DOI: 10.5846/stxb201910082078
白泱露,李艳红,郑维超,陈万里,谌利民,黎大勇,胡杰.唐家河国家级自然保护区川金丝猴生境适宜性评价.生态学报,2021,41(11):4460-4468.
Bai Y L, Li Y H, Zheng W C, Chen W L, Chen L M, Li D Y, Hu J.Habitat suitability assessment of *Rhinopithecus roxellana* in Tangjiahe National Nature Reserve.Acta Ecologica Sinica,2021,41(11):4460-4468.

唐家河国家级自然保护区川金丝猴生境适宜性评价

白泱露[1],李艳红[1],郑维超[2],陈万里[2],谌利民[2],黎大勇[1],胡 杰[1,*]
1 西南野生动植物资源保护教育部重点实验室,西华师范大学生命科学学院, 南充 637009
2 四川唐家河国家级自然保护区, 青川 628109

摘要:生境适宜性评价是濒危物种保护的重要基础。川金丝猴(*Rhinopithecus roxellana*)是栖息于温带森林的、中国特有的珍稀灵长类动物。位于岷山山系的四川唐家河国家级自然保护区是川金丝猴的重要分布地之一,但涉及该地区川金丝猴的生境信息却较缺乏。运用最大熵(Maximum entropy,MaxEnt)模型对四川唐家河国家级自然保护区川金丝猴不同季节的生境适宜性进行了研究,发现四个季节的训练集和验证集的受试者工作特征曲线下面积(Area under the receiver operator characteristic curve,AUC)值均超过 0.8,说明模型预测结果较好。结果显示:(1)影响不同季节川金丝猴分布的主要因子是海拔、河流和道路。(2)川金丝猴的适宜生境面积存在季节性变化。其中,春季的适宜生境面积最大,为 233.94 km^2,占全区面积的 58.48%;夏季的次之,为 192.75 km^2,占 48.19%;秋冬季的适宜生境面积相对较低,分别为 145.54 km^2(占 36.39%)和 142.63 km^2(占 35.66%)。(3)川金丝猴的适宜生境分布具有明显的季节性垂直变化。研究揭示保护好完整的森林植被带对川金丝猴的生存具有重要意义,尤其要重视对人为干扰较强的低海拔生境的保护。

关键词:川金丝猴;唐家河国家级自然保护区;生境适宜性;MaxEnt 模型;季节变化

Habitat suitability assessment of *Rhinopithecus roxellana* in Tangjiahe National Nature Reserve

BAI Yilu [1], LI Yanhong[1], ZHENG Weichao[2], CHEN Wanli[2], CHEN Limin[2], LI Dayong[1], HU Jie[1,*]
1 *Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resources Conservation (Ministry of Education), College of Life Sciences, China West Normal University, Nanchong* 637009, *China*
2 *Tangjiahe National Nature Reserve, Qingchuan* 628109, *China*

Abstract: Information on the spatial temporal dynamics of wildlife habitat suitability is critical for conservation. Sichuan snub-nosed monkey (*Rhinopithecus roxellana*) is a rare and precious primate endemic to China, living in temperate forests on mountains in Sichuan, Gansu, Shanxi and Hubei Province. Sichuan Tangjiahe National Nature Reserve is located in Minshan Mountains, which is one of the important distribution areas for Sichuan snub-nosed monkey. However, little is known about the spatial distribution of the habitat of Sichuan snub-nosed monkeys and its changes across different seasons in this area. Here, we generated seasonal distribution maps of habitat suitability of Sichuan snub-nosed monkeys in Sichuan Tangjiahe National Nature Reserve by integrating field data, remote sensing imagery, and the maximum entropy (MaxEnt) model. Between 2017 and 2018, occurrence sites global position system(GPS) coordinates of Sichuan snub-nosed monkey were collected by line transect surveys and patrol data from Sichuan Tangjiahe National Nature Reserve, China. A total of 536 occurrence sites of Sichuan snub-nosed monkey were used in the habitat modeling, including 149 records in spring, 94 records in summer, 115 records in autumn and 178 records in winter. The environmental variables used in the modeling can be divided into three categories, including terrain factors (slope, aspect and elevation) extracted from the Digital Elevation

基金项目:国家自然科学基金面上项目(31370412);西华师范大学英才科研基金项目(17YC330)
收稿日期:2019-10-08; **网络出版日期**:2021-04-06
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: hu_jiebox@163.com

Model (DEM), vegetation factor extracted from the Thematic Mapper, and other factors (road and water source) extracted from the 1: 50000 vector maps of Sichuan Tangjiahe National Nature Reserve. The assessment results of receiver operating characteristic curve (ROC) show that the area under the curve (AUC) values of training data and test data in four seasons are more than 0.8, which indicates the habitat modeling results are good. We identified three main factors affecting the habitat distribution of Sichuan snub-nosed monkeys in different seasons, including altitude (accounting for 41.1% in spring, 34.4% in summer, 38.7% in autumn and 13.6% in winter), distance from the river (accounting for 33.3% in spring, 18.8% in summer, 12.9% in autumn and 40.2% in winter), and proximity to road (accounting for 5.9% in spring, 17% in summer, 32% in autumn and 30.9% in winter). There are seasonal variations in the suitable habitat area of Sichuan snub-nosed monkeys. In spring, the potential habitat area reaches its maximum of 233.94 km^2, accounting for 58.48% of the nature reserve. It decreases to 192.75 km^2 (48.19% of the reserves) in summer, 145.54 km^2 (36.39%) in autumn, and reaches its minimum of 142.63 km^2 (35.66%) in winter. The habitat distribution of Sichuan snub-nosed monkeys in the reserve exhibits obvious seasonal shift across different altitude ranges. In summer, the altitude of suitable habitat is within 1900 m to 2800m, but in the winter it is below 2400 m. The results highlight that it is important to protect the complete forest vegetation belts for the survival of Sichuan snub-nosed monkeys, and special attention should also be paid to the protection of the habitat of Sichuan snub-nosed monkeys at lower altitudes, where human disturbance is stronger in Sichuan Tangjiahe National Nature Reserve.

Key Words: *Rhinopithecus roxellana*; Tangjiahe National Nature Reserve; Habitat suitability; MaxEnt model; Seasonal change

生境丧失和退化是导致物种濒危的主要原因之一[1]。适宜的生境是物种生存和繁衍的基础保障,研究野生动物的生境适宜性可以了解物种与环境之间的关系、预测物种潜在分布以及评估物种生境质量等[2]。众多的生态学家利用3 S 技术(地理信息系统 Geographic information system,GIS、遥感 Remote sensing,RS、全球定位系统 Global position system,GPS)和各种评价模型来评估野生动物的生境质量,为野生动物的保护和管理提供了重要依据[3]。目前,生态位模型中的最大熵(Maximum entropy,MaxEnt)模型已被广泛应用于大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)[4]、川金丝猴(*Rhinopithecus roxellana*)[5-7]、亚洲象(*Elephas maximus*)[8]、黑熊(*Ursus thibetanus*)[9]、绿尾虹雉(*Lophophorus lhuysii*)[10]、阿拉善马鹿(*Cervus alashanicus*)[11]等珍稀野生动物的生境评价和潜在分布预测研究中,并显示出良好的预测能力。

川金丝猴是中国特有的、珍稀濒危灵长类动物,目前主要分布于陕西、湖北、四川以及甘肃的山地温带森林[12]。地处岷山山系摩天岭区域的四川唐家河国家级自然保护区是川金丝猴的重要分布地[13-14]。然而长期以来,对该区域川金丝猴的生境适宜性尚未见详细的研究报道。为此,本文应用 MaxEnt 模型对唐家河川金丝猴不同季节生境适宜性进行研究,明确不同季节影响其分布的主要环境因子,预测其适宜生境分布,探索川金丝猴适宜生境分布的季节性变化规律,以期为该区域川金丝猴的有效保护和管理提供科学依据。

1　研究区概况

四川唐家河国家级自然保护区地处四川省广元市青川县境内(104°36′—104°52′ E,32°30′—32°41′ N)。保护区总面积约为 400 km^2,区内气候垂直变化显著、四季分明,水系发达。海拔范围为 1150—3864 m,约 2700 m 的海拔差形成典型的山地植被垂直带谱特征。根据海拔梯度植被带可分为 7 个类型:常绿阔叶林带(1100—1500 m)、常绿落叶阔叶混交林(1500—2000 m)、落叶阔叶林带(1100—2400 m)、针阔叶混交林带(2000—2500 m)、针叶林带(2500—3400 m)、高寒草甸带(3400—3600 m)和高山灌丛带(> 3600 m)[14]。该保护区的前身为青川县伐木场,在 1978 年保护区成立以前,区内森林曾被大面积采伐,为了便于伐木和运输,当时区内就已建成了比较完善的道路设施。

2 研究方法

2.1 数据收集

川金丝猴的地理分布点数据主要通过野外样线调查和查阅保护区监测资料来获取。从 2017 年 10 月至 2018 年 12 月,在研究区域内共设置 25 条样线,每条样线长度不少于 3 km,样线覆盖川金丝猴的各类生境类型。运用 GPS 对川金丝猴的痕迹点(实体、粪便、食迹、足印等)进行定位,同时记录周围相关环境因子信息(包括海拔、坡向、坡度、植被类型以及周边水源和干扰程度等)。采用物候学的方法进行季节的划分[15]:4—5 月为春季(平均气温在 10—22℃之间),6—8 月为夏季(平均气温在 22℃以上),9—10 月为秋季(平均气温在 10—22℃之间),11 月至次年 3 月为冬季(平均气温在 10℃以下)。野外调查期间共获取川金丝猴活动痕迹点春季 55 个、夏季 74 个、秋季 92 个、冬季 82 个。查阅 2017 至 2018 年保护区野外巡护监测数据,共获取川金丝猴活动痕迹点春季 102 个、夏季 88 个、秋季 93 个、冬季 176 个。将收集到的川金丝猴数据整理成 Excel 表格形式,导入 ArcGIS10.2 中。为避免模型的过度拟合,剔除了距离过近的分布点(< 500 m),将剩余的川金丝猴地理分布点(春季 149 个、夏季 94 个、秋季 115 个、冬季 178 个)转换成 MaxEnt 软件要求 CSV 格式数据,字段包含物种的名称、经度和纬度。

环境因子数据主要分为地形因子数据、植被因子数据和其它因子数据三类。(1)地形因子数据:从国际科学数据服务平台网站(Http://datamirror.csdb.cn)下载 30 m 分辨率的数字高程模型(Digital elevation model, DEM),利用 ArcGIS 的空间分析工具提取出海拔、坡向、坡度等地形因子数据。(2)植被因子数据:分为高山灌丛、高寒草甸、针叶林、针阔混交林、常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林和常绿阔叶林 7 种植被类型。(3)其它数据:包括人为干扰因子(道路)及水源因子,从唐家河保护区 1:50000 的矢量化电子地图中提取得到,利用 ArcGIS 的空间分析工具进行直线距离分析,得到距道路和河流距离的数据信息。以 ArcGIS10.2 为平台,将各环境因子数据建立成栅格文件,坐标系统统一为 WGS-1984-UTM-Zone-48N,栅格大小为 30 m×30 m,转化成 MaxEnt 模型所要求的 ASCII 格式的文件。

2.2 数据处理

从 http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/网站下载得到 MaxEnt 3.3.3 软件。将不同季节的川金丝猴分布点数据和环境变量数据导入到 MaxEnt 模型中,连续型环境因子标定为 Continuous,离散型标定为 Categorical。随机选取 75%的分布点用于模型建立,其余 25%的分布点用于模型验证,选择刀切法(Jackknife)检验环境因子的重要性,响应曲线(Response curve)测定环境因子对模型的作用区间,重复运算次数设定为 10 次,其它的参数均设置默认值,预测结果以 Logistic 格式文件输出。利用模型自带的受试者工作特征曲线(Receiver operating characteristic curve,ROC)及其曲线下面积(Area under the curve,AUC)进行结果检测[16],评价标准为:0.5—0.6 为不合格,0.6—0.7 为较好,0.7—0.8 为一般,0.8—0.9 为良好,0.9—1.0 为优秀[17]。选择 AUC 值最大的一次作为预测结果,在 ArcGIS10.2 中按照专家经验法对预测结果进行重分类,划分为 3 个适宜等级:0—0.23 为不适宜,0.23—0.45 为次适宜,0.45—1.00 为适宜,得到川金丝猴生境适宜性分布等级图。

3 研究结果

3.1 MaxEnt 预测结果检测

四个季节的 ROC 曲线评价结果分别为:春季训练集(Training data)和验证集(Test data)的 AUC 值分别为 0.829 和 0.823,夏季训练集和验证集的 AUC 值分别为 0.833 和 0.883,秋季训练集和验证集的 AUC 值分别为 0.858 和 0.823,冬季训练集与验证集的 AUC 值分别为 0.868 和 0.876。四个季节的训练集和验证集的 AUC 值均超过 0.8,根据评价标准已达到良好水平,说明模型预测结果较好。

3.2 川金丝猴分布与环境因子的关系

不同季节环境因子贡献率分析显示(表 1):春季影响川金丝猴生境分布的主要环境因子是海拔

(41.1%)、距河流距离(33.3%)和植被(9.2%),累积贡献率达 83.6%;夏季影响川金丝猴生境分布的主要环境因子是海拔(34.4%)、距河流距离(18.8%)、距道路距离(17%)和坡向(16.9%),累积贡献率达 90.7%;秋季影响川金丝猴生境分布的主要环境因子是海拔(38.7%)、距道路距离(32.0%)、距河流距离(12.9%)和坡度(9.7%),累积贡献率达 93.3%;冬季影响川金丝猴生境分布的主要环境因子是距河流距离(40.2%)、距道路距离(30.9%)、海拔(13.6%)和坡度(10.3%),累积贡献率达 95%。海拔、道路和河流均为四个季节中影响川金丝猴生境分布的主要环境因子,说明这 3 个环境因子对川金丝猴生境分布具有重要影响,而植被、坡度和坡向对其分布也有一定影响。通过刀切法(Jackknife)对环境变量进行检验显示了相似的重要性排列顺序(图 1)。

表 1　环境变量对川金丝猴分布模型的贡献率及置换重要性

Table 1　The percent contribution and permutation importance of environmental variable for *Rhinopithecus roxellana* distribution models

环境变量 Environmental variable	春季 Spring		夏季 Summer		秋季 Autumn		冬季 Winter	
距道路距离 Proximity to road	5.9	14.7	17	29.4	32	44.2	30.9	47.8
海拔 Elevation	41.1	44.2	34.4	30.9	38.7	35.5	13.6	17
距河流距离 Distance fromthe river	33.3	25.7	18.8	20.7	12.9	13.5	40.2	22.5
植被类型 Vegetationtype	9.2	5.5	2.6	0	1.5	0.5	3.2	4.6
坡度 Slope gradient	5.5	2.2	10.2	7	9.7	4.2	10.3	5.7
坡向 Slope aspect	5	7.6	16.9	12	5.3	2.1	1.8	2.5

各季第 1 列为贡献率,单位:%,各季第 2 列为置换重要性,单位:%

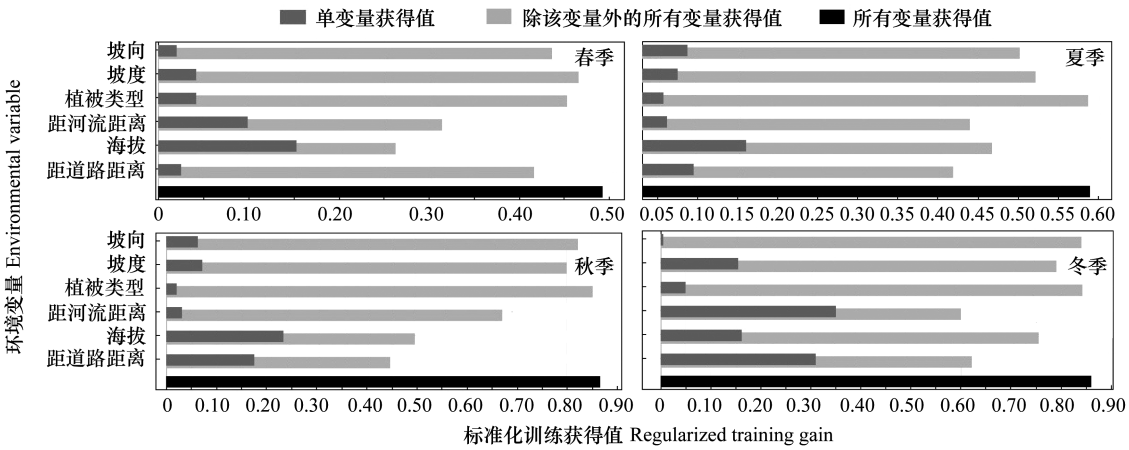


图 1　刀切法检验环境变量的重要性

Fig.1　Jackknife test of environmental variable importance

根据刀切法(Jackknife)检验结果(图 1)和各环境因子响应曲线(图 2)的分析,得到不同季节环境变量对川金丝猴的适宜分布区间值及相关性描述(表 2)。春季川金丝猴适宜的海拔范围为 1900—2600 m,距道路和河流距离分别为 200—4300 m 和 200 m 内;夏季其适宜的海拔范围为 1900—2800 m,距道路和河流距离分别为 900—3400 m 和 200 m 内或大于 650 m;秋季其适宜的海拔范围为 1800—2600 m,距道路和河流距离分别为 200—1800 m 和 1000 m 内;冬季其适宜的海拔范围为小于 2400 m,距道路和河流距离分别为 200—1500 m 和 150 m 内。由此,可以看出川金丝猴的适宜生境有着明显的季节性垂直迁移变化。此外,川金丝猴适宜的植被类型为落叶阔叶林、针阔混交林和针叶林,倾向于在坡度较为适中的区域活动。夏季喜在阴坡和半阴半阳坡活动,冬季则喜在阳坡活动。

3.3　川金丝猴生境适宜性分布

按照专家经验法,得到了不同季节川金丝猴的生境适宜性分布等级图(图 3)。从图 3 可以看出,春季川金丝猴的适宜生境主要分布在保护区北部(大草堂-道梯子-摩天岭-达架岩-黄土梁)、西北部(加字号-观音岩

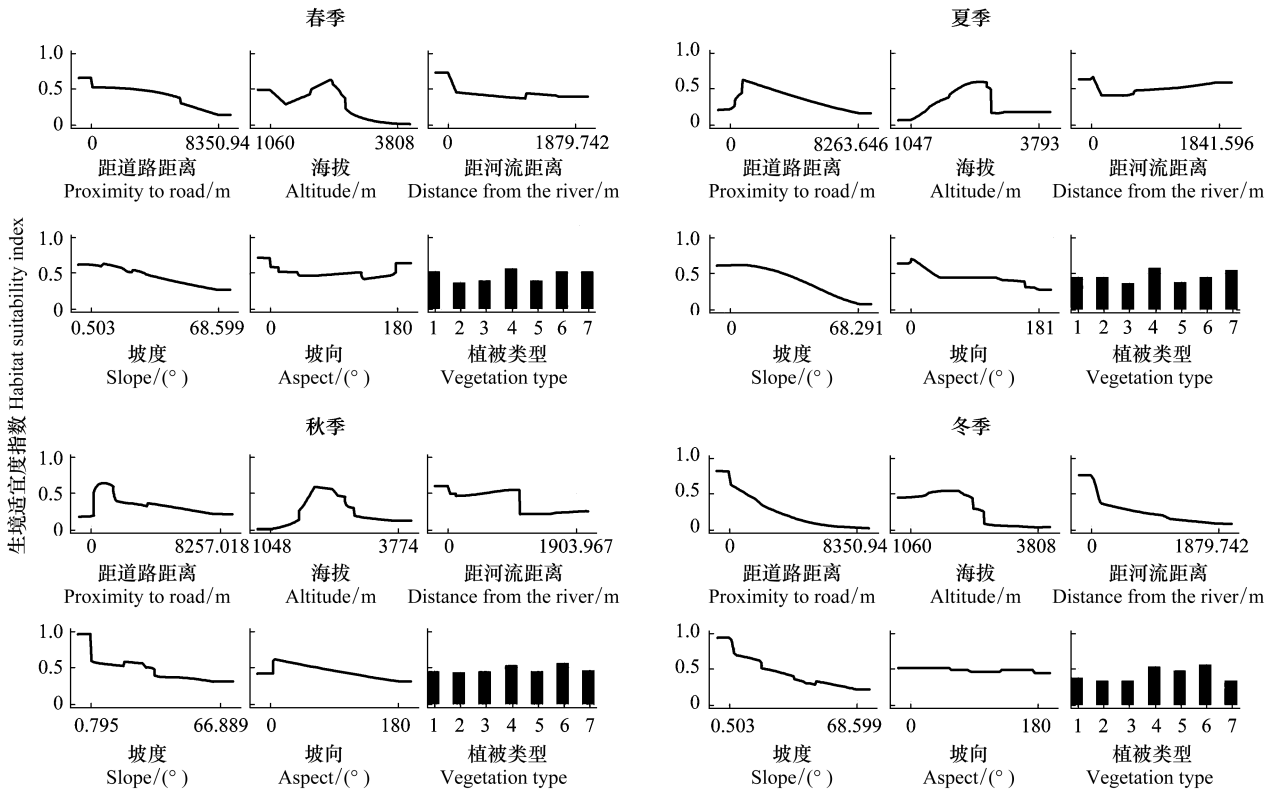


图 2 环境变量响应曲线图

Fig.2 The response curve of environmental variable

植被类型:1.常绿阔叶林;2.高山灌丛;3.高寒草甸;4.针阔混交林;5.常绿落叶阔叶混交林;6.落叶阔叶林;7.针叶林

表 2 四川唐家河国家级自然保护区不同季节川金丝猴的适宜生境条件

Table 2 The suitable habitat conditions of *Rhinopithecus roxellana* in different seasons in Sichuan Tangjiahe National Nature Reserve

环境变量 Environmental variable	适宜区间及相关描述 Suitable section and correlation description			
	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
距道路距离 Proximity toroad	200—4300 m (适宜度随距道路距离的增加而逐渐减小)	900—3400 m (区间内适宜度较大,区间外适宜度较小)	200—1800 m (区间内适宜度较大,区间外适宜度较小)	200—1500 m (适宜度随距道路距离的增大而逐渐减小)
海拔 Elevation	1900—2600 m (< 2400m,适宜度逐渐增大,> 2400m,适宜度逐渐减小)	1900—2800 m (< 2700m,适宜度逐渐增大;> 2700m,适宜度急剧减小)	1800—2600 m (< 2000m,适宜度逐渐增大;> 2000m,适宜度逐渐减小)	< 2400 m (< 2100m,适宜度逐渐增大;> 2100m,适宜度逐渐减小)
距河流距离 Distance from the river	< 200m (适宜度随着距河流距离的增加而逐渐减小)	< 200m, > 650 m (< 300m,适宜度逐渐减小;> 300m,适宜度逐渐增加)	< 1000 m (< 600 m,适宜度逐渐减小; > 600 m,适宜度逐渐增加;>1000 m,急剧减小)	< 150 m (适宜度随距河流距离的增加而逐渐减小)
坡度 Slope gradient	0—35° (适宜度随坡度的增大而逐渐减小)	0—34° (适宜度随坡度的增大而逐渐减小)	0—33° (适宜度随坡度的增大而逐渐减小)	0—30° (适宜度随坡度的增大而逐渐减小)
坡向 Slope aspect	阳坡及半阴半阳坡 (利于获取食物及热量)	阴坡及半阴半阳坡 (利于生理行为)	半阴半阳坡 (利于生理行为)	阳坡 (利于获取食物及热量)
植被类型 Vegetationtype	针阔混交林 (主要在针阔混交林活动,其次是落叶阔叶林和针叶林)	针阔混交林、针叶林 (主要在针阔混交林活动,其次是针叶林)	落叶阔叶林、针阔混交林 (主要在落叶阔叶林中活动,其次是针阔混交林)	落叶阔叶林、针阔混交林 (主要在落叶阔叶林中活动,其次是针阔混交林)

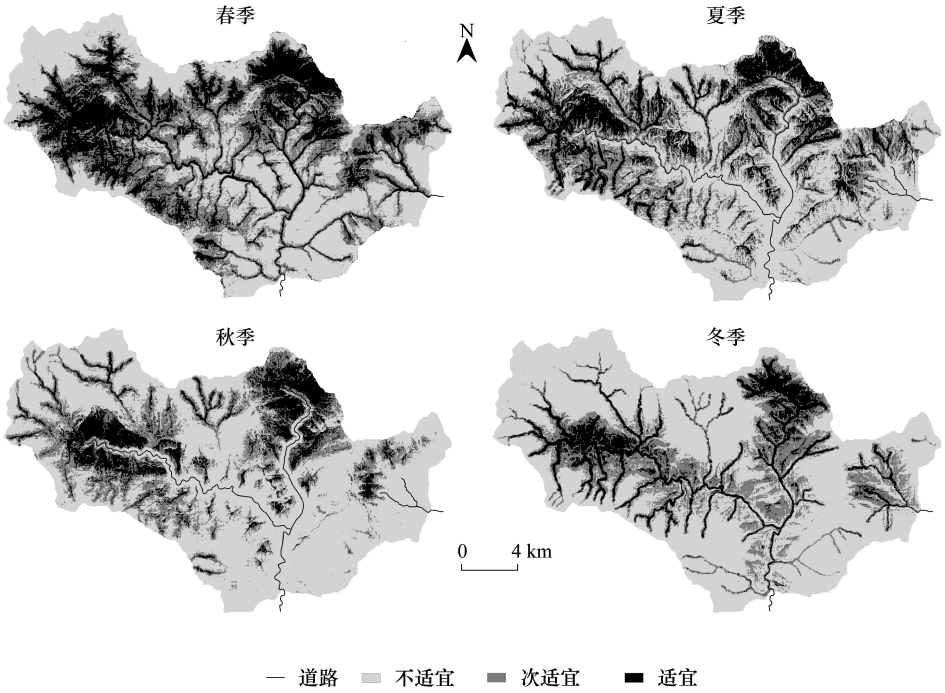


图 3　四川唐家河国家级自然保护区不同季节川金丝猴的适宜生境分布

Fig.3　Suitable habitat distribution of *Rhinopithecus roxellana* in different seasons in Sichuan Tangjiahe National Nature Reserve

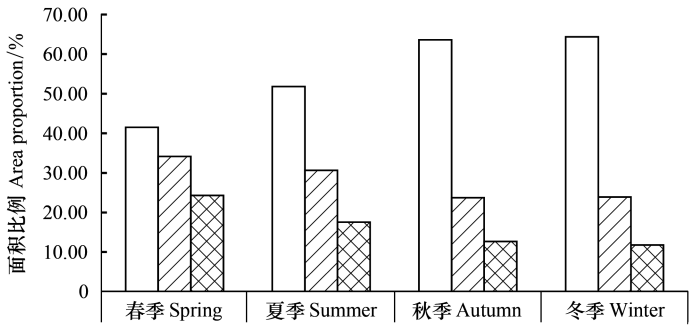
窝-八佛岩-小火烧岭)和西南部(龙池子-大坪上-大草坡-小草坡-耍坪上)等地;夏季其适宜生境主要分布在保护区的北部(大尖包-大草堂-道梯子-摩天岭)和西北部(加字号-观音岩窝-火烧岭-八佛岩)和西南部(龙池子-大坪上-大草坡-小草坡)等地;秋季其适宜生境主要分布在保护区的北部(道梯子-摩天岭-达架岩-黄土梁)和西部(洪石坝-马鞍岭-上河里-水池坪)等地;冬季其适宜生境主要分布于保护区的北部(道梯子-摩天岭-达架岩-黄土梁)和中西部(洪石坝-上河里-水池坪-毛香坝)等地。

经统计得到各个季节的适宜生境面积(图 4)。春季川金丝猴的适宜生境面积为 97.24 km^2,次适宜生境面积为 136.70 km^2,不适宜生境面积为 166.06 km^2,分别占保护区总面积的 24.31%、34.17%和 41.52%;夏季其适宜生境面积为 70.20 km^2,次适宜生境面积为 122.55 km^2,不适宜生境面积为 207.25 km^2,分别占保护区总面积的 17.55%、30.64%和 51.81%;秋季其适宜生境面积为 50.62 km^2,次适宜生境面积为 94.92 km^2,不适宜生境面积为 254.46 km^2,分别占保护区总面积的 12.66%、23.73%和 63.61%;冬季其适宜生境面积为 47.13 km^2,次适宜生境面积为 95.50 km^2,不适宜生境面积为 257.37 km^2,分别占保护区总面积的 11.78%、23.88%和 64.34%。由此可见:唐家河保护区川金丝猴的适宜生境分布存在明显的季节性变化,春季川金丝猴的潜在生境面积最大,夏季次之,秋冬两季大致相同。

4　讨论

4.1　影响生境适宜性的环境因素

海拔是影响川金丝猴生境适宜性的重要因子[5,7],本研究再次证实了这一结论。海拔决定着植被的分布,对川金丝猴的生境适宜性有重要的影响。在四川唐家河国家级自然保护区,海拔 2000—2500 m 内的植被类型主要为针阔混交林,这是川金丝猴常年栖息的植被类型[23],食物种类丰富,生境适宜度大;其后随着海拔的增加,进入针叶林带(海拔 2500—3400 m),除夏季外,食物通常都比较匮乏,生境适宜度逐渐减小;在海拔更高的区域(3400 m 以上)主要以高山灌丛、草甸为主,缺乏高大乔木,不适合川金丝猴生存;海拔 2000 m 以下的阔叶林带则是川金丝猴春秋冬季节主要的栖息地。此外,不同地区川金丝猴适宜的海拔范围也有所不



	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
□ 不适宜	41.52%	51.81%	63.61%	64.34%
▨ 次适宜	34.17%	30.64%	23.73%	23.88%
▩ 适宜	24.31%	17.55%	12.66%	11.78%

图 4 四川唐家河国家级自然保护区不同季节川金丝猴适宜生境面积比例

Fig.4 The proportion of suitable habitat area of *Rhinopithecus roxellana* in different seasons in Sichuan Tangjiahe National Nature Reserve

同。在秦岭地区,川金丝猴主要栖息于海拔 1500—2600 m 的范围[18];在神农架地区,川金丝猴主要栖息于海拔 1800—2700 m 的范围[19],在岷山地区的四川九寨沟、白河和唐家河自然保护区,川金丝猴适宜的海拔范围分别为 2100—3500 m[7]、2000—3000 m[20]和 1800—2800 m(本研究),这反映了川金丝猴对不同生态环境的适应,同时也提示我们在进行川金丝猴生境适宜性评价时,即使是同一山系范围内也不能采用统一的"准则"来进行评价。

动物的生存离不开水,水源是影响川金丝猴适宜生境分布的另一个重要因子[19]。本研究结果表明:冬春季节川金丝猴倾向于离河流较近(< 200 m)的区域内活动,环境变量距河流距离在冬季和春季的贡献率分别为:40.2%和 33.3%。而在夏秋季节其对河流的依赖性相对较小,环境变量距河流距离在夏季和秋季的贡献率分别为 18.8%和 12.9%。一方面,这可能是因为夏秋季节唐家河自然保护区降水丰富,约有 82%的全年降水发生于这期间[21],在远离河流的一些地方会形成一些临时性的积水,可供猴群利用。另一方面也可能是因为夏秋季食物种类较多,植物的果实、叶等含有较多的水分,可为其提供充足的水分。冬春季节川金丝猴对河流的依赖性较大,可能与食物(主要是枝皮和树芽等)含水量少、降雨量少和部分山涧溪流干枯等有关[22]。

川金丝猴胆小怕人,对人为干扰极为敏感[23]。大面积森林采伐和道路修建等人为干扰对川金丝猴的生境有严重的影响,会造成川金丝猴的种群隔离以及生境破碎化等严重问题[5-7,19]。在唐家河自然保护区内,主要的人为干扰是与旅游业有关的道路交通。研究发现川金丝猴对旅游路线(关虎-白果坪-摩天岭及毛香坝的公路)较近的区域均不选择栖息,由此表明道路分隔会制约猴群的活动,阻碍不同猴群之间的交流。

此外,坡度和坡向对唐家河自然保护区川金丝猴的生境分布也有一定的影响。坡度较陡的区域会增加川金丝猴下地饮水和取食额外的能耗,因此其倾向于坡度适中的区域活动。阳坡的光照良好,能减少川金丝猴维持体温的能量消耗,并为其提供较充足的食物[19],所以在气温较低的冬季川金丝猴主要在阳坡活动,而夏季则主要在阴坡和半阴半阳坡活动。

事实上,影响野生动物生境适宜性分布的因素还有很多[2],例如种间竞争以及植被特征。在研究区域内同域分布有川金丝猴和藏酋猴(*Macaca thibetana*)两种灵长类动物,二者在冬季具较大的生境重叠[24],且藏酋猴体格粗壮、性胆大,对川金丝猴冬季的活动可能有一定的影响。植被特征与川金丝猴的食物资源和隐蔽条件有关,但由于各个季节植被的相关矢量数据目前尚难获得,因此本研究仅考虑了植被类型的影响,这有待于今后深入研究。

4.2 适宜生境分布的季节性变化

川金丝猴是一种生活于温带森林的灵长类动物,气候和物候的季节性变化是该区域最显著的特征[13,23,25,27-28],它们对于川金丝猴生境的适宜性有着重要的影响[19,26]。本研究发现四川唐家河自然保护区川

金丝猴的适宜生境具有明显的季节性垂直迁徙现象,适宜生境面积存在季节性变化,这与对湖北神农架区域的研究结果相似[19],但二者间也存在着差异:在神农架区域,不同季节川金丝猴生境适宜性面积由大到小顺序为:夏季>秋季>冬季>春季[19],而在四川唐家河自然保护区不同季节生境适宜性面积由大到小顺序却为:春季>夏季>秋季>冬季。这是否是因为不同地区生态环境差异造成的,还有待进一步研究。与陕西周至自然保护区的川金丝猴相似[29],四川唐家河自然保护区的川金丝猴春季主要以植物的枝皮、嫩芽、嫩叶和花苞等为食,随着气温的逐渐升高,从低海拔到高海拔,植物的嫩芽、花苞等也依次长出,川金丝猴的活动范围较大[18],适宜生境的面积也达到最大。夏季里川金丝猴主要在中、高海拔的针阔混交林和针叶林中活动以避免高温[23],适宜生境面积比春季的小。在秋季,川金丝猴在中、低海拔地区的针阔混交林和阔叶林内反复循环移动获取成熟果实、种子等高质量食物[29],适宜生境面积相对夏季有所减小。冬季由于气候严寒、植物大面积落叶和果实凋零等因素导致川金丝猴的食物资源匮乏[23,25,30],因此川金丝猴会迁移到海拔相对更低的针阔混交林和阔叶林带觅食,适宜生境面积相对秋季有所减小。

5　保护启示

本研究表明:唐家河自然保护区川金丝猴的适宜生境有着明显的季节性垂直迁移变化,即夏季适宜生境的海拔分布相对较高,而冬季适宜生境的海拔分布相对较低,由此可知保护好完整的森林植被带对于川金丝猴的生存有着重要意义。此外,由于低海拔区域常常会受到人为干扰(如旅游、道路交通等)的影响,因此,还应特别重视对低海拔区域川金丝猴生境的保护。

致谢:感谢四川唐家河国家级自然保护区各保护站工作人员对野外调查和数据收集的帮助。

参考文献(References):

[1] 蒋志刚, 马克平. 保护生物学的现状、挑战和对策. 生物多样性, 2009, 17(2): 107-116.
[2] 钟明, 侍昊, 安树青, 冷欣, 李宁. 中国野生动物生境适宜性评价和生境破碎化研究. 生态科学, 2016, 35(4): 205-209.
[3] 刘雪华. 3S 技术与中国野生动物生境评价. 北京: 中国林业出版社, 2011.
[4] 黎运喜, 陈佑平, 余凌帆, 涂正琳, 赵联军, 杨旭煜, 古晓东, 高强. 基于 MaxEnt 模型的二郎山廊道大熊猫栖息地适宜性评价. 四川动物, 2016, 35(6): 833-837.
[5] 徐卫华, 罗翀. MaxEnt 模型在秦岭川金丝猴生境评价中的应用. 森林工程, 2010, 26(2): 1-3, 26.
[6] 李艳忠, 董鑫, 刘雪华. 40 年岷山地区白河自然保护区川金丝猴的生境格局动态. 生态学报, 2016, 36(7): 1803-1814.
[7] 李裕冬, 罗艳, 赵海涛, 王程亮,杜杰. 基于 MaxEnt 模型的九寨沟国家级自然保护区川金丝猴适宜生境研究. 四川动物, 2018, 37(5): 585-591.
[8] 林柳, 金延飞, 陈德坤, 郭贤明, 罗爱东, 赵建伟, 王巧燕, 张立. 西双版纳国家级自然保护区勐腊子保护区亚洲象种群和栖息地评价. 生态学报, 2014, 34(7): 1725-1735.
[9] 齐增湘, 徐卫华, 熊兴耀, 欧阳志云, 郑华, 甘德欣. 基于 MaxEnt 模型的秦岭山系黑熊潜在生境评价. 生物多样性, 2011, 19(3): 343-352.
[10] Wang B, Xu Y, Ran J H. Predicting suitable habitat of the Chinese monal (*Lophophorus lhuysii*) using ecological niche modeling in the Qionglai Mountains, China. Peer J, 2017, 5: e3477.
[11] 高惠, 腾丽微, 汪洋, 王继飞, 刘振生. 阿拉善马鹿(*Cervus alashanicus*)生境适宜性评价. 生态学报, 2017, 37(11): 3926-3931.
[12] 李宏群, 廉振民. 中国的金丝猴资源现状及其保护. 延安大学学报(自然科学版), 2007, 26(1): 65-71.
[13] 全国强, 谢家骅. 金丝猴研究. 上海: 上海科技教育出版社, 2002.
[14] 张泽钧. 四川唐家河国家级自然保护区生物多样性研究. 北京: 科学出版社, 2016.
[15] 张宝堃. 中国季节之分配. 地理学报, 1934, 1(1): 29-74.
[16] 王运生, 谢丙炎, 万方浩, 肖启明, 戴良英. ROC 曲线分析在评价入侵物种分布模型中的应用. 生物多样性, 2007, 15(4): 365-372.
[17] Swets J A. Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 1988, 240(4857): 1285-1293.
[18] Tan C L, Guo S T, Li B G. Population structure and ranging patterns of *Rhinopithecus roxellana* in Zhouzhi National Nature Reserve, Shaanxi, China. International Journal of Primatology, 2007, 28(3): 577-591.

[19] 王袁. 基于 MaxEnt 模型的神农架川金丝猴不同季节生境识别[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014
[20] 顾志宏, 金崑, 刘世荣, 张远东. 四川白河自然保护区川金丝猴生境评价. 林业科学, 2007, 43(8): 96-99.
[21] 胡锦矗. 四川唐家河自然保护区综合科学考察报告. 成都: 四川科学技术出版社, 2005.
[22] 郑维超, 黎大勇, 谌利民, 胡刚, 陈万里, 胡杰. 唐家河国家级自然保护区川金丝猴冬季栖息地选择. 四川动物, 2012, 31(2): 208-211.
[23] 胡锦矗, 邓其祥, 余志伟, 周守德, 田致祥. 大熊猫金丝猴等珍稀动物生态生物学研究. 南充师院学报(自然科学版), 1980, 1(2): 1-38.
[24] 白泱露. 同域分布川金丝猴和藏酋猴的生境适宜性比较[D]. 南充: 西华师范大学, 2019.
[25] Li Y M. Seasonal variation of diet and food availability in a group of Sichuan snub-nosed monkeys in Shennongjia Nature Reserve, China. American Journal of Primatology, 2006, 68(3): 217-233.
[26] 范元英. 唐家河川金丝猴(*Rhinopithecus roxellana*)的家域利用及栖息地选择[D]. 南充: 西华师范大学, 2017
[27] Gu Z H, Jin K. Analysis on landscape pattern of habitat of Sichuan golden monkey in Baihe Nature Reserve. Journal of Landscape Research, 2011, 3(2): 4-6.
[28] 李义明, 廖明尧, 喻杰, 杨敬元. 社群大小的年变化、气候和人类活动对神农架自然保护区川金丝猴日移动距离的影响. 生物多样性, 2005, 13(5): 432-438.
[29] 郭松涛. 秦岭金丝猴(*Rhinopithecus roxellana*)的采食和家域行为的研究[D]. 西安: 西北大学, 2004
[30] 李言阔, 蒋志刚, 缪涛. 青木川自然保护区川金丝猴食性的季节性变化. 兽类学报, 2013, 33(3): 246-257.