

DOI: 10.5846/stxb202102100427

朱淑娴, 李丽, 邢璐, 吴巩胜, 国洪艳, 王翔, 包广静. 滇西北地区自然村对滇金丝猴生境质量的影响. 生态学报, 2022, 42(3): 1213-1223.

Zhu S X, Li L, Xing L, Wu G S, Guo H Y, Wang X, Bao G J. Impact of the villages on habitat quality of Yunnan snub-nosed monkey in northwest Yunnan. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(3): 1213-1223.

滇西北地区自然村对滇金丝猴生境质量的影响

朱淑娴^{1,2}, 李 丽^{1,2,*}, 邢 璐¹, 吴巩胜^{1,2}, 国洪艳^{1,2}, 王 翔^{1,2}, 包广静¹

1 云南财经大学城市与环境学院, 昆明 650221

2 云南财经大学野生动植物管理与生态系统健康研究中心, 昆明 650221

摘要:在社会经济发展与生态环境发展逐渐失调的背景下,滇金丝猴作为中国特有的珍稀濒危物种,其生境质量的研究是平衡经济发展与物种保护的重要基础。选取滇西北地区 2572 个自然村的社会经济数据和 344 个样地运用 GIS 空间分析法的主成分分析和 InVEST 模型,研究滇西北地区自然村发展对滇金丝猴分布区生境质量的影响,结果如下:(1)研究区南部自然村发展优于北部;(2)研究区北部的生境质量比南部高,北部自然村对滇金丝猴生境质量的影响比南部的自然村小;北部的生境稀缺性比南部高,生态稳定性差,需要制定优先保护策略;(3)猴群分布区内存留 12 个自然村,自然村发展对第 3、6 和 14 猴群(C3、C6 和 C14)的生境质量影响大,生境质量比较低;猴群 C1、C12 和 C13 分布区内的生境稀缺性较高,生境脆弱,需要优先加强规划;划定滇金丝猴优质生境、中等生境和低质生境区域,占比分别为 26.85%、20.44% 和 52.71%。

关键词:滇西北地区;自然村;滇金丝猴;生境质量

Impact of the villages on habitat quality of Yunnan snub-nosed monkey in northwest Yunnan

ZHU Shuxian^{1,2}, LI Li^{1,2,*}, XING Lu¹, WU Gongsheng^{1,2}, GUO Hongyan^{1,2}, WANG Xiang^{1,2}, BAO Guangjing¹

1 School of Urban and Environment, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650221, China

2 Wildlife Management and Ecosystem Health center, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650221, China

Abstract: Improvement of villages' economies in and around the Yunnan snub-nosed monkey's habitats continues to come at the cost of decreasing ecological quality of the habitats. These areas are rich in natural resources and their biodiversity is among the richest in China. This paper uses the Principal component analysis and InVEST model of GIS spatial analysis to study the impact of villages' economic growth on the habitat quality of the Yunnan Snub-nosed monkey. The analysis included 2,575 villages and 344 sample plots in the monkey's northwest Yunnan habitat. There were 12 groups of monkeys in this study. The results are as follows: (1) The economic development of villages in the south was better than that in the north. (2) The habitat quality in the northern region was higher than that in the southern part. The impact of villages in the north of the Yunnan snub-nosed monkey's habitat quality was smaller than that in the south of the region. The northern habitat rarity was higher than that in the south, necessitating priority protection strategies due to the ecological stability weakening. (3) There were 12 villages in the monkey habitats. Three groups (Groups 3, 6, and 12) had low habitat quality, which affected the development of the villages. Three other groups (Groups 1, 12, and 13) had scarce (fragile bio-diversity) habitats, which needed to be prioritized for protection and repair. Over half the habitat area (52.71%) was low-quality, about one-quarter (20.44%) was medium quality, only about one-quarter (26.85%) was high quality.

Key Words: northwest Yunnan; villages; Yunnan snub-nosed monkey; habitat quality

基金项目:国家自然科学基金项目(31100351)

收稿日期:2021-02-10; 网络出版日期:2021-10-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 601336244@qq.com

济数据从国家地理信息资源目录服务系统和云南省数字乡村网下载;344 块样地数据来自云南省林业调查设计院 2017 年样地资源调查数据(样地是按 6 m×8 km 布设的边长 28.28 m、面积 0.08 hm²的正方形固定样地),经检验,满足研究精度要求^[25]。

2.2 研究方法

2.2.1 主成分分析法

选取位于研究区内的 2572 个自然村,依据自然资源、人口、经济、基础设施、能源和教育因素选取其中 30 项指标作为主成分分析(PCA)^[25,27—28]的基础(表 1)。利用 PCA 在 SPSS 26.0 计算,在满足检验精度的要求下,分析选取特征值>1 的因子作为主成分,并将各主成分作为自然村发展因子,得到自然村综合得分,用于评价自然村的发展等级。依据自然村发展等级划分标准,将其等级划分为 I、II、III、IV、V、VI 和 VII,自然村等级越高表示自然村发展越好(表 2)。

表 1 自然村社会经济数据指标
Table 1 Social-economic data index of villages

一级指标 Primary index	二级指标 Secondary index	代码 Code	一级指标 Primary index	二级指标 Secondary index	代码 Code
自然资源(X ₁) Natural resources	常用耕地面积/hm ²	X ₁₁	经济(X ₃) Economics	经济总收入/万元	X ₃₁
	水田面积/hm ²	X ₁₂		种植业收入/万元	X ₃₂
	旱地面积/hm ²	X ₁₃		畜牧业收入/万元	X ₃₃
	人均耕地面积/hm ²	X ₁₄		林业收入/万元	X ₃₄
	经济果林地面积/hm ²	X ₁₅		二三产业收入/万元	X ₃₅
	人均果林地面积/hm ²	X ₁₆		人均收入/元	X ₃₆
人口(X ₂) Population	乡村人口/人	X ₂₁	基础设施(X ₄) Infrastructures	距离最近车站/km	X ₄₁
	农业人口/人	X ₂₂		距离最近市场/km	X ₄₂
	劳动力/人	X ₂₃		汽车/辆	X ₄₃
	第一产业人数/人	X ₂₄		农用运输车/辆	X ₄₄
	大专及以上学历/人	X ₂₅		拖拉机/辆	X ₄₅
	中学人数/人	X ₂₆		摩托车/辆	X ₄₆
	小学人数/人	X ₂₇	能源(X ₅) Energy resources	沼气池农户/户	X ₅₁
	未上学人数/人	X ₂₈		太阳能农户/户	X ₅₂
			教育(X ₆) Education	小学入学率/%	X ₆₁
				中学入学率/%	X ₆₂

表 2 自然村发展等级划分标准
Table 2 Classification standard of villages development grades

综合得分范围(Z) Comprehensive score range	(-∞, -0.5]	(-0.5, 0]	(0, 0.5]	(0.5, 1]	(1, 1.5]	(1.5, 2]	(2, +∞)
自然村规模等级 Scale grades of villages	I	II	III	IV	V	VI	VII

2.2.2 样地处理

利用样地分类标准(表 3),基于样地生态质量公式 $Y = \sum_{i=1}^7 W_i X_i$, 计算 344 块样地综合得分,式中 X_i 为第 i 项评价因子的类型得分值(类型 I、II 和 III 分别取 1、2 和 3), W_i 为各评价因子的权重^[25]。根据样地综合得分值,按下表评定为 4 个生态质量等级(表 4)。

表 3 样地分类标准

评价因子 Evaluation factors	类型划分标准 Classification criteria			权重 Weight
	I	II	III	
森林自然度 Forest naturalness	1,2	3,4	5	0.19
森林群落结构 Forest community structure	1	2	3	0.18
树种结构 Tree species structure	6,7	3,4,5	1,2	0.16
植被总覆盖度 Total vegetation coverage	≥70%	[50% ,70%)	<50%	0.15
郁闭度 Crown density	≥0.7	[0.40—0.70)	[0.20—0.40)	0.14
平均树高 Average tree height	≥15.0 m	[5.0—15.0) m	<5.0 m	0.12
枯枝落叶厚度等级 Litter depth grade	1	2	3	0.06

表 4 样地生态等级评价

Table 4 Ecological grade evaluation of plots					
生态等级 Ecological grades	综合生态质量得分值 Comprehensive ecological quality score	代码 Codes	生态等级 Ecological grades	综合生态质量得分值 Comprehensive ecological quality score	代码 Codes
优 Excellent	<1.4	1	中 Medium	1.8—2.2	3
良 Good	1.4—1.8	2	差 Poor	>2.2	4

2.2.3 基于 InVEST 模型的生境质量评价

InVEST 模型的 Habitat Quality 模块以土地利用/覆被和生物多样性胁迫因素为基础进行生境质量评价,通过某一地区各种土地利用/覆被(LULC)类型的范围和这些类型各自的退化度来表达,并且该模型中生境质量和生境稀缺性作为生物多样性的反映^[29—31]。生境质量的评价指标包括生境退化度(Habitat degradaton)、生境质量和生境稀缺性(Habitat rarity),具体计算公式参见文献^[31—35]。根据 InVEST 模型的建模指标,生境退化度和生境质量是基于当前 2018 年的土地利用/覆被图进行分析,而生境的稀缺性是用相对的 2000 年和 2018 年的土地利用/覆被图的基本斑块来评估,本文以 2000 年土地利用/覆被图作为基准的 LULC,2018 年土地利用/覆被图为当前的 LULC,并选取自然村、乡道、其他非林地、人工经济林、农牧地和人工建筑作为生境质量的威胁因子^[24—25,36],静态估算获得 2018 年的生境稀缺性。

用 ArcGIS 10.6 分别以 1、1.5、2、2.5、3、3.5 km 和 4 km 为半径对做不同生态质量等级的样地做缓冲区,并分别计算缓冲区内自然村和乡道的平均数量,利用 Eviews 10.0 分别做自然村和乡道与样地的相关性分析^[27],分析得出自然村和乡道的最大距离阈值分别为 2 km 和 4 km。对威胁因子权重、土地利用类型的适宜性和敏感性相关参数进行专家打分,最终确定参数值,得到威胁因子属性(表 5)和土地利用类型对威胁的敏感性(表 6)。运行 InVEST 模型,得到滇西北滇金丝猴分布区生境退化度、生境质量和生境稀缺性指数的结果,并与县级行政区划图进行叠加,统计各个县域的均值情况。

2.2.4 GIS 空间分析法

利用 ArcGIS 的缓冲区、叠加、重分类、核密度和空间统计功能^[37—38]等研究滇西北地区自然村发展对滇金丝猴分布区生境质量的影响。通过 ArcGIS 把自然村的发展等级可视化分布,并利用核密度功能制作空间格局图,准确反映自然村发展的空间特征^[37—39]。通过其缓冲区、叠加、重分类和空间统计功能评估滇金丝猴分布区生境质量,分析滇金丝猴群生境质量受自然村影响和划定滇金丝猴生境保护的关键区域。

3 结果与分析

3.1 自然村发展分析

从空间上分析,由图 2 可看出,研究区南部自然村发展优于北部,研究区域南部自然村密度比北部大,人为干扰程度大。从数量上分析(表 7),等级 II 的自然村分布最多,其中等级 I 的自然村占比为 4.20%;等级 II

的自然村占比为 59.83%;等级 III 的自然村占比为 24.49%;等级 IV 的自然村占比为 6.26%;等级 V 的自然村占比为 2.45%;等级 VI 的自然村占比为 2.18%;等级 VII 的自然村占比为 0.58%。总的来说,研究区域南部自然村发展相对较好,发展趋势呈现多中心辐射现象。

表 5 威胁因子属性
Table 5 Attributes of threat factors

威胁因子 Threat factors	最大影响距离 Maximum effective distance of threats	权重 Weights	退化类型 Decay type
自然村 I Village I	2	0.4	指数相关
自然村 II Village II	2	0.5	指数相关
自然村 III Village III	2	0.6	指数相关
自然村 IV Village IV	2	0.7	指数相关
自然村 V Village V	2	0.8	指数相关
自然村 VI Village VI	2	0.9	指数相关
自然村 VII Village VII	2	0.95	指数相关
乡道 Village road	4	0.7	线性相关
其他非林地 Other non-forestry land	1	0.6	指数相关
人工经济林 Economic forest	1	0.7	指数相关
农牧地 Agricultural land	1	0.5	指数相关
人工建筑 Artifical construction	3	0.8	指数相关

表 6 土地利用类型对威胁的敏感性
Table 6 Sensitivity of land use types to threats

土地利用 类型代码 Land use type code	土地利 用类型 Land use types	生境适宜性 Habitat suitability	Vil1	Vil 2	Vil 3	Vil 4	Vil 5	Vil 6	Vil 7	Vr	Onfl	Ef	Al	Ac
1	其他非林地	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	高山针叶林	0.6	0.7	0.75	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.95	0.4	0.3	0.4	0.8
3	灌木林地	0.8	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.3	0.4	0.8
4	华山松	1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.5	0.4	0.5	0.9
5	荒山荒地	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.1	0.1	0.2
6	积雪	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2
7	阔叶林	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.4	0.3	0.4	0.8
8	农牧地	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	人工经济林	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	水体	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.2	0.1	0.1	0.2
11	硬叶常绿阔	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.5	0.3	0.4	0.8
12	云冷杉林	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.5	0.4	0.5	0.9
13	云南松林	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.3	0.1	0.2
14	针阔混	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.85	0.85	0.5	0.4	0.5	0.9
15	人工建筑	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Vil1:自然村 I Village I; Vil2:自然村 II Village II; Vil3:自然村 III Village III; Vil4:自然村 IV Village IV; Vil5:自然村 V Village V; Vil6:自然村 VI Village VI; Vil7:自然村 VII Village VII; Vr:乡道 Village road; Onfl:其他非林地 Other non-forestry land; Ef:人工经济林 Economic forest; Al:农牧地 Agricultural land; Ac:人工建筑 Artifical construction

表 7 自然村发展等级的数量
Table 7 The quantities of development grades of villages

等级 Grade	等级 I Grade I	等级 II Grade II	等级 III Grade III	等级 IV Grade IV	等级 V Grade V	等级 VI Grade VI	等级 VII Grade VII
数量 Quantities	108	1539	630	161	63	56	15
比重 Weights/%	4.20	59.84	24.49	6.26	2.45	2.18	0.58

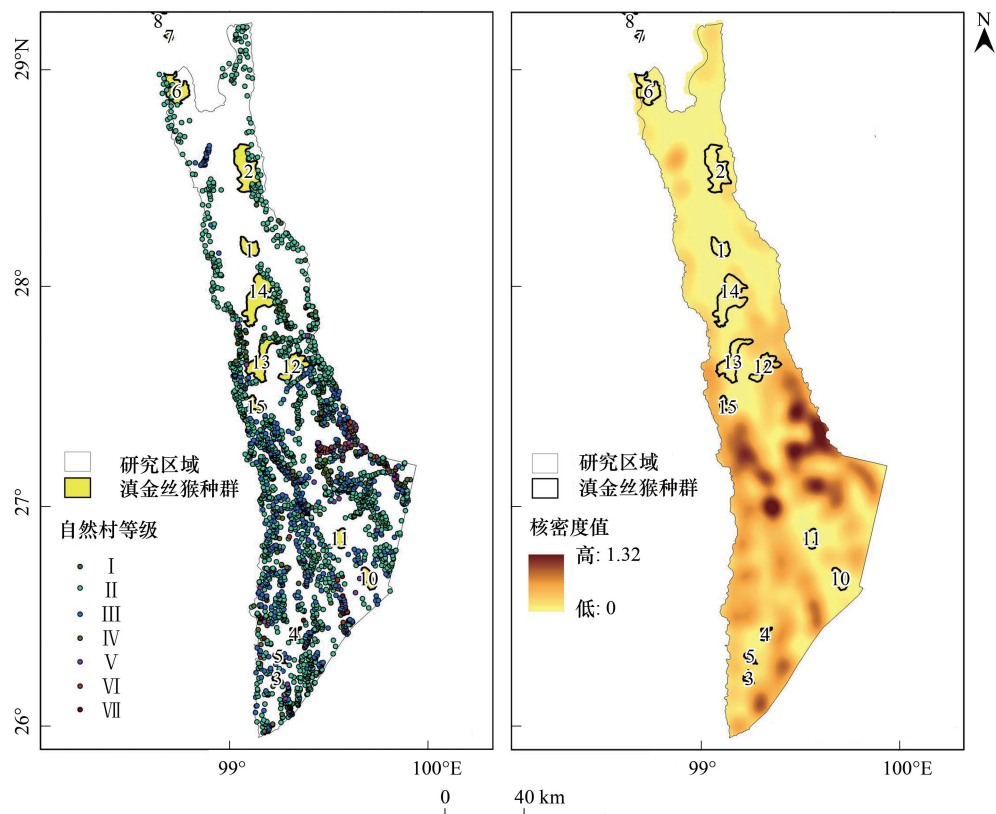


图2 滇金丝猴群与自然村发展等级分布和空间格局

Fig.2 Grade distribution and spatial pattern of villages development and Yunnan Snub-nosed monkey groups

3.2 自然村对滇金丝猴生境质量的影响分析

生境稀缺性反映研究区内生境的土地利用类型斑块的破碎化程度和区域生态安全格局的稳定性^[36]。生境稀缺性系数越高,反映该生境斑块内的土地利用类型变化程度大,如果破坏该土地利用类型的生境斑块,区域内的生境质量和生态安全格局的稳定性可能受到剧烈的影响^[37—38]。从总体分析(图3),研究区北部的生境质量比南部高,北部自然村发展对滇金丝猴生境质量比南部的自然村小;北部的生境稀缺性比南部高,生态稳定性差,需要优先保护生态环境。从各个县域空间分布情况分析(表8),德钦县的生境质量最高,均值为0.5042;兰坪县的生境质量最低,均值为0.1630。兰坪县的生境稀缺性最高,均值为0.0143;香格里拉县的生境稀缺性最低,均值为-0.0335。

表8 各县生境质量和生境稀缺性的均值

Table 8 Mean value of habitat quality and habitat scarcity in each county

县 County	生境质量 Habitat quality	生境稀缺性 Habitat rarity	县 County	生境质量 Habitat quality	生境稀缺性 Habitat rarity
德钦县	0.5042	-0.0256	剑川县	0.4248	-0.0247
丽江县	0.3610	-0.0008	云龙县	0.2721	-0.0193
维西县	0.2243	-0.0005	香格里拉	0.3312	-0.0335
兰坪县	0.1630	0.0143			

3.3 滇金丝猴群分布区受自然村影响的空间分析

由图4和表9分析可知,在猴群分布区内还存留着12个自然村,分别是咱爪罗村、阿木史光村、木光阿吉村、塞布怕哈村、糟坡村、归龙村、粗丁村、增打村、义都设村和力利农村;研究区分布有12个猴群,其生境质量

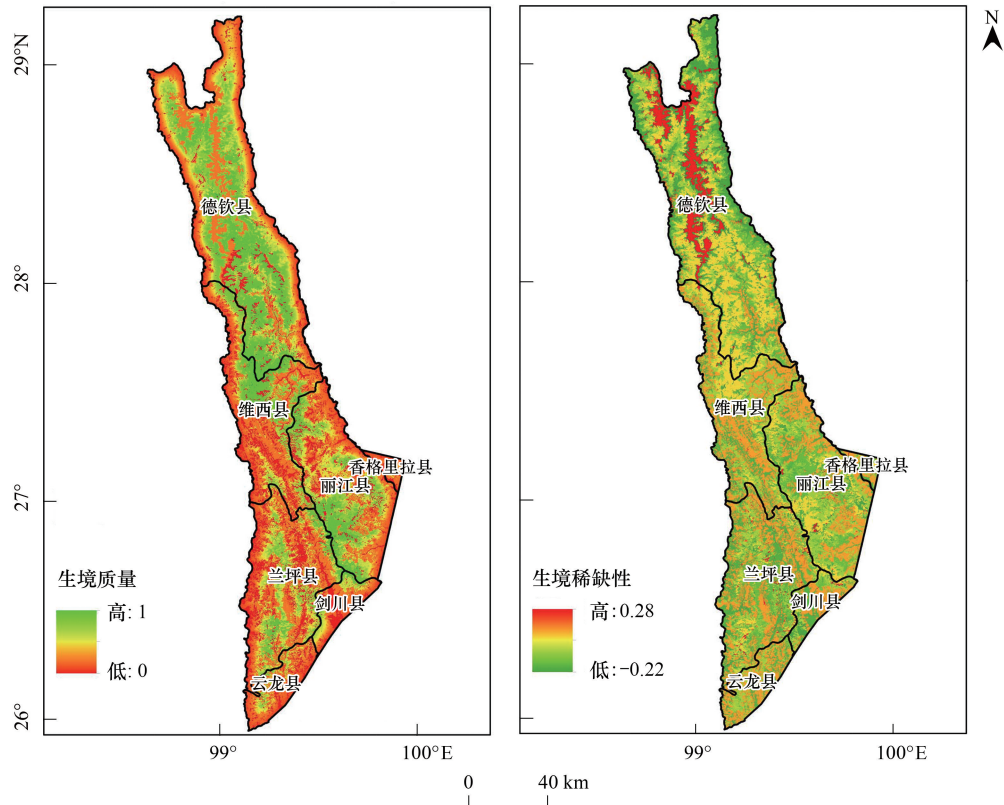


图3 生境质量和生境稀缺性分布

Fig.3 The distribution of habitat quality and habitat rarity

由于本文的生境退化度均值-1.512,差异性趋于相同,故不单独分析

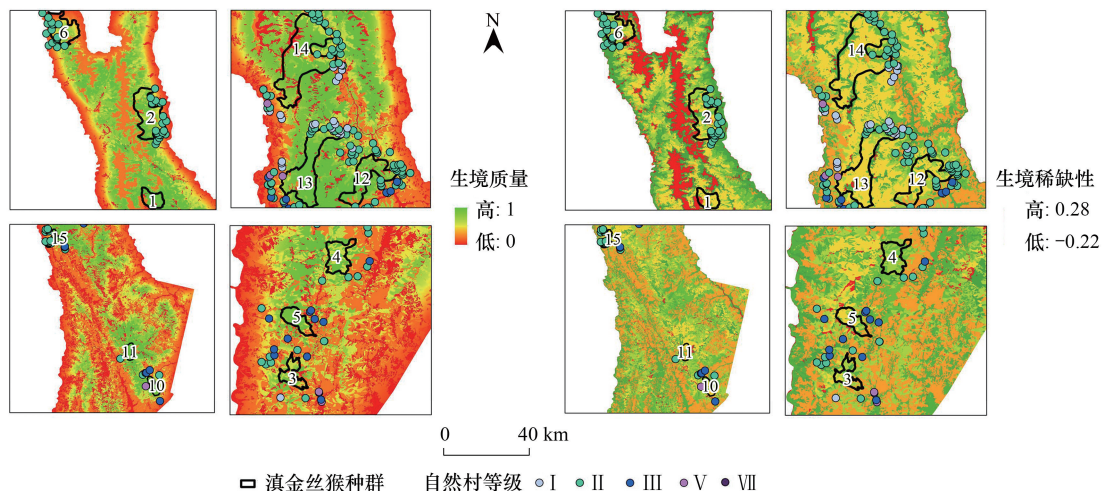


图4 各猴群分布区自然村与生境质量和生境稀缺性分布

Fig.4 Distribution of villiages, habitat quality and habitat scarcity in each monkey reserve

的均值为 0.7408, 总体生境比较高, 其中, 第 11 (C11) 猴群生境质量最高, 均值为 0.9047, 第 3、6 和 14 (C3、C6 和 C14) 猴群生境质量比较低, 自然村发展对生境质量影响大, 并且自然村的发展等级越高, 猴群生境质量越低; 12 个猴群的生境稀缺性的均值为 -0.0125, 生境保持比较稳定状态, C1、C12 和 C13 猴群生境稀缺性比较

高,生境脆弱,需要优先加强规划,C4、C6 和 C10 猴群生境稀缺性比较低,均值为负数。

表 9 各猴群分布区生境质量和生境稀缺性的均值
Table 9 Mean value of habitat quality and habitat scarcity in each monkey reserve

猴群编号 Code of monkey	生境质量 Habitat quality	生境稀缺性 Habitat rarity	猴群编号 Code of monkey	生境质量 Habitat quality	生境稀缺性 Habitat rarity
C1	0.8107	0.0466	C10	0.8074	-0.0260
C2	0.7113	-0.0252	C11	0.9047	-0.0068
C3	0.5943	-0.0298	C12	0.7653	0.0059
C4	0.7139	-0.0769	C13	0.8238	0.0078
C5	0.7723	-0.0102	C14	0.6943	-0.0113
C6	0.4982	-0.0268	C15	0.7931	0.0029

C7—9 不在研究区内,故不在表内分析

3.4 滇金丝猴生境保护的关键区域分析

如图 5 和表 10 分析可知,划分出 4410.32 km²滇金丝猴优质生境区域,占总面积的 26.85%,高质量的生境有利于滇金丝猴群的活动、休憩和繁殖,因此将生境优良区域作为滇金丝猴生境保护的关键区域;划分出 3356.30 km²滇金丝猴中等生境区域,占总面积的 20.44%,该区域的生境是滇金丝猴活动的边缘区域,因此需要关注该区域的自然村对生境质量的影响。其中需要对在猴群分布区内存留着 12 个自然村进行重点关注和规划,使中等生境转化为优质生境;划分出 8657.64 km²低质生境区域,占总面积的 52.71%。该区域生境质量低,需要形成既保护生境质量又能促进当地社会经济可持续发展的模式,通过植被恢复,改善生境质量。

表 10 滇金丝猴生境保护区域的面积
Table 10 Area of habitat protection region for Yunnan snub-nosed monkey

等级 Grade	面积/km ² Area	比重/% Weights	等级 Grade	面积/km ² Area	比重/% Weights
优质生境 High quality habitat	4410.32	26.85	低质生境 Low quality habitat	8657.64	52.71
中等生境 Medium quality habitat	3356.30	20.44			

4 讨论

生境变化被认为是基因、物种或生态系统变化的代表,滇西北地区滇金丝猴生境质量高的区域将更好的支持滇金丝猴物种的多样性^[13]。自然村发展伴随着对生境的破坏,使生境破碎化和生境质量降低,这将导致滇金丝猴物种的多样性的可持久性、弹性、恢复性的降低,加剧物种数量的减少的风险。本文选用代表自然村用地的土地利用类型,如农牧地、人工建筑、人工经济林和其他非林地,间接反映自然村变化,通过对 2000 年和 2018 年土地利用/覆被图相交处理(图 6),从数量上,发现由非自然村用地转化为自然村用地的面积占总土地面积的 7.42%、由自然村用地类转化为非自然村用地的面积占 6.10%,因此,间接反映自然村面积增加了,占总面积的 1.32%;从空间上,发现研究区南部的自然村扩张程度比北部要大。

生境稀缺性可以反映生境的稳定性,有利于指导未来土地利用规划^[34—35],对生物多样性保护非常重要。北部区域的生境稀缺性总体较高,是因为其他非林地图斑面积变得稀缺,这样有利于猴群的保护,需要优先加强规划;南部区域的生境稀缺性总体较低,是因为南部地区受社会经济影响大,为了发展自然村经济,增加建设用地、农牧地和人工经济林的面积,生境质量较低。C1、C12 和 C13 猴群生境稀缺性的均值比较高,是由于其他非林地图斑面积减少造成的;C4、C6 和 C10 猴群生境稀缺性的均值比较低,是因为人为的开垦农牧地导致农牧地增加的,这不利于猴群的保护。

依据研究结果,从滇金丝猴种群保护、生境质量保护和恢复的角度提出以下三点建议:(1)加强滇金丝猴种群分布区的连接和生境质量保护;(2)协调自然村社会经济发展与生境质量保护的关系,促进人与滇金丝

猴协同发展,对在 C6、C13 和 C14 猴群内的 12 个自然村合理规划和布局;(3)对生境稀缺性低的猴群,如 C4、C6 和 C10 退耕还林^[24],进行植被恢复工程,促进适宜生境的恢复。

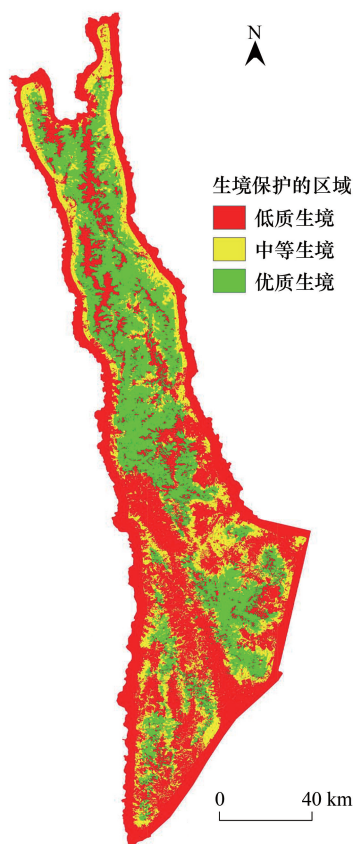


图 5 滇金丝猴生境保护的区域

Fig.5 Habitat protection region for Yunnan snub-nosed monkey

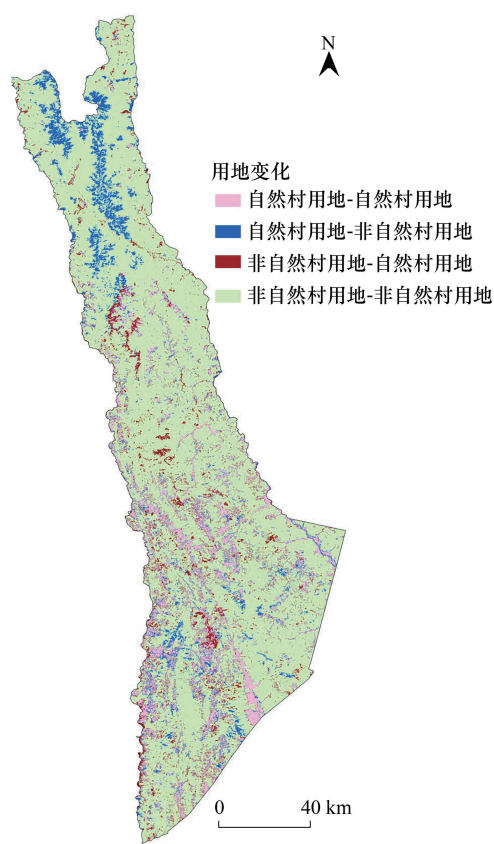


图 6 自然村用地变化

Fig.6 Villages land use change

依据物种生境本身的特点,分析生境质量,从而提出物种保护措施,为物种保护提出了一个新的研究方向,本文是初步的研究和探索,已经初步研究自然村的发展等级越高,猴群生境质量越低,将在下一步的工作中定量研究自然村对猴群生境质量的范围和时空演变:(1)由于数据保护和获取途径有限,研究区只有滇西北地区的滇金丝猴分布区,缺少西藏自治区部分区域,研究缺少整体性和全面性,比如高精度和具有时间序列的土地利用数据和社会经济数据的获取;(2)InVEST 模型相对较为成熟,在空间表达、动态研究等方面优于传统方法,但计算中的参数设置存在一定的主观性,参数验证及更多有效的可获取的变量有待探讨;(3)将进一步完善反映自然村社会经济发展的变量,比如各级道路、人口空间分布公里网格数据、夜间灯光数据和 GDP 空间分布公里网格数据集等。

参考文献 (References):

- [1] Nelson E, Mendoza G, Regetz J, Polasky S, Tallis H, Cameron D, Chan K M, Daily G C, Goldstein J, Kareiva P M, Lonsdorf E, Naidoo R, Ricketts T H, Shaw M. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(1): 4-11.
- [2] He J H, Huang J L, Li C. The evaluation for the impact of land use change on habitat quality: a joint contribution of cellular automata scenario simulation and Habitat quality assessment model. *Ecological Modelling*, 2017, 366: 58-67.
- [3] 刘春芳,王川. 基于土地利用变化的黄土丘陵区生境质量时空演变特征——以榆中县为例. *生态学报*, 2018, 38(20): 7300-7311.
- [4] 王耕,常畅,韩冬雪,白天骄. 老铁山自然保护区景观格局与生境质量时空变化. *生态学报*, 2020, 40(6): 1910-1922.

- [5] Vistnes I, Nellemann C, Jordhøy P, Strand O. Effects of infrastructure on migration and range use of wild reindeer. *The Journal of Wildlife Management*, 2004, 68(1), 101-108.
- [6] Haddad N M, Brudvig L A, Clobert J, Davies K F, Gonzalez A, Holt R D, Lovejoy T E, Sexton J O, Austin M P, Collins C D, Cook W M, Damschen E I, Ewers R M, Foster B L, Jenkins C N, King A J, Laurance W F, Levey D J, Margules C R, Melbourne B A, Nicholls A O, Orrock J L, Song D X, Townshend J R. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 2015, 1(2): e1500052.
- [7] Newbold T, Hudson L N, Hill S L L, Contu S, Lysenko I, Senior R A, Börger L, Bennett D J, Choimes A, Collen B, Day J, De Palma A, Díaz S, Echeverria-Londoño S, Edgar M J, Feldman A, Garon M, Harrison M L K, Alhusseini T, Ingram D J, Itescu Y, Kattge J, Kemp V, Kirkpatrick L, Kleyer M, Correia D L P, Martin C D, Meiri S, Novosolov M, Pan Y, Phillips H R P, Purves D W, Robinson A, Simpson J, Tuck S L, Weiher E, White H J, Ewers R M, Mace G M, Scharlemann J P W, Purvis A. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 2015, 520(7545): 45-50.
- [8] McKinney M L. Urbanization, biodiversity, and conservation: the impacts of urbanization on native species are poorly studied, but educating a highly urbanized human population about these impacts can greatly improve species conservation in all ecosystems. *Bioscience*, 2002, 52(10): 883-890.
- [9] Vögeli M, Serrano D, Pacios F, Tella J L. The relative importance of patch habitat quality and landscape attributes on a declining steppe-bird metapopulation. *Biological Conservation*, 2010, 143(5): 1057-1067.
- [10] 邓越, 蒋卫国, 王文杰, 吕金霞, 陈坤. 城市扩张导致京津冀区域生境质量下降. *生态学报*, 2018, 38(12): 4516-4525.
- [11] Fu R, Li L, Yu Z H, Afonso E, Giraudoux P. Spatial and temporal distribution of Yunnan snub-nosed monkey, *Rhinopithecus bieti*, indices. *Mammalia*, 2018, 83(2): 103-109.
- [12] 李慧, 李丽, 吴巩固, 周跃, 李雯雯, 梅泽文. 基于电路理论的滇金丝猴生境景观连通性分析. *生态学报*, 2018, 38(6): 2221-2228.
- [13] 何春光, 崔丽娟, 石川忠晴, 盛连喜, 姜海波. 基于丹顶鹤营巢生境保护的水量调配研究. *东北师大学报: 自然科学版*, 2009, 41(1): 105-111.
- [14] 吴娜, 宋晓谕, 康文慧, 邓晓红, 胡想全, 石培基, 刘玉卿. 不同视角下基于 InVEST 模型的流域生态补偿标准核算——以渭河甘肃段为例. *生态学报*, 2018, 38(7): 2512-2522.
- [15] 李丽. 滇金丝猴分布区植被特征与潜在生境模型. 北京: 中国大地出版社, 2009: 220-225.
- [16] Su X K, Han W Y, Liu G H. Potential priority areas and protection network for Yunnan snub-nosed monkey (*Rhinopithecus bieti*) in Southwest China. *Journal of Geographical Sciences*, 2019, 29(7): 1211-1227.
- [17] 代云川, 李丽, 吴巩固, 周跃, 李雯雯. 滇金丝猴分布区景观格局现状分析——基于全球 30m 地表覆盖数据. *资源开发与市场*, 2016, 32(1): 37-40, 45-45.
- [18] 邓凯, 李丽, 吴巩固, 周跃, 赵如. 景观空间格局对滇金丝猴猴群分布的影响. *生态学报*, 2014, 34(17): 4999-5006.
- [19] 薛亚东, 李丽, 李迪强, 吴巩固, 周跃, 吕玺喜. 基于景观遗传学的滇金丝猴栖息地连接度分析. *生态学报*, 2011, 31(20): 5886-5893.
- [20] 李雯雯, 李丽, 吴巩固, 张宇, 代云川, 周跃. 评估不同尺度下农牧地对滇金丝猴景观连接度的影响. *生态学报*, 2016, 36(24): 8136-8144.
- [21] 张宇, 李丽, 吴巩固, 周跃, 覃顺萍, 王小明. 基于生境斑块的滇金丝猴景观连接度分析. *生态学报*, 2016, 36(1): 51-58.
- [22] 梅泽文. 基于图论的滇金丝猴栖息地景观连通性动态研究. *林业调查规划*, 2018, 43(1): 52-56.
- [23] Li W W, Clauzel C, Dai Y C, Wu G S, Giraudoux P, Li L. Improving landscape connectivity for the Yunnan snub-nosed monkey through cropland reforestation using graph theory. *Journal for Nature Conservation*, 2017, 38: 46-55.
- [24] Clauzel C, Deng X Q, Wu G S, Giraudoux P, Li L. Assessing the impact of road developments on connectivity across multiple scales: application to Yunnan snub-nosed monkey conservation. *Biological Conservation*, 2015, 192: 207-217.
- [25] 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.
- [26] 李武, 李丽, 吴巩固, 周跃, 王鹤. 白马雪山国家级自然保护区景观动态变化研究. *海南师范大学学报: 自然科学版*, 2015, 28(3): 298-302, 320-320.
- [27] 王鹏, 况福民, 邓育武, 田亚平, 易锋. 基于主成分分析的衡阳市土地生态安全评价. *经济地理*, 2015, 35(1): 168-172.
- [28] 谢飞, 顾继光, 林彰文. 基于主成分分析和熵权的水库生态系统健康评价——以海南省万宁水库为例. *应用生态学报*, 2014, 25(6): 1773-1779.
- [29] Terrado M, Sabater S, Chaplin-Kramer B, Mandle L, Ziv G, Acuña V. Model development for the assessment of terrestrial and aquatic habitat

- quality in conservation planning. *Science of the Total Environment*, 2016, 540: 63-70.
- [30] Bhagabati N K, Ricketts T, Sulistyawan T B S, Conte M, Ennaanay D, Hadian O, McKenzie E, Olwero N, Rosenthal A, Tallis H, Wolny S. Ecosystem services reinforce Sumatran tiger conservation in land use plans. *Biological Conservation*, 2014, 169: 147-156.
- [31] 黄木易, 岳文泽, 冯少茹, 张嘉晖. 基于 InVEST 模型的皖西大别山区生境质量时空演化及景观格局分析. *生态学报*, 2020, 40(9): 2895-2906.
- [32] Lindenmayer D, Hobbs R J, Montague-Drake R, Alexandra J, Bennett A, Burgman M, Cale P, Calhoun A, Cramer V, Cullen P, Driscoll D, Fahrig L, Fischer J, Franklin J, Haila Y, Hunter M, Gibbons P, Lake S, Luck G, MacGregor C, McIntyre S, Nally R M, Manning A, Miller J, Mooney H, Noss R, Possingham H, Saunders D, Schmiegelow F, Scott M, Simberloff D, Sisk T, Tabor G, Walker B, Wiens J, Woinarski J, Zavaleta E. A checklist for ecological management of landscapes for conservation. *Ecology Letters*, 2008, 11(1): 78-91.
- [33] 冯舒, 孙然好, 陈利顶. 基于土地利用格局变化的北京市生境质量时空演变研究. *生态学报*, 2018, 38(12): 4167-4179.
- [34] Li H P, Qi Y N, Qu Y Y. Use a spatial analysis model to assess habitat quality in lashiwei watershed. *Journal of Resources and Ecology*, 2018, 9(6): 622-631.
- [35] 杨海军, 李营, 洪运富, 朱海涛. 县域尺度生物多样遥感监测与评价研究. *遥感技术与应用*, 2015, 30(6): 1138-1145.
- [36] Czech B, Krausman P R, Devers P K. Economic associations among causes of species endangerment in the United States: associations among causes of species endangerment in the United States reflect the integration of economic sectors, supporting the theory and evidence that economic growth proceeds at the competitive exclusion of nonhuman species in the aggregate. *BioScience*, 2000, 50(7): 593-601.
- [37] Brewer M J, Deleon L, Esquivel I L. Geographic information system (GIS)-based mapping and spatial analyses applied to risk assessment and resource allocation for boll weevil (Coleoptera: Curculionidae) detection. *Annals of the Entomological Society of America*, 2020, 113(2): 71-78.
- [38] 翟健, 金晓春. 城市规划中的 GIS 空间分析方法. *城市规划*, 2014, 38(S2): 130-135.
- [39] 张刚, 杨昕, 汤国安. GIS 软件的空间分析功能比较. *南京师范大学学报: 工程技术版*, 2013, 13(2): 41-47.