

基于 GIS 的滇金丝猴生境评价及保护空缺识别

冯 艳¹, 瞿华莹^{1*}, 李佳龙²

(1. 云南国土资源职业学院国土空间信息学院, 昆明 652501;

2. 昆明长水国际机场有限责任公司, 昆明 650000)

摘 要: 栖息地是野生动物生存、繁衍的空间。生境评价反映野生动物和生存环境之间的匹配程度。近年来, 由于气候、植被等自然环境的变化和人类的干扰, 使得滇金丝猴生境出现破碎化, 滇金丝猴生存环境受到威胁。因此本文基于 GIS 对滇金丝猴生境进行评价, 首先通过对已有文献的研究结合滇金丝猴的生活特性和习性, 选取了 11 个对滇金丝猴生境选择起主导作用的因子, 建立评价指标体系, 然后运用主成分分析法(PCA)确定各指标权重, 接着对各因子进行单因子评价和综合评价, 确定滇金丝猴的适宜性生境, 最后将综合评价结果与已有保护区范围进行叠置分析, 识别滇金丝猴保护空缺区域, 为滇金丝猴未来的保护和管理提供科学依据。

关键词: 滇金丝猴; 生境评价; 主成分分析法

中图分类号: Q958.1

文献标志码: A

文章编号: 1672-2736(2025)11-0020-9

0 引言

生境是指生物个体或种群生长、繁衍、存活的生态环境^[1]。生境评价是以生物个体或种群的生存环境为研究对象, 分析野生动物对生存环境中各环境因子的选择与要求与其生存环境之间的匹配程度, 识别野生动物适宜生境的范围^[2]。近年来, 各学者对野生动物生境评价研究不断深入, 发现对野生动物生境质量影响的因子不再局限于土地利用、自然环境因子等。种群间的关系、人类干扰活动等因子成为影响动物生境质量的重要因素^[3]。因此, 识别野生动物与各生境因子的匹配关系, 精确定位野生动物适宜生境的位置, 发现野生动物保护空缺区域, 是保护濒危野生动物的有效措施。

滇金丝猴, 又称为黑仰鼻猴, 是我国所独有的珍稀濒危(EN)动物, 已被列入《世界自然保护联盟濒危物种红色名录》^[4]。滇金丝猴仅生存

在我国西南部地区, 分布于云南西北部和西藏东南部, 金沙江和澜沧江之间的狭长山脉上^[5]。截至 2021 年, 滇金丝猴共有 23 个种群, 其中云南省境内有 20 个种群, 西藏芒康有 3 个种群, 共 3845 只^[6]。上个世纪 50 年代以来, 由于气候的影响, 加上人类砍伐、采矿等干扰, 滇金丝猴分布区的不断减少, 适宜植被类型减少 30% 以上^[7]。植被覆盖度下降, 栖息地出现破碎化, 种群交流被阻断, 种群间的遗传交换被阻碍, 加速物种减少速度^[8]。因此, 对评价滇金丝猴生境质量, 定位滇金丝猴生境适宜范围, 识别滇金丝猴生境保护空缺, 对滇金丝猴生态廊道建设和滇金丝猴保护具有重要的科学意义。

纵观国内外研究现状, 目前学者们对野生动物生境评价的方法主要有机器学习法和综合指数评价法。机器学习法的优点是评价结果精确性高, 但是对数据依赖性较大, 需要大量的野生动物出现的点位样本。余吉等^[9]运用 MaxEnt 模

基金项目: 云南国土资源职业学院科技创新团队“国土乡村振兴服务”(2022KJTD01); 云南省教育厅科学研究基金项目“滇金丝猴生境因子评价与潜在栖息地预测研究”(2022J1368); 云南省教育厅科学研究基金项目“绿春山区乡村居民点空间布局优化研究”(2023J1605)。

型对四川大相岭保护区藏酋猴生境进行评价,发现藏酋猴的适宜生境主要分布在大相岭保护区的西北边大部分区域、东南边的中部和上部区域。综合指数评价法在缺少野生动物出现的点位样本时可以较好的评价其生境质量,但是权重的确定相对较难。林玲等^[10]运用综合指数评价法完成了王朗自然保护区大熊猫生境适宜性评价,与 MaxEnt 模型的评价结果进行比较,两种方法评价结果基本一致。本研究选用综合指数法对滇金丝猴生境质量进行评价,首先通过文献收集整理选择滇金丝猴生境评价因子,结合滇金丝猴点位信息构建滇金丝猴生境评价指标体系,运用主成分分析法(PCA)确定各因子权重,然后运用综合指数法评价滇金丝猴生境质量,识别其保护空缺区域。

1 研究区概况

根据滇金丝猴物种分布野外调查监测数据,参考其他学者的研究区范围^[11],确定本研究区范围由西藏芒康县、云南德钦县、维西县、玉龙县、兰坪县、云龙县六个县的县域边界拼接而成(25°28′-30°18′N,97°58′-100°31′E),如图 1 所示,总面积为 $4.35 \times 10^4 \text{ km}^2$,海拔为 756-6456m,地势呈北高南低。该地区为亚热带高原季风气候,干湿分明,年平均降雨量为 1244.2mm,其中夏季湿润多雨,冬季干燥寒冷,年平均气温为 14.4℃。该地区动植物资源丰富,有滇金丝猴、中华鬣羚、高山麝、黑熊、黄喉貂、豹猫等上百种野生动物,区内植物主要以阔叶林和针叶林为主^[12]。在研究区范围内已建立 5 个滇金丝猴保护区,分别为白马雪山国家级自然保护区、玉龙天池国家级自然保护区、兰坪云岭省级自然保护区、丽江老君山国家公园和西藏芒康滇金丝猴国家级自然保护区^[13],5 个保护区总面积为 6539.84 km^2 ,占研究区总面积的 15.03%。

2 材料与方法

2.1 数据来源与预处理

本研究搜集了高程、距水源距离、距居民点



图 1 研究区概况

距离、温度、坡度、降水、坡向、距道路距离、人口密度、植被类型、植被指数(NDVI) 11 个因子数据和滇金丝猴分布数据。(1)高程数据来源于美国地质调查局的 SRTM 数据集中的 30m DEM 数据模型,在 ArcGIS 上裁剪出研究区高程、坡度、坡向栅格数据。(2)气候数据来源于国家青藏高原数据中心,通过 ArcGIS 计算出研究区年平均气温和年平均降水量栅格数据,分辨率为 1km。(3)植被类型数据是通过对本研究区 2023 年遥感影像数据进行目视解译所得。(4)植被指数 NDVI 数据运用 GEE 平台对研究区 2023 年 4-10 月植被生长季 Landsat 系列多时相遥感影像数据进行数据预处理,具体方法为首先进行掩膜算法去除云层、阴影干扰,然后进行辐射、大气矫正,提高数据质量。在预处理完成之后,采用最大值法合成研究区 2023 年 NDVI 栅格数据,其分辨率 30m。(5)人口数据来源于 WorldPop 全球人口空间分布数据集,分辨率为 100m。(6)距居民点距离数据运用 Python 网络爬虫技术调用高德地图 API 爬取研究区的 POI 数据,再运用 ArcGIS 计算每个像元到最近居民点的欧

式距离,得到距居民地距离图层,分辨率率为 100m。⑦距道路距离、距水源距离数据从 OSM 官网下载研究区路网数据和河网数据,运用 ArcGIS 的欧式距离工具,得到距道路距离和距水源距离的图层,分辨率为 100m。⑧滇金丝猴分布数据来源于云南省林业与草原局的滇金丝猴全境动态监测项目调查结果。以上数据均为 2023 年数据。

2.2 研究方法

2.2.1 滇金丝猴生境因子选取

滇金丝猴生境评价因子的选取对生境质量评价起着至关重要的作用,为提高评价结果的准确性,应选择对滇金丝猴生境质量影响起主导性作用的因子。本文在分析滇金丝猴行为特征、生活习性的基础之上,结合其他学者的研究^[14,15],从地理环境因子、生物因子和干扰因子三个方面选取了 11 个评价因子作为本研究的生境评价因子,分别为:高程、距水源距离、距居民点距离、温度、坡度、降水、坡向、距道路距离、人口密度、植被类型、植被指数(NDVI)。

2.2.2 指标权重的确定

确定指标权重是滇金丝猴生境质量评价的重要环节,指标权重越大说明该指标对滇金丝猴生境质量影响越大,反之则越小。计算指标权重的方法有很多,每个方法有各自的优缺点,本研究选取主成分分析法(PCA)计算各指标权重。主成分分析法基于降维思想,运用数学方法消除各指标间的相关性,抽取几个指标构建新的评价指标体系,计算指标权重,其评价结果具有客观性^[16],因此本研究根据已有数据情况,选取该方法计算指标权重。

2.2.3 滇金丝猴生境质量评价

本研究选用加权综合指数法评价滇金丝猴生境质量。加权综合指数法是根据各评价因子对滇金丝猴生境质量限制和作用强度的不同,建立合理的指标体系,确定各评价因子的权重值,然后再 ArcGIS 中运用各评价单元的评价资料计算该评价单元的各评价因子的评价指数,再以加权平均计算各评价单元的总分值,根据总分值来

确定滇金丝猴分布区的生境质量,若综合评价分值高则生境质量好,反之则生境质量差,其计算公式如下^[17]:

$$Y_i = \sum_{j=1}^n W_j \times S_j \quad (1)$$

式中, Y_i 为第 i 个单元的综合指数; W_j 为第 i 个单元第 j 类指标的权重; S_j 为第 i 个单元第 j 类指标赋值。

3 结果与分析

3.1 构建滇金丝猴生境评价指标体系

参考滇金丝猴全境动态监测结果^[13],分析滇金丝猴对各生境因子不同状态的选择偏好程度,确定各评价因子划分原则,制定因子分级标准,建立评价指标体系。目标层为滇金丝猴生境质量评价,因素层为地理环境因子、生物因子、干扰因子,因子层为高程、距水源距离、距居民点距离、温度、坡度、降水、坡向、距道路距离、人口密度、植被类型、植被指数(NDVI)。将各因子分为较适宜、次适宜、不适宜三类,其评价指标体系见表 1。

3.2 基于 PCA 确定指标权重

本研究在 ArcGIS 中对各指标进行分级处理,提取栅格值,然后再在 SPSS 中进行主成分分析,其结果如表 2 所示,选择特征值大于 0.7,累计贡献率 ≥ 80 的 4 个代表主成分,将其作为影响滇金丝猴生境质量的主导因素,通过表 3 可知,第一主成分结果体现出温度、植被指数(NDVI)、植被类型、坡度的贡献率较大;第二主成分结果体现了高程、距居民点距离、距道路距离贡献率较大;第三主成分结果体现了距水源距离、距道路距离贡献率较大;第四主成分结果体现出距水源距离贡献率较大。在 Excel 中根据各指标的贡献率和综合得分系数,进行归一化处理,计算各指标权重。其结果如表 3 所示。

3.3 滇金丝猴生境质量评价

3.3.1 单因子评价

本研究根据评价指标体系分级标准对各因子进行了单因子评价,在 ArcGIS 分别对每个评价因子的较适宜、次适宜和不适宜生境分别赋值 3、2、1,其评价结果如表 4 和图 2 所示。

表 1 生境评价指标体系

因素层	因子层	较适宜	次适宜	不适宜
地理环境因子	高程(m)	[3000,4000)	≥4000	(2000,3000]
	温度(℃)	≥10	[5,10)	<5
	坡度(°)	[10,15)	≥15	<10
	降水(mm)	≥800	[700,800)	<700
	坡向	阳坡 (135~225°)	阴坡 (315~45°)	半阴半阳坡 (45~135,225~315°)
生物因子	植被类型	针叶林	针阔林	灌丛
	NDVI	≥0.6	—	<0.6
干扰因子	距水源距离(m)	<1000	≥2000	[1000,2000
	距居民点距离(m)	≥10000	—	[0,10000)
	距道路距离(m)	≥1500	[500,1500)	<500
	人口密度(人/km ²)	—	<500	≥500

表 2 主成分特征值与累计贡献率

成分	初始特征值		
	总计	贡献率%	累计贡献率/%
高程	5.0243	45.6759	45.6759
温度	2.0710	18.8273	64.5032
坡度	1.1584	10.5306	75.0338
降水	0.7302	6.6381	81.6718
坡向	0.6841	6.2193	87.8911
植被类型	0.6403	5.8209	93.7121
植被指数(NDVI)	0.5647	5.1341	98.8461
距水源距离	0.1138	1.0342	99.8804
距居民点距离	0.0126	0.1142	99.9946
距道路距离	0.0005	0.0041	99.9988
人口密度	0.0001	0.0012	100

表 3 指标成分矩阵及权重值

指标	成分矩阵				归一化权重
	1	2	3	4	
高程	-0.008	0.880	-0.168	-0.004	0.0620
温度	0.985	0.068	-0.030	-0.020	0.1312
坡度	0.972	0.125	-0.045	-0.040	0.1324
降水	0.573	-0.677	0.319	-0.027	0.0366
坡向	0.665	0.083	-0.053	-0.047	0.0880
植被类型	0.978	0.126	-0.043	-0.019	0.1345
植被指数(NDVI)	0.979	0.127	-0.041	-0.020	0.1346
距水源距离	0.025	0.333	0.745	0.561	0.1056
距居民点距离	-0.062	0.671	-0.234	0.150	0.0409
距道路距离	0.022	0.452	0.637	-0.577	0.0518
人口密度	0.647	-0.115	-0.062	0.233	0.0823

表 4 滇金丝猴生境适宜性单因子评价结果

因子	较适宜		次适宜		不适宜	
	面积(km ²)	百分比(%)	面积(km ²)	百分比(%)	面积(km ²)	百分比(%)
高程	12896.78	34.60%	10048.35	26.96%	14324.03	38.43%
温度	12603.89	33.82%	10239.23	27.47%	14426.04	38.71%
坡度	4090.39	10.98%	29669.90	79.61%	3508.87	9.41%
降水	19186.1	51.48%	5657.47	15.18%	12425.59	33.34%
坡向	8842.23	23.73%	13855.63	37.18%	14571.30	39.10%
植被类型	9704.3	26.04%	11831.47	31.75%	15733.39	42.22%
植被指数	31249.72	83.85%	0	0.00%	6019.44	16.15%
距水源距离	5641.35	15.14%	26681.98	71.59%	4945.83	13.27%
距道路距离	18312.75	49.14%	10017.12	26.88%	8939.29	23.99%
距居民点距离	35350.35	94.85%	0	0.00%	1918.81	5.15%
人口密度	0	0.00%	37018.34	99.33%	250.82	0.67%

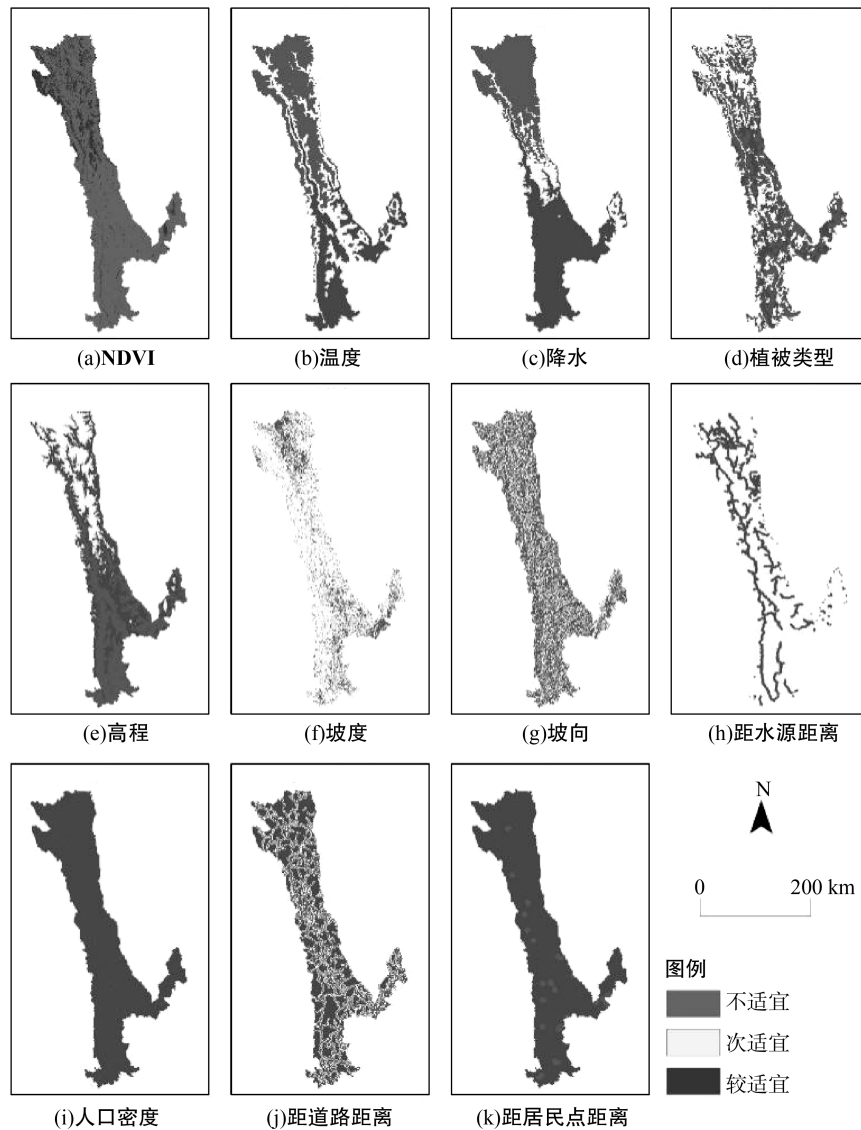


图 2 单因子评价结果图

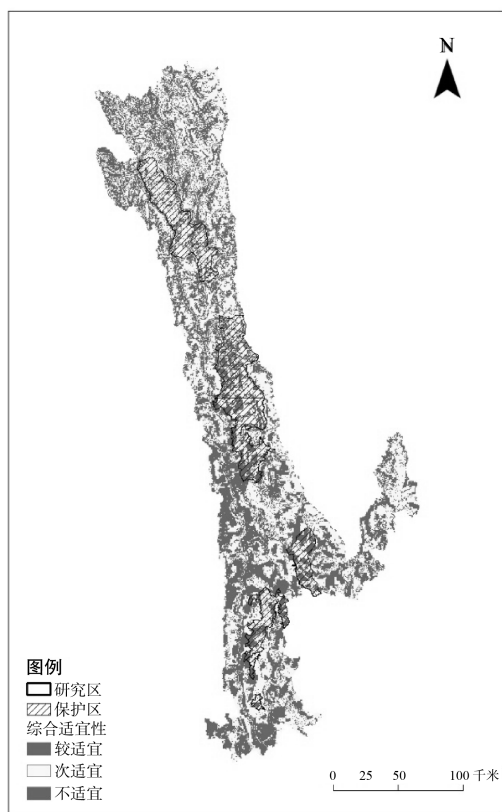


图 3 综合评价结果

3.3.2 综合评价

本研究选用加权综合指数法对滇金丝猴生境质量进行综合评价。在 ArcGIS 中将单因子评价结果与 PCA 权重计算结果相结合,计算每一个评价单元的适宜性分值,然后按照自然间断点分级法(Jenks)进行重分类,将适宜度划分为较适宜、次适宜、不适宜三类,如图 3 所示,较适宜生境面积为 11764.53km²,占研究区总面积的 31.57%,次适宜生境面积为 19026.38km²,占研究区总面积的 51.05%;不适宜生境面积为

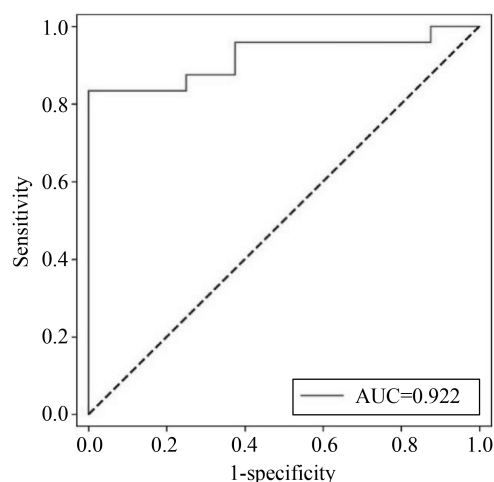


图 4 滇金丝猴生境综合评价结果 ROC 曲线验证图

6478.25km²,占研究区总面积的 17.38%。五个滇金丝猴保护区范围内较适宜生境面积为 1910.92km²,占研究区总面积的 5.10%;次适宜生境面积为 3287.18km²,占研究区总面积的 8.82%;不适宜生境面积为 998.73km²,占保护区总面积的 2.68%,其结果如表 5 所示。从研究结果来看,滇金丝猴较适宜和次适宜生境的大部分区域均在滇金丝猴保护区范围外,属于滇金丝猴保护空缺区域,识别该区域范围和面积对滇金丝猴生态廊道建设和生境保护有一定的科学指导意义。

将滇金丝猴生境综合评价结果作为检验变量,滇金丝猴出现与否为状态变量,绘制 ROC 曲线,曲线下面积为模型预测精度。如图 4 所示,经计算该预测精度为 AUC=0.922,根据 AUC 值的判断标准,预测能力达到了较好水平。

表 5 滇金丝猴生境适宜性综合评价结果

范围	保护区名称	较适宜		次适宜		不适宜	
		面积(km ²)	百分比(%)	面积(km ²)	百分比(%)	面积(km ²)	百分比(%)
保护区范围内	白马雪山	1022.94	36.45%	1363.70	48.60%	419.61	14.95%
	云龙天池	57.74	39.71%	86.19	59.28%	1.47	1.01%
	云岭	360.90	48.78%	357.97	48.38%	21.05	2.84%
	丽江老君山	326.45	52.12%	282.84	45.15%	17.09	2.73%
	西藏芒康	133.89	7.16%	1196.48	63.99%	539.51	28.85%
保护区范围外		9862.61	31.73%	15739.20	50.64%	5479.52	17.63%

表 6 各行政区滇金丝猴保护空缺面积分布表

行政区	保护空缺面积(km ²)	占比	主要分布地
西藏芒康县	45.33	0.46%	途中乡、索多西乡
云南德钦县	1093.75	11.10%	羊拉乡茂顶村
云南维西县	3165.96	32.13%	康普乡普乐村
云南玉龙县	1506.62	15.29%	箐门村金丝厂
云南兰坪县	2392.46	24.28%	啦井镇大山箐村
云南云龙县	1649.49	16.74%	茂盛村、苗尾天灯村

3.4 滇金丝猴生境保护空缺分析

在 ArcGIS 中,对五个自然保护区的数据进行矢量化,确定其范围和面积,然后将保护区的范围和滇金丝猴生境适宜性评价结果进行叠加分析,确定较适宜生境与现有保护区范围重叠部分,将保护区外的较适宜生境识别为保护空缺区域。从各行政区情况来看,云南维西县保护空缺面积最大为 3165.96km²(32.13%),该部分面积主要位于白马雪山国家级自然保护区范围外,其次为兰坪县,面积为 2392.46km²(24.28%),该部分位于云岭自然保护区和云龙天池自然保护区的范围外,西藏芒康县的保护空缺最小,仅为 45.33km²(0.46%),具体情况如表 6 所示。

4 结语

本文根据滇金丝猴的生活习性,结合其他学者的研究成果,选取了高程、距水源距离、距居民点距离、温度、坡度、降水、坡向、距道路距离、人口密度、植被类型、植被指数(NDVI) 11 个因子作为本次滇金丝猴生境评价因子,建立评价指标体系,运用主成分分析法(PCA)确定各因子权重,在 ArcGIS 中对滇金丝猴生境进行单因子评价和综合评价,评价结果表明大部分较适宜和次适宜生境位于现有的保护区外,存在较大的保护空缺,因此本研究将生境质量评价结果同保护区边界进行叠加处理,识别出滇金丝猴保护空缺,为未来的廊道建设和滇金丝猴生境保护工作的开展提供科学依据。

本文仍存在一些不足,滇金丝猴的生境选择

行为是一个复杂的过程,除受到地理环境、生物和人类干扰影响意外,还受到种间竞争等的影响,但本研究只选取了 11 个有代表性的因子进行评价,缺乏天敌、树木胸径等因素的研究,在未来的研究中再进一步的补充完善。

参考文献(References):

- [1] 陶培峰,袁月,刘建,等.重庆金佛山黑叶猴潜在生境及廊道分析[J].测绘通报,2023,68(09):82-86.
- [2] 臧润国,丁易,张志东,等.海南岛热带天然林主要功能群保护与恢复的生态学基础[M].北京:科学出版社,2010:17-21.
- [3] 吴雨桐,於冉,余祺琪,等.皖江流域生境质量评价及多情景优化研究[J].生态环境学报,2025,34(06):961-973.
- [4] 钱天陆,秦淑洁,吴朝宁,等.基于 MaxEnt 模型的人类干扰对滇金丝猴潜在分布的影响[J].兽类学报,2022,42(04):349-361.
- [5] 石小倩,沈金祥,和春兰,等.基于 MaxEnt 模型的滇金丝猴生境适宜性及保护空缺分析[J].野生动物学报,2025,46(01):14-23.
- [6] 国家林业和草原局,国家公园管理局.滇金丝猴恢复到 24 群 3800 多只[N/OL].中国绿色时报,(2022-08-10)[2024-07-01].
- [7] 王亚明,薛亚东,夏友福,等.滇西北滇金丝猴栖息地景观格局分析及其破碎化评价[J].林业调查规划,2011,36(02):34-37.
- [8] Xia W C, Zhang C, Zhuang H F et al. The potential distribution and disappearing of Yunnan snub-nosed monkey: influences of habitat fragmentation[J]. Global Ecology and Conservation, 2020, 21: e00835.

- [9] 余吉,付明霞,宋心强,等. 基于 MaxEnt 模型的四川大相岭保护区藏酋猴 (*Macaca thibetana*) 生境适宜性评价[J]. 四川林业科技, 2020, 41(03): 45-50.
- [10] 林玲,王卫红,冉茂莹,等. 王朗自然保护区大熊猫生境适宜性及潜在活动区域[J]. 东北林业大学学报, 2022, 50(01): 87-92.
- [11] 周维,刘国华,段兴武,等. 滇金丝猴分布区森林面积变化的时空特征及其影响因素[J]. 生态学报, 2022, 42(02): 791-803.
- [12] 邢璐. 滇金丝猴分布区的社会经济对生态质量的影响研究[D]. 昆明: 云南财经大学, 2020.
- [13] 萧今. 滇金丝猴保护绿皮书: 滇金丝猴全境动态监测项目报告[M]. 昆明: 云南人民出版社, 2021.
- [14] 唐诚. 神农架自然保护区川金丝猴生境选择与适宜性评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- [15] 邓凯. 基于滇金丝猴生境质量的土地生态评价与应用[D]. 昆明: 云南财经大学, 2014.
- [16] 常朦朦,马星玮. 基于 AHP-PCA 与语义差异法的晋城市森林公园景观质量评价体系构建[J]. 华南林业科技大学学报, 2024, 44(12): 208-216.
- [17] 王仕菲,尹珂,朱丽娜. 基于生态系统服务供需与土地利用耦合分析的三峡库区生态管理分区及情景模拟[J/OL]. 环境科学, 1-20[2025-10-22]. <https://doi.org/10.13227/j.hjlx.202412143>.
-

作者简介:

第一作者:冯艳,1985年生,女,云南临沧人,硕士,云南国土资源职业学院,讲师,主要研究方向为土地资源管理、地理信息系统。Email:125211496@qq.com;

通讯作者:瞿华莹,1982年生,男,重庆人,硕士,云南国土资源职业学院,副教授,主要研究方向为国土资源信息化管理。Email:94298984@qq.com

Habitat Evaluation and Protection Gap Analysis of the Yunnan Snub-nosed Monkey Using GIS

FENG Yan¹, QU Huaying^{1*}, LI Jialong²

(1. Yunnan Land and Resources Vocational College, Department of Land and Spatial Information, Kunming, 652501, China;

2. Kunming Changshui International Airport Co., Ltd, Kunming, 650000, China)

Abstract: Habitat is the space where wild animals survive and reproduce, and habitat evaluation reflects the degree of matching between wild animals and their living environment. In recent years, due to changes in natural environment such as climate and vegetation, as well as human interference, the habitat of Yunnan Snub-nosed monkeys has become fragmented, posing a threat to their survival environment. Therefore, this article evaluates the habitat of the Yunnan Snub-nosed monkey based on GIS. Firstly, by combining existing literature research with the living characteristics and habits of the Yunnan Snub-nosed monkey, 11 factors that play a dominant role in habitat selection were selected to establish an evaluation index system. Then, principal component analysis (PCA) was used to determine the weights of each indicator. Then, single factor evaluation and comprehensive evaluation were conducted on each factor to determine the suitable habitat of the Yunnan snub nosed monkey. Finally, the comprehensive evaluation results were overlaid with the existing protected area scope to identify the conservation gaps of the Yunnan snub nosed monkey and provide a scientific basis for its future protection and management.

Key words: Yunnan Snub-nosed monkey; habitat assessment; principal component analysis