位、距水源距离)、生物因素(植被类型)、人为因素(距道路距离、距居民点距离、距牧场距离)共 3 类 9 个生态因子作为马可波罗盘羊生境适宜性评价的影响因子[19-20,27]。海拔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 30 m 分辨率的数字高程模型(Digital Elevation Model,DEM),在此基础上借助 ArcGIS 10.2 的 Spatial Analyst Tools 模块生成 30 m 分辨率的坡度和坡向图层。坡位图由 ArcMap 扩展工具 Land Facet Corridor Designer 获得[28]。植被类型图来源于 1∶100 万中国植被图。水源和道路数据来自国家基础地理信息中心最新提供的 1∶100 万全国基础地理数据库。居民点和牧场数据由塔什库尔干野生动物保护区管理局提供。将矢量数据统一转换成分辨率为 30 m 的栅格图层进行叠加计算。用空间分析中的 Reclassify 对各自然因子赋值,生成自然因子适宜性等级图。利用 Buffer 对人为因子做缓冲分析,生成人为干扰因子适宜性等级图[29]。

2.3　确定生境主导因子

评价指标的选择关系到野生动物生境适宜性评价结果的准确性,因此指标的确定至关重要[30]。自然因子的确定基于马可波罗盘羊生物生态习性与生境需求以及马可波罗盘羊的出现位置[19-20,27],包括非生物因素和生物因素 2 类 6 个自然因子(表 1)。由于乡村道路和国防公路车流量很少,不影响马可波罗盘羊的分布与自由迁移,因此不作为人为干扰因子考虑。将国道 314、居民点和放牧活动确定为干扰马可波罗盘羊生境的人为因子,分别用距国道 314 距离、距居民点距离和距牧场距离作为衡量上述因子的指标(表 2)。作者依据

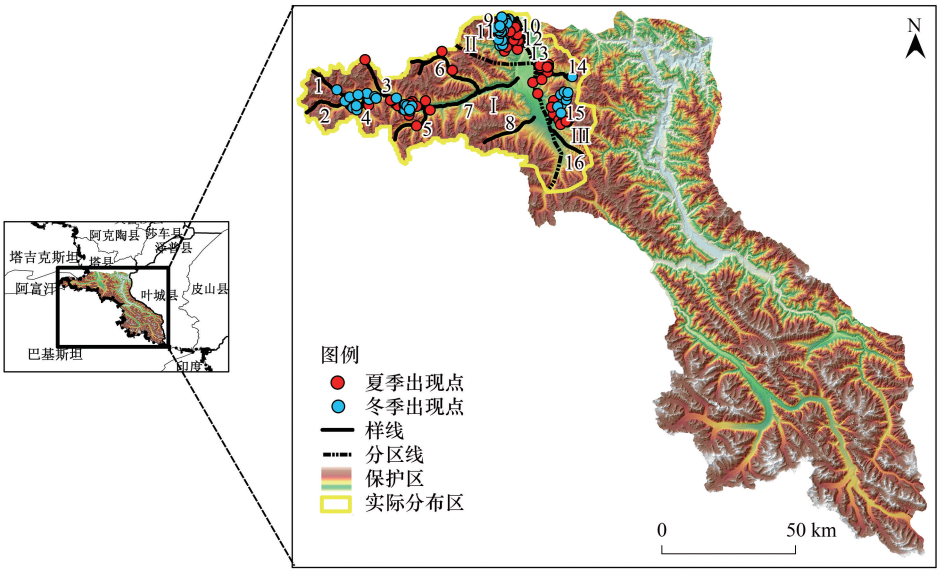

图 1 马可波罗盘羊夏季和冬季出现位点

Fig.1 The occurrence points for Marco Polo sheep in summer and winter

1. 克克吐鲁克, 2. 瓦根基, 3. 托克满苏, 4. 克里克, 5. 罗布盖子, 6. 排衣克, 7. 卡拉其古, 8. 皮拉勒, 9. 库日鲁克, 10. 萨热吉勒尕, 11. 色日克塔什, 12. 卡拉吉勒嘎, 13. 皮斯岭, 14. 赞坎, 15. 库西比力, 16. 卡拉苏

实地调查结果,结合参考专家意见,综合上述因素确定影响马可波罗盘羊生境选择的指标为 3 个一级因子:生物因素、非生物因素、人为因素;9 个二级因子:海拔、坡度、坡向、坡位、距水源距离、植被类型、距国道 314 距离、距居民点距离、距牧场距离。

表 1 马可波罗盘羊生境自然因子取值

Table 1 The value of nature factors for Marco Polo sheep

自然因子 Nature factors	取值范围 Range	F_i(夏季) Summer	F_i(冬季) Winter
海拔因子/m	$F_e \leqslant 3500$	0.02	0
Elevation factor (F_e)	$3500<F_e \leqslant 4000$	0.67	0.65
	$4000<F_e \leqslant 4500$	1	1
	$4500<F_e \leqslant 5000$	0.09	0.14
	$F_e>5000$	0.04	0
	$F_s \leqslant 10$	0.35	1
坡度因子/(°)	$10<F_s \leqslant 20$	1	0.83
Slope factor (F_s)	$20<F_s \leqslant 30$	0.40	0.44
	$F_s>30$	0.33	0.35
距水源距离/m	$F_w \leqslant 1000$	1	1
Distance to water (F_w)	$1000<F_w \leqslant 2000$	0.67	0.48
	$F_w>2000$	0.56	0.63
坡位	上坡	0.60	0.69
Slope position (F_p)	中坡	1	1
	下坡	0.40	0.63
坡向	东坡	1	0.73
Slope aspect (F_a)	南坡	0.62	1

续表

自然因子 Nature factors	取值范围 Range	F_i(夏季) Summer	F_i(冬季) Winter
	西坡	0.34	0.16
	北坡	0.64	0.50
植被类型 Vegetation type (F_v)	垫状驼绒藜高寒荒漠	0.05	0
	风毛菊、红景天稀疏植被	0.09	0
	羊茅高寒草原	0.21	0.22
	短花针茅荒漠草原	0.23	0.30
	麻黄荒漠	0.29	0.17
	驼绒藜荒漠	0.44	0.17
	高山绢蒿、高山紫菀高寒荒漠	1	1

2.4　建立评价准则和模型

在确定野生动物对生态因子的需求时,通常依据野生动物生物生态学特征和专家意见给各变量赋值[31-32]。本文基于马可波罗盘羊生境选择特征[19-20,27],以各生态因子在野外采样中出现的数量作为赋值标准。以海拔因子为例,将马可波罗盘羊出现数量最多的海拔区间定为最适宜,生境适宜度赋值为 1,其他各海拔区间出现数量与最适宜区间的数量相比,作为该海拔区间的生境适宜度赋值。以此方法对各影响因子的生境适宜度 F_i赋值[33-34]。

利用生境适宜性指数方程(HSI)[29,32]表征马可波罗盘羊潜在适宜生境。HSI 模型可利用性强且简便经典[35-36],有多种计算方式,其中几何平均法计算过程较为折中[29,37],考虑了单因素生境适宜指数偏大或偏小对评价结果造成的偏差[38],确保生境适宜性指数计算结果更加客观。方程表达式为:

$$HSI = \left(\prod F_i\right)^{\frac{1}{n}}$$

n:因子个数;F_i:海拔因子(F_e)、坡度因子(F_s)、坡向因子(F_a)、坡位因子(F_p)、植被类型(F_v)、距水源距离(F_w)6 个影响因子的马可波罗盘羊生境适宜度取值。F_i值用来描述影响因子对马可波罗盘羊生存的好坏程度[33]。以 0,1 为界。0 为不适宜,1 为最佳。

表 2　马可波罗盘羊生境修正因子取值

Table 2　The value of correction factors for Marco Polo sheep

人为因子 Human factors	影响范围 Scope of influence/m				
距 G314 国道距离 Distance to G314	$F_G \leqslant 1000$	$1000 < F_G \leqslant 2000$	$2000 < F_G \leqslant 3000$	$3000 < F_G \leqslant 4000$	$F_G > 4000$
距居民点距离 Distance to resident	$F_r \leqslant 400$	$400 < F_r \leqslant 800$	$800 < F_r \leqslant 1200$	$1200 < F_r \leqslant 1600$	$F_r > 1600$
距牧场距离 Distance to pasture	$F_P \leqslant 750$	$750 < F_P \leqslant 1500$	$1500 < F_P \leqslant 2250$	$2250 < F_P \leqslant 3000$	$F_P > 3000$
F_i	0	0.25	0.50	0.75	1

F_i:生境适宜度即各影响因子对马可波罗盘羊生存的好坏程度

马可波罗盘羊的潜在生境主要受上述 6 个自然因子影响,考虑人为活动影响下的生境即为其实际生境。将距国道 314 距离、距居民点距离、距牧场距离作为人为干扰因子,分别做不同距离的缓冲分析,通过对人为因子赋修正值(表 2),将其与潜在生境图在 ArcGIS 空间分析模块中进行模糊叠加,取模糊分类栅格中的最小值修正潜在生境。将 HSI 值进行重分类,$0 \leqslant HSI < 0.25$ 为不适宜生境,$0.25 \leqslant HSI < 0.5$ 为一般生境,即介于适宜生境与不适宜生境的生境类型,$0.5 \leqslant HSI < 0.75$ 为较适宜生境,$0.75 \leqslant HSI \leqslant 1$ 为最适宜生境(本文将最适宜生境和较适宜生境合称为适宜生境),最终得出实际生境适宜性等级图[29,37]。

2.5 生境丧失率计算

生境丧失是指整体生境面积的减少和部分生境的丧失[39-40],适宜生境面积的减少往往会导致生境破碎化程度增加[41]。一般用生境丧失率表征生境丧失程度,计算公式为:

生境丧失率=(潜在生境面积-实际生境面积)/潜在生境面积×100%[42]。

由公式可知,生境丧失率结果为正,表示该适宜等级的生境面积减少百分比;结果为负,表示该适宜等级的生境面积增加百分比。

3 结果与分析

3.1 马可波罗盘羊实际分布区划定

马可波罗盘羊适宜生境主要集中于保护区北部,在保护区南部不存在该物种适宜生境。通过咨询当地牧民和保护区管理局工作人员,结合野外调查获取的马可波罗盘羊出现点数据,并参照地形自然走向,最终确定了马可波罗盘羊实际分布区,面积约 3767 km^2(图 1)。

3.2 马可波罗盘羊潜在生境面积

不考虑人为干扰的生境是马可波罗盘羊的潜在生境。马可波罗盘羊夏季和冬季潜在适宜生境面积分别为 2127.19 km^2和 1915.70 km^2,分别占保护区总面积的 13.42%和 12.10%(表 3),主要分布于保护区西北部的卡拉其古、克克吐鲁克、瓦根基、克里克、托克满苏、排衣克、萨热吉勒尕、色日克塔什、卡拉吉勒嘎、皮斯岭、赞坎和库西比力等沟谷,且分布较集中(图 2)。夏季和冬季,一般生境面积分别为 7561.60 km^2和 812 km^2,分别占保护区总面积的 47.74%和 5.13%,不适宜生境面积分别为 6151.55 km^2和 13112.64 km^2,分别占保护区总面积的 38.84%和 82.78%,不适宜生境主要分布于保护区南部区域(图 2)。

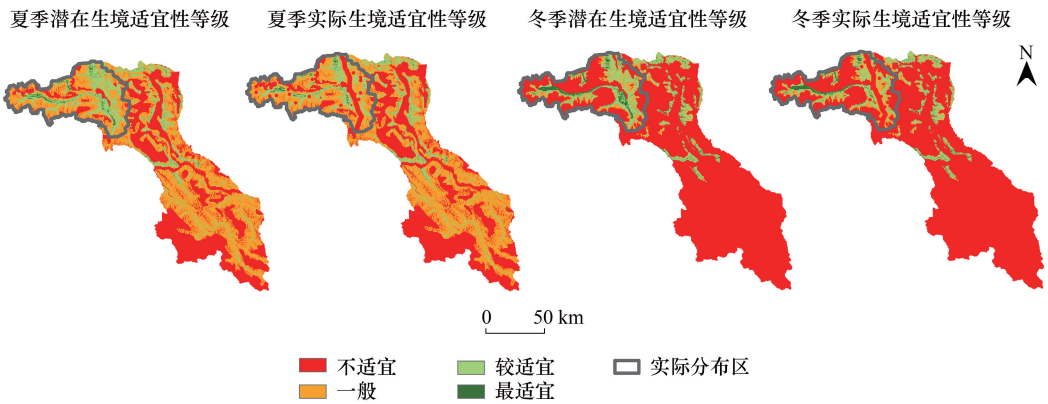

图 2 马可波罗盘羊夏冬两季生境适宜性图

Fig.2 The habitat suitability valuation for Marco Polo sheep in summer and winter

3.3 马可波罗盘羊实际生境面积

在潜在生境适宜图上综合叠加国道 314、居民点和牧场 3 项人为因子图层,即得到马可波罗盘羊实际生境面积(表 3)。保护区内夏季和冬季马可波罗盘羊实际适宜生境面积分别为 1735.12 km^2和 1575.08 km^2,分别占保护区总面积的 10.95%和 9.95%,适宜生境面积夏季和冬季分别减少 392.07 km^2和 340.62 km^2,丧失率分别为 18.43%和 17.78%。实际适宜生境与潜在适宜生境分布的地理位置基本一致,只是生境斑块面积和形状不同(图 2)。夏季和冬季一般生境面积分别增加了 6.64 km^2和 50.09 km^2,一般生境丧失率分别为-0.09%和-6.17%(表 3)。不适宜生境面积分别增加了 385.43 km^2和 290.53 km^2,不适宜生境丧失率分别为-6.27%和-2.22%(表 3),主要分布于保护区南部区域(图 2)。

以实际分布区面积计算,夏季和冬季潜在适宜生境面积占比分别为 29.07%和 28.48%,人为干扰后的实

际适宜生境面积占比分别为 19.29%和 20.01%,生境丧失率分别为 33.65%和 29.73%(表 4)。

表 3　塔什库尔干野生动物自然保护区夏季和冬季马可波罗盘羊潜在生境和实际生境

Table 3　Potential and valid habitat for Marco Polo sheep in Taxkorgan Nature Reserve in summer and winter

季节 Season	生境类型 Habitat type	最适宜 Most suitable		较适宜 Suitable		一般 Marginal		不适宜 Unsuitable	
		面积/km²	%	面积/km²	%	面积/km²	%	面积/km²	%
夏季 Summer	潜在生境 Potential	184.46	1.16a	1942.73	12.26a	7561.60	47.74a	6151.55	38.84a
	实际生境 Valid	128.24	0.81a	1606.88	10.14a	7568.24	47.78a	6536.98	41.27a
	丧失生境 Loss	56.22	30.48b	335.85	17.29b	-6.64	-0.09b	-385.43	-6.27b
冬季 Winter	潜在生境	321.02	2.03a	1594.68	10.07a	812.00	5.13a	13112.64	82.78a
	实际生境	240.12	1.52a	1334.96	8.43a	862.09	5.44a	13403.17	84.61a
	丧失生境	80.90	25.20b	259.72	16.29b	-50.09	-6.17b	-290.53	-2.22b

a:不同生境类型面积占保护区面积比例;b:生境丧失率

表 4　实际分布区马可波罗盘羊夏季和冬季潜在生境和实际生境

Table 4　Potential and valid habitat for Marco Polo sheep in actual distribution area in summer and winter

季节 Season	生境类型 Habitat type	最适宜 Most suitable		较适宜 Suitable		一般 Marginal		不适宜 Unsuitable	
		面积/km²	%	面积/km²	%	面积/km²	%	面积/km²	%
夏季 Summer	潜在生境	131.99	3.50a	963.49	25.57a	1934.33	51.34a	737.92	19.59a
	实际生境	76.80	2.04a	650.09	17.25a	1963.10	52.10a	1077.73	28.60a
	丧失生境	55.19	41.81b	313.40	32.53b	-28.77	-1.49b	-339.81	-46.05b
冬季 Winter	潜在生境	245.57	6.52a	827.25	21.96a	495.54	13.15a	2199.37	58.37a
	实际生境	165.72	4.40a	588.18	15.61a	554.25	14.71a	2459.58	65.28a
	丧失生境	79.85	32.51b	239.07	28.90b	-58.71	-11.85b	-260.21	-11.83b

a: 不同生境类型面积占分布区面积比例;b:生境丧失率

3.4　马可波罗盘羊生境季节变化与生境转化矩阵

就整个保护区而言,冬季一般生境面积在潜在和实际生境中比夏季分别减少了 6749.6 km²和 6706.15 km²,减少率分别为 89.26%和 88.61%,而不适宜生境面积分别比夏季增加了 6961.09 km²和 6866.19 km²,增加率为 53.09%和 51.23%。可见,无论对潜在生境还是实际生境而言,冬季一般生境面积均明显低于夏季,而不适宜生境面积明显高于夏季(表 3)。

马可波罗盘羊潜在生境-实际生境转化矩阵表明:受人为干扰后,夏季和冬季潜在生境中最适宜生境分别有 12.33 km²和 19.47 km²退化为较适宜生境,14.69 km²和 20.10 km²退化为一般生境,28.17 km²和 40.28 km²退化为不适宜生境;较适宜生境分别有 134.38 km²和 100.07 km²退化为一般生境,191.34 km²和 158.47 km²退化为不适宜生境;一般生境分别有 120.30 km²和 61.46 km²退化为不适宜生境(表 5)。

表 5　马可波罗盘羊实际分布区潜在生境-实际生境转化矩阵

Table 5　Transition matrix of potential habitat-valid habitat in actual distribution area

潜在生境 Potential habitat/km²	不同季节 Season	实际生境 Valid habitat/km²				
		最适宜生境 Most suitable	较适宜 Suitable	一般 Marginal	不适宜 Unsuitable	总计 Total
最适宜	夏季	76.80	12.33	14.69	28.17	131.99
Most suitable	冬季	165.72	19.47	20.10	40.28	245.57
较适宜	夏季	0	637.77	134.38	191.34	963.49
Suitable	冬季	0	568.71	100.07	158.47	827.25
一般	夏季	0	0	1814.03	120.30	1934.33
Marginal	冬季	0	0	434.08	61.46	495.54
不适宜	夏季	0	0	0	737.92	737.92
Unsuitable	冬季	0	0	0	2199.37	2199.37
总计 Total	夏季	76.80	650.09	1963.10	1077.73	3767.73
	冬季	165.72	588.18	554.25	2459.58	3767.73

3.5 模型结果验证

根据 2018 年夏季和冬季分别采集的 81 个和 47 个共 128 个马可波罗盘羊位点进行模型验证,夏季和冬季,马可波罗盘羊选择在潜在适宜生境的位点分别为 66 个和 39 个,比例分别为 81.48%和 82.98%,仅分别有 1 个和 3 个马可波罗盘羊位点落在不适宜生境;马可波罗盘羊选择在实际适宜生境的位点分别为 60 个和 35 个,比例分别为 74.07%和 74.47%,分别有 7 个和 5 个位点落在不适宜生境。表明该模型能够较准确地根据生境特征评价马可波罗盘羊生境适宜性。

4 讨论

就整个保护区而言,夏季和冬季受人为干扰后,马可波罗盘羊实际适宜生境面积占保护区面积比例分别由 13.42%和 12.10%下降为 10.95%和 9.95%,下降幅度分别为 2.47%和 2.15%,似乎适宜生境面积比例只有轻微下降。但从保护区西北部马可波罗盘羊的实际分布区计算,其适宜生境丧失率分别达到 33.65%和 29.73%。表明人类活动严重影响马可波罗盘羊生境质量,导致其适宜生境面积显著减少。

4.1 影响马可波罗盘羊生境适宜性的人类干扰因子

影响马可波罗盘羊生境适宜性的人为因子分别为国道 314、放牧和居民点。仅由国道 314 线导致的盘羊生境丧失率夏季和冬季分别占其总生境丧失率的 62.67%和 63.11%(表 6),在三大人为因子中对盘羊的影响最大。国道 314 线贯穿保护区南北,是中巴经济走廊的一部分,承担着保护区主要的交通运输功能,来往车辆频繁。国道两侧山体环境复杂,易受泥石流、坍塌和滑坡等地质灾害影响,需要定期维护与施工。此外公路建设部门正在进行国道 314 改造升级建设项目,工程施工和车流频繁导致国道 314 对马可波罗盘羊生境产生较大影响。而本研究中乡道对马可波罗盘羊的生境几乎不产生影响,这与我国东部和南部很多保护区面积小但人口稠密,人类活动频率极高,即使是乡道往往也会对野生动物造成强烈影响而成为关键影响因子的情况截然不同[11,33,43]。

其次,保护区内马可波罗盘羊实际分布区人类干扰还来源于放牧活动,单独计算夏季和冬季由放牧导致的生境丧失率分别占总生境丧失率的 32.38%和 32%(表 6),因此它是第二大影响因子。在新疆和蒙古国的研究表明,盘羊天山亚种和蒙古亚种与家羊食性重叠度极高,达到了 72%至 95%,二者高度的食性重叠导致的潜在竞争威胁盘羊生存[44-45]。由此作者有理由断定,马可波罗盘羊与同域分布的家羊之间亦存在强烈的食物竞争关系。研究区牧民的夏牧场主要位于海拔较高的区域,该区域植被生长旺盛,并且积雪融水可以为牧民、家畜提供充足的水源。冬季受降雪影响,牧民和家畜迁移至海拔较低的区域。这种季节性游牧活动导致马可波罗盘羊活动区域沿海拔垂直迁移:夏季家畜竞争迫使盘羊向下迁移至海拔 3000—4000 m 的区域采食;冬季家畜下降至低海拔处越冬,迫使马可波罗盘羊返回海拔相对较高的区域采食[46]。作者野外调查亦发现,当牧民驱赶家畜离开草场时,马可波罗盘羊会缓慢返回进行短暂的采食,但当家畜再次被驱赶到来时,在较远的距离马可波罗盘羊即开始警戒并逃离,被迫放弃优质牧场。综上所述,放牧对马可波罗盘羊有明显的影响作用,致使马可波罗盘羊适宜生境丧失。

保护区人口稀少,居民点主要集中沿国道 314 线两侧分布。保护区内居民以塔吉克族为主,依靠放牧为生,仅少部分居民从事少量的农业生产活动,也主要位于国道 314 两侧。研究结果表明,夏季和冬季仅由单因子居民点导致的生境丧失率分别占总生境丧失率的 4.95%和 4.89%(表 6),三个人类活动干扰因子中,居民点对马可波罗盘羊的干扰强度最低。

表 6 实际分布区马可波罗盘羊夏季和冬季三大人为因子生境丧失率

Table 6 Habitat loss rate by human factors in actual distribution area in summer and winter

	国道 314 线 G314	牧场 Pasture	居民点 Resident	总计 Total	综合叠加 Overlay
夏季 Summer	21.91%(62.67%)	11.32%(32.38%)	1.73%(4.95%)	34.86%	33.65%
冬季 Winter	20.77%(63.11%)	10.53%(32%)	1.61%(4.89%)	32.91%	29.73%

括号内数值为各人为因子生境丧失率占总生境丧失率的比例

4.2　实际分布区马可波罗盘羊生境适宜性评价

本研究结果显示,马可波罗盘羊的适宜生境主要分布于保护区西北部,而在保护区南部没有适宜生境存在,解释了前人在保护区南部未见马可波罗盘羊踪迹的原因[19,23]。保护区西北部是马可波罗盘羊的实际分布区,其面积仅占整个保护区面积的 22.96%,但夏季和冬季均有超过 50%的潜在适宜生境位于该区域。值得关注的是,该保护区人类活动也主要集中在实际分布区,当仅考虑实际分布区人类活动导致的生境丧失率时,夏季和冬季马可波罗盘羊适宜生境丧失率明显升高,分别达到 33.65%和 29.73%,且潜在生境-实际生境的转化中,所有的生境退化类型中退化为不适宜生境的面积最多(表 5),表明在实际分布区尺度上,人类活动显著影响马可波罗盘羊的生境质量。塔什库尔干野生动物自然保护区内的马可波罗盘羊种群处于该物种世界分布区的东南缘[23]。从历史分布来看,受人类活动干扰,马可波罗盘羊分布范围已有向西、向北退缩的趋势,如保护区南部红旗拉甫口岸等区域的马可波罗盘羊近年来已消失[20,47-48]。因此如不严格控制人类活动,马可波罗盘羊生境极有可能持续退化和破碎化,导致其在中国的分布区继续向西、北退缩,直至在中国境内消失。鉴于此,作者建议应继续重视并加强控制人类干扰强度,为马可波罗盘羊营造和维持充足的适宜生境面积,以保证其适宜生境的连续性。

值得关注的是,尽管马可波罗盘羊适宜生境主要分布在保护区西北部,但在保护区东北部和中部亦有若干面积较小且零散分布的适宜生境斑块(图 2)。除了可以确定保护区东北部的马尔洋未发现有盘羊踪迹外[19-20],其他斑块由于条件受限未能开展调查,因此不能确认其中是否有马可波罗盘羊;保护区中部受地形、海拔和交通条件等限制,前人几乎未开展过野外调查,仅余玉群等[15]报道在该区域有盘羊分布,但未能确定是哪个亚种,因此今后应对上述两个区域开展实地调查以确定是否有马可波罗盘羊分布。

4.3　马可波罗盘羊生境适宜性的季节变化特征

马可波罗盘羊生境适宜性的季节变化明显,主要表现在一般生境和不适宜生境面积与分布范围之间的转换,而适宜生境面积占比的季节变化较小。分析保护区潜在生境面积,夏季和冬季一般生境面积分别占比为 47.74%和 5.13%,不适宜生境占比分别为 38.84%和 82.78%(表 3),由此看出,一般生境和不适宜生境面积在两个季节变化较大。冬季一般生境面积较夏季大幅减少,而不适宜生境面积大幅增加且集中分布于保护区南部。这一变化由夏冬两季马可波罗盘羊可采食植物资源量的显著改变导致。植被是影响野生动物生存至关重要的生态因子,植被条件在一定程度上反应了当地气候和土壤等环境状况,决定着食草动物的分布与生存质量,其动态变化在一定程度上可反映动物生境的变化[49],因此许多学者也直接利用植被覆盖状况评价动物的生境质量[20]。保护区南部海拔较高,有大面积的冰川和裸岩分布,植被以风毛菊、红景天群落为主,也少量分布有垫状驼绒藜和紫花针茅群落。夏季盘羊可采食上述植被,但对这两种植被类型的偏好程度较低(表 1),因此导致夏季保护区南部大面积区域为不适宜生境和一般生境。冬季保护区大部分区域为积雪所覆盖,可供马可波罗盘羊采食的植物资源量大幅减少。如垫状驼绒藜是马可波罗盘羊可采食植物,但因其植株矮小,冬季很容易被积雪完全覆盖,导致马可波罗盘羊无法利用采食该植被(表 1),因此这部分原本在夏季属于马可波罗盘羊可以利用的生境转变为不适宜生境。

另一方面,冬季在高海拔区域,温度是马可波罗盘羊最主要的生境适宜性影响因子[27]。课题组前期研究结果表明马可波罗盘羊对温度的变化响应敏感:随着最冷月最低温温度降低,其生境适宜性不断降低,当出现最低温度长期低于-24℃的极端低温后,马可波罗盘羊的生存将受到威胁。由 WorldClim-Global Climate Data 数据可知,保护区南部 30 年间最冷季平均最低温为-38.7℃,冬季马可波罗盘羊为躲避极端低温,通常回避海拔高且有极端低温出现的南部。2006 年 12 月至 2007 年 1 月帕米尔高原东部遭遇长达 30 d 的-30℃至-35℃之间的低温伤害[50],导致马可波罗盘羊因寒冷和食物枯竭而死亡。国外研究也发现北美大角羊在冬季倾向于选择海拔低于 5000 m 较温暖的沟谷地带栖息[51]。因此冬季低温导致保护区南部马可波罗盘羊生境大量丧失。此外,保护区内海拔 5000 m 以上是裸岩带和永久冰雪带,几乎无植被分布,马可波罗盘羊无法生存。这亦是马可波罗盘羊实际只在人为干扰较强的西北部分布,而不在人迹罕至的南部生存的原因。上述原因综

合作用导致保护区内马可波罗盘羊冬季不适宜生境面积较夏季显著增加。

4.4 保护管理思考与建议

虽然近年来保护区内马可波罗盘羊种群数量相对稳定[19,23],但其生存现状依旧不容乐观,为此总结马可波罗盘羊面临的生存问题并提出应对措施与建议:

(1)本文研究表明,保护区内马可波罗盘羊种群成岛屿状不连续地理分布,受放牧影响马可波罗盘羊适宜生境面积显著减少。如上所述,为避免其分布区向西退缩出中国境内,导致该物种在中国境内消失,急需开展生境保护工作,建议严格限制保护区内家畜数量,保证马可波罗盘羊种群持续健康发展。

(2)国道 314 阻隔了马可波罗盘羊种群的基因交流,造成生境破碎化。建议开展马可波罗盘羊迁徙廊道研究,在国道 314 线麻扎种羊场至红其拉甫国门人烟罕至路段构建上跨式或者下穿式生态廊道,将被道路两侧隔开的适宜生境有效连通起来。此外,近年来出于边境防控目的架设的围栏也阻隔了马可波罗盘羊的跨国迁徙。保护区内的马可波罗盘羊与塔吉克斯坦、阿富汗和巴基斯坦的种群均有跨境迁徙交流,塔吉克斯坦和阿富汗的雄羊在发情期会迁入保护区参加繁殖[47,52-53]。目前的围栏阻隔将引发生境隔离,最终导致该物种种群数量下降,例如在中国与巴基斯坦接壤处分布的马可波罗盘羊数量正在逐年减少[53]。长期隔离将导致中国乃至世界马可波罗盘羊种群遗传多样性丧失,种群基因退化走向灭绝。建议合理设计并及时改造围栏,在马可波罗盘羊跨境繁殖迁徙点,为其预留迁徙通道,或在繁殖期临时打开围栏,保证种群的国际间交流。

(3)保护区人类活动较多的区域往往是海拔较低,地势较平坦开阔适宜建设道路、人类定居或进行其他生产活动的沟谷地带。依据《自然保护区功能区划技术规程》等国标,这些区域往往只能被划分为实验区。但前人和本研究结果均证实上述区域正是马可波罗盘羊的适宜生境[19]。因此从物种保护的实际需求分析,这些区域应被划为核心区[54]。然而实际情况是,这部分区域很难成为完全禁止人类活动的核心区。目前该保护区正在重新做总体规划,建议在确定保护区范围,进行功能区划调整时,应充分考虑该保护区的实际情况,同等重视实验区、缓冲区和核心区,切不可忽视对实验区与缓冲区的保护与管理。

(4)在调整保护区功能区时,一要充分尊重事实,将保护区人类活动相对密集区域调出保护区;二要前瞻性的考虑国家一带一路倡议中的中巴经济走廊带规划,合理规划调整沿国道 314 至红其拉甫国境一带的保护区范围,为将来的中巴公路改造升级、中巴铁路建设以及边贸区建设预留空间。

致谢:感谢新疆塔什库尔干野生动物自然保护区管理局米鲁、尕娃尔夏和周莉主任、喀什大学王玉涛教授对野外调查给予的帮助

参考文献(References):

[1] 高瑞莲, 吴健平. 3S 技术在生物多样性研究中的应用. 遥感技术与应用, 2000, 15(3): 205-209.
[2] 张洪亮. 应用 GIS 技术进行野生动物生境研究概况及展望. 生态学杂志, 2001, 20(3): 52-55.
[3] Thomasma L E, Drummer T D, Peterson R O. Testing the habitat suitability index model for the fisher. Wildlife Society Bulletin, 1991, 19(3): 291-297.
[4] Morrison ML, Marcot BG, Mannan RW. Wildlife Habitat Relationships: Concepts and Applications. Madison: The University of Wisconsin Press, 1992.
[5] Donovan M L, RabeD L, Olson C E Jr. Use of geographic information systems to develop habitat suitability models. Wildlife Society Bulletin, 1987, 15(4): 574-579.
[6] 易雨君, 程曦, 周静. 栖息地适宜度评价方法研究进展. 生态环境学报, 2013, 22(5): 887-893.
[7] 金龙如, 孙克萍, 贺红士, 周宇飞. 生境适宜度指数模型研究进展. 生态学杂志, 2008, 27(5): 841-846.
[8] 孙洪志, 高中信, 高继宏, 段文英. 扎龙保护区苍鹭营巢最适生境选择模型. 野生动物, 1996, (4): 12-15.
[9] Debeljak M, Džeroski S, Jerina K, Kobler A, Adamič M. Habitat suitability modelling for red deer (*Cervuselaphus* L.) in south-central slovenia with classification trees. Ecological Modelling, 2001, 138(1/3): 321-330.
[10] Dussault C, Courtois R, Ouellet J P. A habitat suitability index model to assess moose habitat selection at multiple spatial scales.Canadian Journal of Forest Research, 2006, 36(5): 1097-1107.
[11] 刘红玉, 李兆富, 白云芳. 挠力河流域东方白鹳生境质量变化景观模拟. 生态学报, 2006, 26(12): 4007-4013.
[12] 汪松. 中国濒危动物红皮书. 北京: 科学出版社, 1998.

[13] The IUCN Red List of Threatened Species. (2017-03) [2018-12-25].http://www.iucnredlist.org.
[14] CITES Appendices I, II and III. (2017) [2018-12-25].http://www.Cites.Org/eng/app/appendices.Php.
[15] 余玉群, 郭松涛, 刘楚光, 姬明周, 吐逊江, 李维东. 我国马可波罗盘羊种群数量和年龄结构. 野生动物, 2009, 30(6): 293-296.
[16] 王世锋, 谢芳, 王玉涛. 马可波罗盘羊研究现状与保护对策. 家畜生态学报, 2012, 33(4): 106-109.
[17] Khan B, Ablimit A, Khan G, Jasra A W, Ali H, Ali R, Ahmad E, Ismail M. Abundance, distribution and conservation status of Siberian ibex, Marco Polo and Blue sheep in Karakoram-Pamir mountain area. Journal of King Saud University-Science, 2016, 28(3): 216-225.
[18] Valdez R, Michel S, Subbotin A, Klich D. Status and population structure of a hunted population of Marco Polo Argali *Ovis ammon polii* (Cetartiodactyla, Bovidae) in Southeastern Tajikistan. Mammalia, 2016, 80(1): 49-57.
[19] 龚明昊, 戴志刚, 曾治高, 张琼, 宋延龄. 新疆塔什库尔干自然保护区马可波罗盘羊种群数量和栖息地初步调查. 兽类学报, 2007, 27(4): 317-324.
[20] 王玉涛, 戴志刚, 杨世杰, 罗玉柱. 东帕米尔高原盘羊分布与栖息地植被覆盖时空变化. 生态学报, 2016, 36(1): 209-217.
[21] 梁果栋. 塔什库尔干野生动物保护区成立. 新疆林业, 1984, (5): 26.
[22] 李学辉, 王源. 中巴国际公路通道建设研究. 公路交通科技:应用技术版, 2016,(12): 17-19.
[23] Schaller G B, Kang A L. Status of Marco Polo sheep Ovis ammon polii in China and adjacent countries: conservation of a vulnerable subspecies. Oryx, 2008, 42(1): 100-106.
[24] 盛和林,徐宏发. 哺乳动物野外研究方法. 北京: 中国林业出版社, 1992.
[25] 刘辉, 姜广顺, 李惠. 北方冬季有蹄类动物 4 种数量调查方法的比较. 生态学报, 2015, 35(9): 3076-3086.
[26] 宓春荣, 郭玉民, Falk H,韩雪松. 基于物种分布模型的精确采样提高目标物种发现率——以黑颈鹤(*Grus nigricollis*),白头鹤(*Grus monacha*)为例. 生态学报, 2017, 37(13): 4476-4482.
[27] Salas E A L, Valdez R, Michel S. Summer and winter habitat suitability of Marco Polo argali in southeastern Tajikistan: a modeling approach. Heliyon, 2017, 3(11): e00445.
[28] 韦金丽, 王国波, 凌子燕. 基于高分辨率 DEM 的地形特征提取与分析. 测绘与空间地理信息, 2012, 35(1): 33-36.
[29] 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.
[30] 王金亮, 陈姚. 3S 技术在野生动物生境研究中的应用. 地理与地理信息科学, 2004, 20(6): 44-47.
[31] Store R, Jokimäki J. A GIS-based multi-scale approach to habitat suitability modeling. Ecological Modelling, 2003, 169(1): 1-15.
[32] Reza M I H, Abdullah S A, Nor S B M, Ismail M H. Integrating GIS and expert judgment in a multi-criteria analysis to map and develop a habitat suitability index: a case study of large mammals on the malayan peninsula. Ecological Indicators, 2013, 34: 149-158.
[33] 张文广, 唐中海, 齐敦武, 胡远满, 胡锦矗. 大相岭北坡大熊猫生境适宜性评价. 兽类学报, 2007, 27(2): 146-152.
[34] 刘慧明, 刘晓曼, 王昌佐, 王桥. 金钟山国家级自然保护区黑颈长尾雉生境适宜性评价. 地球信息科学学报, 2016, 18(4): 526-536.
[35] 张恩迪, 滕丽微, 吴咏蓓. 江苏盐城自然保护区獐栖息地的质量评价. 兽类学报, 2006, 26(4): 368-372.
[36] 张洪峰, 胡罕, 苏丽娜, 车利锋, 封托, 刘艳, 李涤非, 吴晓民. 青海三江源自然保护区马麝栖息地适宜性评价. 西北农业学报, 2017, 26(8): 1141-1147.
[37] 王志强, 陈志超, 郝成元. 基于 HSI 模型的扎龙国家级自然保护区丹顶鹤繁殖生境适宜性评价. 湿地科学, 2009, 7(3): 197-201.
[38] 刘长发, 郑晶予, 李晋, 刘远, 魏海峰, 李微. 基于 GIS 的双台子河口潮滩湿地翅碱蓬和芦苇生境适宜度分析. 水生态学杂志, 2012, 33(3): 14-19.
[39] Collinge SK. Effects of grassland fragmentation on insect species loss, colonization, and movement patterns. Ecology, 2000, 81(8): 2211-2226.
[40] Fahrig L. Effect of habitat fragmentation on the extinction threshold: a synthesis. Ecological Applications, 2002, 12(2): 346-353.
[41] 刘红玉, 李兆富, 李晓民. 小三江平原湿地东方白鹳(*Ciconiaboyciana*)生境丧失的生态后果. 生态学报, 2007, 27(7): 2678-2683.
[42] 刘丙万, 顾丽, 张博, 秦立鑫, 包黎明. 内蒙古达赉湖地区蒙原羚生境适宜度评价. 生态学杂志, 2012, 31(10): 2568-2572.
[43] 欧阳志云, 刘建国, 肖寒, 谭迎春, 张和民.卧龙自然保护区大熊猫生境评价. 生态学报, 2001, 21(11): 1869-1874.
[44] Wingard G J, Harris R B, Pletscher D H, Bedunah D J, Mandakh B, Amgalanbaatar S, Reading RP. Argali food habits and dietary overlap with domestic livestock in IkhNart Nature Reserve, Mongolia. Journal of Arid Environments, 2011, 75(2): 138-145.
[45] Li B, Xu W X, Blank D A, Wang M Y, Yang W K. Diet characteristics of wild sheep(*Ovis ammondarwini*) in the Mengluoke Mountains, Xinjiang, China. Journal of Arid Land, 2018, 10(3): 482-491.
[46] 陈强强, 李美玲, 韩芳, 汪沐阳, 徐文轩, 杨维康. 新疆塔什库尔干野生动物自然保护区马可波罗盘羊种群调查. 四川动物, 2018, 37(6): 637-645.
[47] Schaller GB, Li H, Talipu, Lu H, Ren JR, Qiu MJ, Wang HB. Status of large mammals in the Taxkorganreserve, Xinjiang, China. Biological Conservation, 1987, 42(1): 53-71.
[48] 刘楚光, 余玉群, 初红军, 吐逊江. 马可·波罗羊(*Ovis ammon polii*)在中国境内的分布与现状. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2007, 35(S1): 155-160.
[49] 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.
[50] 江远安. 2007 年新疆十大天气气候事件. 沙漠与绿洲气象, 2008, 2(1): 59-60.
[51] Tilton ME, Willard EE. Winter habitat selection by mountain sheep. The Journal of Wildlife Management, 1982, 46(2): 359-366.
[52] Shackleton D M. Wild Sheep and Goats and Their Relatives. Oxford: Information Press, 1997: 168-169.
[53] Haider J, Khan M Z, Anwer M, Ali S, Ali H. Population status and migration trends of Marco Polo argali(*Ovis ammon polii*) in Pakistan. Mammalia, 2018, 82(5): 481-485.
[54] 国家林业局. LY/T 1764—2008 自然保护区功能区划技术规程. 北京: 中国标准出版社, 2008.