

DOI: 10.5846/stxb202101010003

管超毅, 陈智, 黄乘明, 周岐海. 广西黑叶猴栖息地景观格局破碎化分析及其对种群的影响. 生态学报, 2022, 42(3): 1203-1212.

Guan C Y, Chen Z, Huang C M, Zhou Q H. Analysis of fragmentation in landscape pattern for the François' langur's habitats in Guangxi and its influence on population. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(3): 1203-1212.

广西黑叶猴栖息地景观格局破碎化分析及其对种群的影响

管超毅¹, 陈智¹, 黄乘明², 周岐海^{1,*}

¹ 广西师范大学, 珍稀濒危动植物生态与环境保护教育部重点实验室, 广西珍稀濒危动物生态学重点实验室, 桂林 541004

² 中国科学院动物研究所, 北京 100101

摘要: 黑叶猴 (*Trachypithecus francoisi*) 是仅分布于喀斯特石山生境的珍稀濒危灵长类动物。由于非法捕杀和人类活动干扰, 其种群数量正在急剧减少。同时, 随着森林砍伐和土地开垦的加速, 其栖息地严重破碎化。因此, 了解栖息地破碎化对黑叶猴种群的影响对于保护这一珍稀濒危物种具有重要意义。基于遥感影像、土地利用数据以及黑叶猴种群调查数据, 通过 Fragstats 软件开展广西黑叶猴栖息地景观破碎化分析, 并通过相关性和多元逐步回归分析, 探讨了景观格局对广西黑叶猴种群数量的影响。结果表明: (1) 广西黑叶猴栖息地呈现破碎化严峻、斑块形状复杂化、斑块团聚程度较弱且分散化的现象; 栖息地以林地景观占据重要优势, 但人为景观的干扰十分强烈; 在不同地区中, 生境破碎化程度、人为干扰强度以及景观配置均呈现不同的特征, 其中扶绥地区人为干扰最为强烈, 德保地区的景观块数破碎化程度较为严重, 而龙州地区的人为干扰程度最小, 其森林景观最为聚集。(2) 蔓延度指数、平均斑块分维指数、林地面积、林地斑块大小、裸岩面积和裸岩面积比重等景观指数与黑叶猴种群数量有显著正向关系, Shannon 多样性指数则是显著负向关系; 而耕地面积、耕地面积占比、居民地面积以及居民地面积占比等具有人为干扰性质的景观指数对黑叶猴种群数量没有显著相关性。(3) 多元逐步回归分析表明, 林地面积的大小是影响广西黑叶猴种群数量关键因子, 其次是平均斑块分维指数。因此, 在保护规划工作中应该根据黑叶猴分布区的森林覆盖率、破碎化程度、生境连通度以及景观配置情况进行生态恢复, 同时也应结合保护区的实际情况进行调整。

关键词: 黑叶猴; 喀斯特生境; 景观格局; 破碎化

Analysis of fragmentation in landscape pattern for the François' langur's habitats in Guangxi and its influence on population

GUAN Chaoyi¹, CHEN Zhi¹, HUANG Chengming², ZHOU Qihai^{1,*}

¹ Key Laboratory of Ecology of Rare and Endangered Species and Environmental Protection, Ministry of Education, Guangxi Key Laboratory of Rare and Endangered Animal Ecology, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China

² Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract: The François' langur (*Trachypithecus francoisi*) is an endangered primate species that is restricted to habitats characterized by karst topography. Because of illegal hunting and disturbance by human activities, its population decreases dramatically. Moreover, its habitats become severely fragmented as results of the acceleration of deforestation and land reclamation. Therefore, it is important to understand the influence of habitat fragmentation on the François' langur population, which will provide key information for the conservation of this rare and endangered species. In this study, based on remote sensing images, land-use data, and the François' langur population survey data, we conducted landscape fragmentation analysis of the François' langur habitat in Guangxi by Fragstats software. We also explored the influences of

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31870514, 31670400); 广西自然科学基金项目 (2019GXNSFDA245021)

收稿日期: 2021-01-01; 网络出版日期: 2021-10-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhouqh@ioz.ac.cn

landscape pattern on the population of François' langurs in Guangxi by correlation analysis and multiple stepwise regression analysis. The results showed that the landscape pattern of the François' langur habitats in Guangxi presented severe fragmentation, complex patch shapes, weak patch aggregation, and decentralization. The woodland landscape still made an important contribution to the langur habitats, but the anthropogenic landscape interference was very strong. There were different characteristics in the degree of habitat fragmentation, the intensity of human disturbance, and the distribution of landscapes in different areas. The Fusui area had the strongest human disturbance, and the Debao area had a more severe degree of fragmentation, while the Longzhou area had the least anthropogenic disturbance and its forest landscape was the most aggregated. There were significantly and positively relationships between Contagion Index, Mean Patch Fractal Dimension, Woodland Area, Woodland Patch Size, Bare Rock Area and Bare Rock Percentage of Landscape and the population of François' langurs, whereas Shannon Diversity Index was significantly and negatively related to the population of François' langurs. However, there was no significant correlation between artificial landscape indices, such as Cultivated Land Area, Percentage of Cultivated Land Residential Land Area, Percentage of Residential Land Area and the population of the François' langur. Based on the results of the multiple stepwise regression analysis, Woodland Area was key factors influencing the population of the François' langur in Guangxi, followed by Mean Patch Fractal Dimension. Therefore, the managers should carry out different types of ecological restoration according to the forest coverage, fragmentation degree, and landscape configuration in the distribution area of the François' langur. At the same time, managers should develop a reliable conservation plan based on the actual situation of the nature reserve.

Key Words: François' langur (*Trachypithecus francoisi*); karst habitat; landscape pattern; fragmentation

生境破碎化一直被认为是造成生物多样性丧失的主要原因之一,它通过减少生物量和改变养分循环的方式,使全球 27% 的哺乳动物物种面临灭绝的威胁^[1-2]。生境破碎化不仅影响栖息地数量和构造,而且还导致适宜生境不再连续,物种的迁移、扩散和交流也会因此受到限制^[1-2]。当前,工业建设和农业扩张等人类活动已经改变了 50% 以上的原始陆地覆盖,大部分野生动物栖息地破碎化日趋严重^[2]。对于灵长类动物和其他大型哺乳动物而言,它们更依赖于完整森林生态系统来获取生存所需要的食物和安全场所,栖息地破碎化更容易对这些物种的健康产生一系列连锁反应,并增加种群局部灭绝的可能性^[3]。

从生物多样性保护实践来看,物种的保护既要考虑目标物种本身,还要考虑它所在的生态系统及有关生态过程^[4]。因此,了解景观空间格局如斑块数量,边缘长度,破碎程度等对于物种及其生态过程的影响具有重要意义。景观空间格局即景观格局,是大小、形状、属性各异的景观要素在空间上的分布和配置,它表现为不同类型的景观斑块在空间上随机、均匀或聚集分布^[5]。景观格局分析是研究栖息地破碎化对生物多样性响应的重要方法之一^[6],能够有效反映栖息地的环境质量^[7]、栖息地适宜性的动态变化^[8]、种群对栖息地破碎化的响应^[9]。目前,国内外众多学者利用景观空间格局分析栖息地破碎化对物种的影响,如川金丝猴 (*Rhinopithecus roxellana*)^[10]、绢毛猴 (*Saguinus bicolor*)^[11]、黑白仰鼻猴 (*R. bieti*)^[12]。

黑叶猴 (*Trachypithecus francoisi*) 属灵长目 (*Primates*)、猴科 (*Cercopithecidae*)、疣猴亚科 (*Colobinae*)、乌叶猴属 (*Trachypithecus*), 为我国 I 级重点保护野生动物,在中国脊椎动物红色名录中列为濒危动物 (endangered, EN),其主要分布在中国西南部和越南北部的热带和亚热带喀斯特地区^[13]。黑叶猴曾广泛分布于我国的广西、贵州、重庆。然而,黑叶猴的生存和繁衍受到了前所未有的挑战,非法捕杀和森林砍伐等人类活动导致其种群数量和栖息地面积呈现断崖式下降。尤其在广西,20 世纪 90 年代中期,黑叶猴种群数量从 20 世纪 80 年代的 4500—5000 只减少至 90 年代的 2000—2500 只,其适宜栖息地零散分布在 15 个自然保护区中。21 世纪初,广西黑叶猴种群数量急剧减少至 44 群 307 只^[14-15]。目前学者已开展栖息地破碎化对黑叶猴行为生态的影响,主要集中在对觅食活动^[16-17]、生境利用^[18]等方面的影响,而针对生境破碎化评价以及破碎化对黑叶猴种群数量的影响等方面的研究还相对欠缺。因此,本文以广西黑叶猴为研究对象,结合景观格局与猴群数量关系进行深入分析,旨在探讨以下两个问题:(1)对黑叶猴栖息地的破碎化程度进行量化评估;(2)生境破碎化对黑叶猴种群数量的影响程度。以期为这一珍稀濒危物种的保护及自然保护区的管理提

供科学依据。

1 研究区域与对象

2003—2005 年, Li 等^[17] 基于前期访问调查的结果, 采用样线法结合小区蹲点调查法开展广西黑叶猴数量调查。本研究基于 Li 等^[17] 的调查结果, 选取 9 个黑叶猴主要分布区作为研究区域(图 1), 包括龙州县、扶绥县、隆安县(群圩)、德保县、靖西县(岳圩、南坡和新兴)、隆林县。研究区属于亚热带季风气候, 其热量充足, 降雨充沛, 雨热同期, 最冷月平均气温在 0℃ 以上, 最热月平均气温大于 22℃^[19-20]。大部分地区由石灰岩组成的山地和丘陵, 地貌主要为峰林谷地和峰丛洼地, 植被以亚热带常绿阔叶林为主^[19-20]。除广西弄岗国家级自然保护区外, 大部分黑叶猴分布区人为干扰严重, 许多山间平地被开垦为农业用地^[15, 19]。

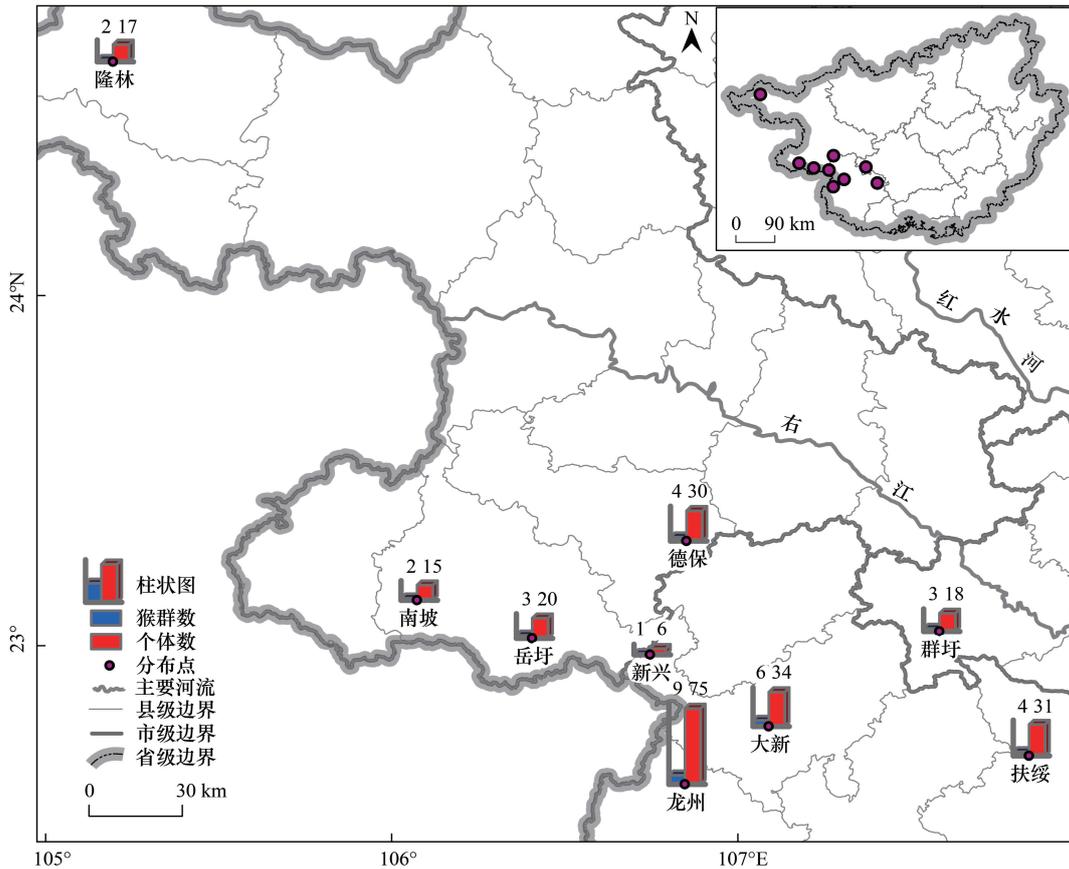


图 1 广西黑叶猴数量与分布位置

Fig.1 Number and distribution of François' langurs in Guangxi

黑叶猴分布区边界的划定主要依据以下原则:(1) 如果黑叶猴分布在保护区内, 依据保护区边界进行划定;(2) 如果遇到黑叶猴无法逾越的地理屏障(如河流), 依据这些地理屏障进行划定;(3) 依据喀斯特石山的走向及其边界进行划定。

2 研究方法

2.1 景观分类影像分类

基于 1999—2001 年的 Landsat TM 影像, 根据黑叶猴的生态习性, 以及考虑不同用地类型对其适宜程度, 利用 ERDAS IMAGINE 软件将研究区域分为 7 个基本景观类型: 林地、灌草丛、裸地、裸岩、农田、居民点、水体(包括泡沼、水湾、水库等)。

2.2 景观分析

结合景观指数的生态学含义^[8]、黑叶猴的生境特征以及参考相关研究^[21-22]选取景观指数,选用 15 个景观变量,其中包括 6 个景观水平和 9 个类型水平(表 1)。基于此,利用景观分析软件 FRAGSTATS 软件对研究区景观格局进行分析,探讨黑叶猴栖息地破碎化现状

表 1 景观格局与人为干扰的变量

Table 1 Variables of landscape pattern and human disturbance

景观尺度 Land scale	指数 Metrics	公式 Formula	描述 Description
景观水平 Landscape level	景观总面积 (TA)	$TA = \sum_{i=1}^n A_i$	式中, A_i 为某类景观的面积, i 为景观类别
	斑块平均大小 (MPS)	$MPS = \frac{TA}{N} \left(\frac{1}{10000} \right)$	式中, N 为斑块块数。MPS 在景观水平上等于景观总面积除以各个类型的斑块总数 (hm^2)。MPS 的取值范围: $MPS > 0$ 。一般认为 MPS 值越大景观连通性越好
	平均斑块分维指数 (MNFD)	$MNFD = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\frac{2 \ln(0.25 P_{ij})}{\ln(\alpha_{ij})} \right]}{N}$	式中, j 为斑块数量。平均斑块分维指数反映景观要素斑块的规则程度、边缘的复杂程度,其值越大斑块边界越简单破碎化程度越低,连通性越好。取值范围: $0 \leq MNFD \leq 2$
	蔓延度指数 (CONTAG)	$CONTAG = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[P_i \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right] \left[\ln \left(P_i \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right]}{\left[1 + \frac{\sum_{k=1}^m g_{ik}}{2 \ln(m)} \right]} \quad (100)$	式中, g_{ik} 为类型 i 和类型 k 之间相邻的网格单元数目; P_i 为 i 类型所占景观面积的比例。蔓延度指数 (%) 指不同斑块类型的聚集和延展程度。蔓延度取值范围: $0 < CONTAG \leq 100$, 其值越大越能表明景观中的某种优势斑块类型形成了良好的连接性
	Shannon 多样性 指数 (SHDI)	$SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i)$	Shannon 多样性指数反映了景观异质性,取值范围: $SIDI \geq 0$ 。SHDI 值越大越表明各斑块类型在景观中呈均衡化趋势分布,表现为景观中的土地利用越丰富,破碎化程度越高,其不定性的信息含量越大
	景观块数破碎化 指数 (FN)	$FN = (N_p - 1) / N_c$	式中, N_p 为各类斑块的总和; N_c 为景观数据矩阵的方格网中格子的总数。FN 描述景观中各类斑块总数与 1 的差除以景观数据矩阵的方格网中格子总数。景观中的斑块数量越多, FN 值就越大,它反映了景观中斑块数量程度。FN 取值范围为: $0 < FN < 1$
人为干扰指数 (HDI)	$HDI = \frac{A_{hum}}{A_{nat}}$	人类对黑叶猴栖息地干扰主要是农业活动、放牧、获取柴薪,而这些活动是与当地的人口息息相关的。人口越多,需要的农田和居民地面积就越多, HDI 可以代表人类对黑叶猴栖息地的干扰强度。取值范围: $0 \leq HDI < 1$	
类型水平 Class level	景观面积 (CA_i)	$CA_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10000} \right)$	CA_i 为某类斑块的总面积 (hm^2)。CA 值的大小制约着以此类斑块作为聚居地 (Habitation) 的物种的丰度、数量、食物链及其次生种的繁殖等
	景观面积占比 ($PLAND_i$)	$PLAND_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{TA} (100)$	$PLAND_i$ 为某一斑块类型的总面积占整个景观面积的百分比 (%), 是确定景观中优势景观元素的依据之一, 其决定景观中的生物多样性和优势种等生态系统指标的重要因素
	斑块平均大小 (MPS_i)	$MPS_i = \frac{A \sum_{j=1}^n a_{ij}}{N_i} \left(\frac{1}{10000} \right)$	MPS_i 在斑块级别上等于某一斑块类型的总面积除以该类型的斑块数目 (hm^2)。 MPS_i 的取值范围: $MPS_i > 0$

式中: TA 为景观总面积 Total landscape area; MPS 为斑块平均大小 Mean patch size; MNFD 为平均斑块分维指数 Mean patch fractal dimension; CONTAG 为蔓延度指数 Contagion index; SHDI 为 Shannon 多样性指数 Shannon's diversity index; FN 为景观块数破碎化指数 Fragmentation indices of patch number; HDI 为人为干扰指数 Human disturbance index; CA_i 为景观面积 Landscape area; $PLAND_i$ 为景观面积占比 Percentage of Landscape

2.3 统计分析

本研究使用 R 3.6.1 软件计算景观格局(不包括景观总面积)与黑叶猴个体数量的 Pearson 相关系数及其显著性检验,并利用多元逐步回归建模确定引起黑叶猴个体数量差异的关键因子,此外所有检验的差异显著

水平设定为 $P < 0.05$ 。

3 研究结果

3.1 景观分析

在景观水平上(表 2),平均斑块大小、平均斑块分维指数和蔓延度指数等格局指数的平均值分别为 18.73、1.3499 和 76.35。龙州的平均斑块大小、均斑块分维指数和蔓延度指数最大,分别为 32.18、1.3727 和 91.27;德保的平均斑块大小指数最小,为 10.26;而南坡的平均斑块分维指数和蔓延度指数最小,分别为 1.3319 和 71.11。Shannon 多样性指数和景观块数破碎化指数等格局指数的平均值分别为 0.83 和 0.00523(表 2)。群吁的 Shannon 多样性指数最大,为 0.98;德保的景观块数破碎化指数最大,为 0.0087;而龙州的 Shannon 多样性指数和景观块数破碎化指数等格局指数最小,分别为 0.27 和 0.0028。人为干扰指数的平均值为 0.29(表 2);其中龙州的人为干扰指数最小,为 0.01;而扶绥的人为干扰指数最大,为 0.65。而在各个分布区中,龙州的面积最大,其面积为 6821.39 hm^2 ;而新兴的面积最小,其面积为 1054.61 hm^2 ;面积大小排序为龙州>大新>扶绥>岳圩>隆林>南坡>德保>群吁>新兴。

表 2 广西黑叶猴栖息地景观水平上的景观格局分析

Table 2 Analysis of landscape pattern at landscape level in the habitat of the François' langur in Guangxi

分布区 Distribution	景观格局指数 Landscape pattern index						
	TA	MPS	MNFD	CONTAG	SHDI	FN	HDI
龙州	6821.39	32.18	1.3727	91.27	0.27	0.0028	0.01
扶绥	3703.37	16.1	1.3472	72.73	0.96	0.0056	0.65
大新	4974.72	20.39	1.3617	77.12	0.81	0.0044	0.31
群吁	1163.69	14.55	1.3556	72.24	0.98	0.0061	0.64
岳圩	2520.16	15	1.3473	73.15	0.95	0.006	0.2
南坡	2051.69	21.83	1.3319	71.11	0.83	0.0041	0.21
新兴	1054.61	20.68	1.3425	78.16	0.76	0.0043	0.24
德保	1528.75	10.26	1.3565	77.5	0.96	0.0087	0.25
隆林	2061.8	17.62	1.3341	73.84	0.93	0.0051	0.12
标准差 Standard deviation	32498.74	6.21	0.0131	6.14	0.22	0.00167	0.22
平均值 Average value	10665.86	18.73	1.3499	76.35	0.83	0.00523	0.29

在类型水平上(表 3),自然景观是主要的优势类型,其中林地景观具有绝对的优势,其面积占比的平均值为 71.50%;人为景观也有较高的比例,其中耕地面积占比的平均值为 20.25。黑叶猴的各分布区中,龙州地区的林地聚集,林地景观面积为 6423.32 hm^2 ,林地斑块平均大小为 2141.11 hm^2 ,拥有最大的林地景观。而群吁的林地景观面积仅为 641.12 hm^2 ,林地斑块平均大小仅为 64.11 hm^2 ,是最小的林地景观。而扶绥地区耕地密布,耕地面积为 1438.19 hm^2 ,其面积占比为 38.83%,是最大的耕地景观。人为景观影响最小的地区是龙州,其中耕地景观面积仅为 61.41 hm^2 ,其面积占比为 0.9%。

3.2 景观破碎化对黑叶猴种群的影响

从景观水平的景观格局与黑叶猴个体数量的相关分析表明(图 2):蔓延度指数和平均斑块分维指数与黑叶猴个体数量呈现显著正相关;Shannon 多样性指数与黑叶猴个体数量呈现显著负相关。斑块平均大小与黑叶猴个体数量呈现正相关,相关性接近于统计学显著水平,而黑叶猴个体数量与景观破碎化指数和人为干扰指数无显著相关性。可见黑叶猴对景观连通程度的好坏(蔓延度指数)有一定的要求。另外平均斑块分维指数和景观破碎化指数均反映了景观的破碎程度,但是它们对黑叶猴的响应并不一致。

表 3 广西黑叶猴栖息地类型水平的分析结果

Table 3 Results of the analysis of the Class level in the habitat of the François' langur in Guangxi

分布区 Distribution	林地景观 Wood			裸岩景观 Bare rock		耕地景观 Farmland		居民地景观 Settlement	
	CA	PLAND	MPS	CA	PLAND	CA	PLAND	CA	PLAND
龙州	6423.32	94.16	2141.11	285.33	4.18	61.41	0.9	0.65	0.01
扶绥	2032.63	54.89	75.28	71.93	1.94	1438.19	38.83	20.09	0.54
大新	3573.69	71.84	223.36	95.65	1.92	1128.71	22.69	38.6	0.78
群圩	641.12	55.1	64.11	15.58	1.34	443.7	38.13	12.08	1.04
岳圩	1816.98	72.1	90.85	80.04	3.18	415	16.47	8.69	0.35
南坡	1512.33	73.71	126.03	24.42	1.19	337.36	16.44	11.75	0.57
新兴	803.27	76.17	80.33	15.77	1.49	195.25	18.51	13.28	1.09
德保	1145.72	74.95	286.43	16.51	1.08	306.12	20.02	2.83	0.18
隆林	1455.04	70.57	181.88	6.74	0.33	212.18	10.29	0.01	0.05
标准差 Standard deviation	1816.63	11.72	671.01	87.99	1.17	463.39	12.13	11.95	0.40
平均值 Average value	2156.01	71.50	363.26	68.00	1.85	504.21	20.25	12.00	0.51

从类型水平的景观格局与黑叶猴个体数量的相关分析表明(图3):林地和裸岩等自然景观对黑叶猴有促进作用。其中林地景观面积、林地平均斑块大小、裸岩面积和裸岩面积占比与黑叶猴个体数量呈现显著正相关。而黑叶猴个体数量与耕地面积、耕地占比、居民地面积、居民地占比均无显著相关性。可知裸岩的景观格局与黑叶猴个体数量的相关性最强,裸岩景观有利于黑叶猴的生存。

将得到了5个景观水平的景观格局变量和9个类型水平的景观格局变量与黑叶猴个体数量(K)进行逐步回归分析(表4)经过模型自动识别,最终林地面积、居民地占比和平均斑块分维指在模型中,得到了“最优”模型: $K = -787.041 + 0.006 \times \text{林地景观面积} - 12.284 \times \text{居民地占比} + 598.354 \times \text{平均斑块分维指数}$ 。该模型 R 方值为 0.957,解释性优秀,拟合度效果较好。且模型通过 F 检验 ($F = 37.488, P = 0.001$),说明模型有效。林地景观面积的回归系数值为 0.006 ($t = 3.620, P = 0.015$),意味着林地景观面积会对黑叶猴个体数量产生显著的正向影响关系。居民地面积占比的回归系数值为 -12.284 ($t = -2.266, P = 0.073$),意味着居民地面积占比并不会对黑叶猴个体数量产生影响关系。平均斑块分维指的回归系数值为 598.354 ($t = 2.914, P = 0.033$),意味着平均斑块分维指(MNFD)会对黑叶猴个体数量产生显著的正向影响关系。

表 4 景观格局与黑叶猴种群数量的逐步回归分析

Table 4 Stepwise regression analysis of landscape pattern and the population of François' langurs

解释变量 Explanatory variable	非标准化系数 Unstandardized coefficients	标准误 Standard error	标准化系数 Standardized coefficients	t	P	方差膨胀系数 Variance inflation factor
常数 Constant	-787.041	273.807	-	-2.874	0.035	-
林地景观面积 Percentage of woodlands	0.006	0.002	0.545	3.620	0.015	2.663
居民地面积 Residential land area	-12.284	5.422	-0.247	-2.266	0.073	1.396
平均斑块分维指数 Mean Patch Fractal Dimension	598.354	205.346	0.393	2.914	0.033	2.138

分析结果表明:在景观水平上,平均斑块分维指数是主要造成黑叶猴个体数量差异的主要原因。在类型水平上,林地面积是主要造成黑叶猴个体数量差异的关键变量。从标准化系数 Beta 的绝对值来看,林地面积 > 平均斑块分维指 > 居民地占比。可见林地面积和平均斑块分维指对黑叶猴个体数量的影响尤为突出,而林地面积 > 的影响最强。

4 讨论

本研究对广西黑叶猴分布区进行景观格局分析,探究广西黑叶猴分布区的栖息地破碎化现状。在景观水

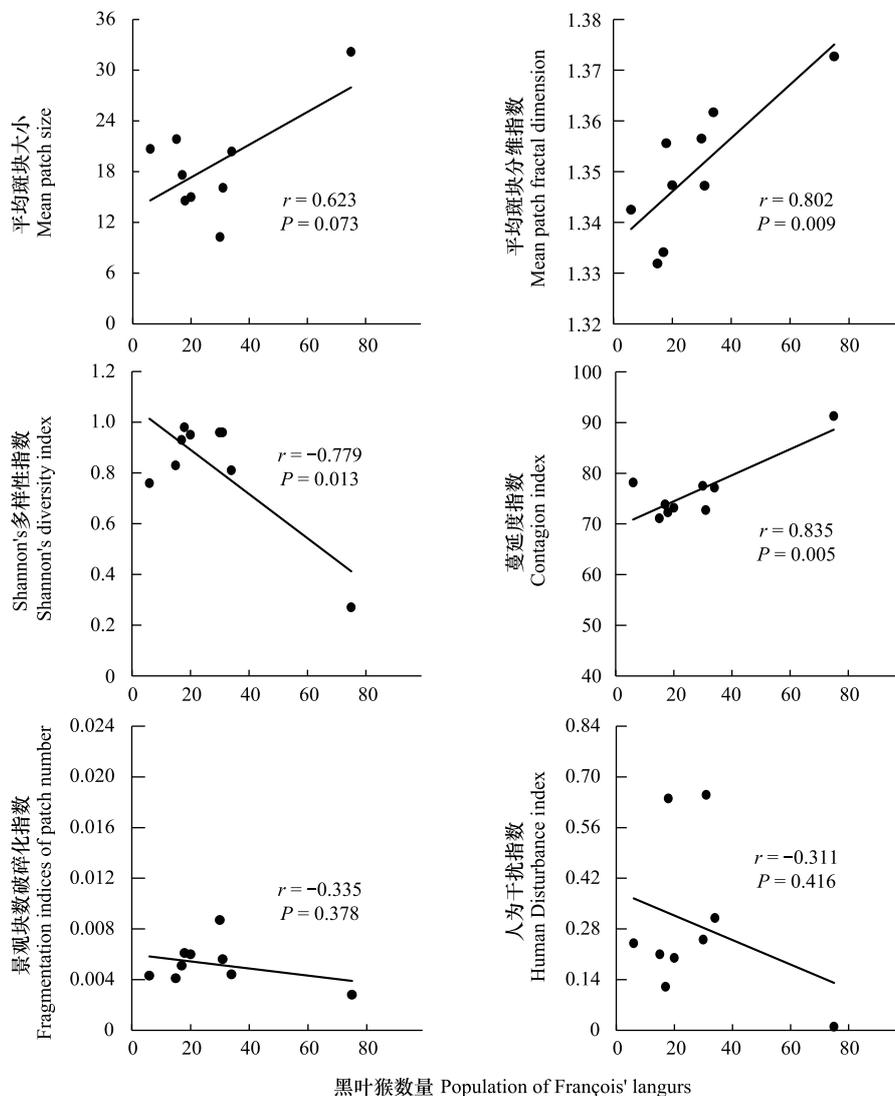


图 2 景观水平的景观格局指数与黑叶猴数量的相关性分析

Fig.2 Correlation analysis between landscape pattern and the population of François' langurs at the landscape scale

平上,除龙州外,黑叶猴栖息地呈现破碎度严峻、丰富度多元化、斑块形状复杂化、斑块团聚程度较弱且分散化的现象。研究表明,栖息地破碎化主要来自于自然和社会的双重影响^[22]。黑叶猴栖息地岩溶作用强烈,造就了地表破碎化;在地表破碎化的基础上人为干扰又造成的原生植被破碎化。随着社会的发展、人口增加,当地居民需要更多的耕地,而贫瘠的喀斯特地区土地难以提供更高的生产力,当地居民只好通过开垦山脊和坡地来扩大耕地面积以维持平衡^[17,23]。不合理的森林砍伐和农业开垦加剧了的黑叶猴栖息地破碎化,许多栖息地被大量的农耕地分隔开,其中扶绥地区尤为明显^[15-16]。在斑块类型水平上,黑叶猴在广西主要分布区的景观配置以林地景观占据主要优势,但各分布区的林地面积占比差异明显。这种差异主要是取决于人为干扰的强弱。除了岳圩和新兴以外,其他分布区均在自然保护区内,由于保护区的保护,其植被条件较好,灌草丛景观和人为干扰景观类型较少。然而很多保护区的并没有得到有效的管理,使得周边居民的生产活动尤其是资源利用、种养殖等经济行为对森林景观产生了不同程度的人为干扰^[23-24]。例如在南坡片区,虽然该地分布于南坡乡底定省级自然保护区附近,但保护区成立时间较晚,农户的保护意识依然薄弱,由于不合理耕作,大量的土地被荒废。而在岳圩和新兴等地由于地形复杂、山高谷深使得人为干扰活动较弱,即使不是在保护区内也能有很大的林地面积占比。

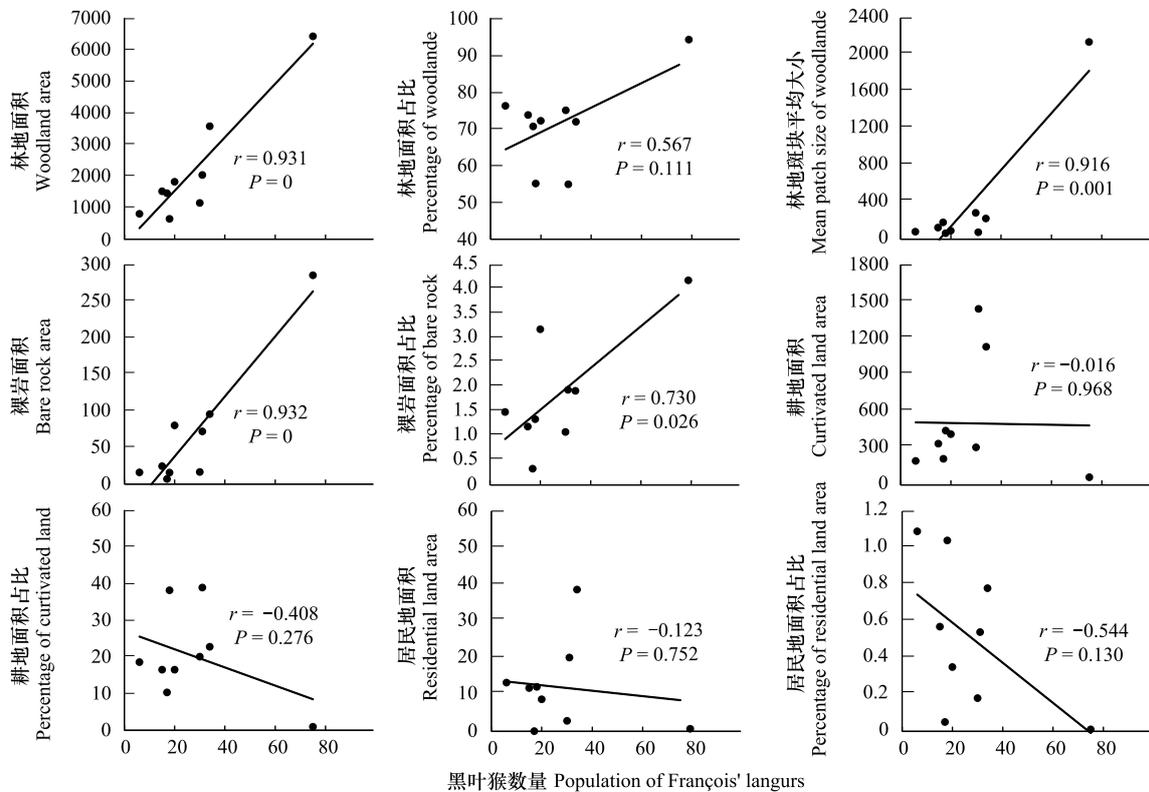


图3 类型水平的景观格局指数与黑叶猴数量的相关性分析

Fig.3 Correlation analysis between landscape pattern and the population of François' langurs at the Class level

景观格局与黑叶猴数量的相关性研究中发现:在景观水平上,Shannon 多样性指数对黑叶猴个体数量呈现负向效应,该结论表明栖息地的破碎化不利于黑叶猴的生存发展。研究表明,栖息地破碎化会沿着生境斑块的边界产生有害的边缘效应,随着生态条件的变化动物运动和基因流动将会受到限制,最后导致当地物种的减少^[1,10,25]。而蔓延度指数和平均斑块分维指数与黑叶猴个体数量呈现显著正相关,结果表明保持良好的景观连通性对黑叶猴的生存和繁衍具有重要意义。对于栖息地破碎化加剧的现状,许多国内外研究表明,提高景观的连通性有利于促进种群的迁移扩散、提高种群延续的可能,以避免种群的灭绝^[25]。例如 Macdonald 等利用 GIS 的分析框架为马来云豹 (*Neofelis diardi*) 构建合理的生态连通网络,以减弱栖息地破碎化的影响^[26]。Liu 等利用最小成本路径优化了川金丝猴的适宜栖息地的潜在连通性,以改善人为干扰和破碎化景观对物种的影响^[10]。然而,黑叶猴个体数量与景观破碎化指数并不存在显著相关性。生境破碎化是一个复杂过程,具有高度可变的影响,不同物种对生境破碎化的响应并不一致^[22,27]。Galán-Acedo 等^[27]总结分析景观结构对灵长类动物的影响,发现对其影响最大的景观组成(如森林覆盖度和景观质量指数),而不是景观配置(如破碎化指数)。因此,有必要从景观组成和景观配置全面评估生境破碎化对黑叶猴的影响^[27-28]。此外,黑叶猴个体数量与人为干扰指数并不存在显著相关性,这可能与黑叶猴种群密度较低有关,目前的栖息地仍能满足其生存的需求。

本研究发现,林地景观面积和林地平均斑块大小对黑叶猴个体数量产生显著的正效应。黑叶猴的食物来源主要是乔木和藤本以及少量的草本植物,宽阔林地能够为黑叶猴提供大量的隐蔽场所和食物选择^[29]。林地斑块大小直接影响了食物的可获得性和家域范围,较小的林地斑块可能造成食物资源的高度分散,黑叶猴必须花费更多的时间和能量去寻找更多食物,以达到能量平衡^[30]。Arroyo-Rodríguez 等分别对吼猴的选择偏好研究也发现面积较大森林对猴群更加有吸引力,较大栖息地面积会为动物捕食、栖息和生长繁殖提供更大的安全场所^[31]。灵长类动物依赖于具有完整的生物多样性的森林景观来获取营养均衡的饮食,非生境景观

的面积占比过大会改变了原有的营养均衡从而导致当地物种灭绝和生物数量的减少^[32]。此外,还发现裸岩面积和裸岩面积占比与黑叶猴数量产生显著正相关。黑叶猴是一种石山灵长类,主要栖息在陡峭的石山中,陡峭的石山可提供大量的遮盖物,以及更容易发现捕食者^[33]。

本研究通景观格局指数与黑叶猴个体数进行多元逐步回归建模,分析景观格局对黑叶猴数量的影响。其结果表明林地面积和平均斑块分维指数都对研究区的黑叶猴种群产生影响,但是林地面积对黑叶猴的影响更大。在破碎化景观中,黑叶猴的丰度主要是受到林地的影响,同时景观空间格局需要有良好的连通性以保证黑叶猴能顺畅地在斑块间移动。研究栖息地破碎化和森林退化对灵长类的影响,即要考虑景观属性也需要考虑景观空间格局^[28]。在森林地带中,林地面积限制了猴群的最大容纳量,因此,迁徙到新的栖息地是灵长类动物保持种群长久延续的有效策略,个体的迁移能防止在食物不足时导致的种群灭绝以及缓解种群内部的竞争压力^[28,34]。正如 Galán-Acedo 等研究发现,微小森林中的蜘蛛猿(*Ateles geoffroyi*)可能会被迫更频繁地使用基质进行觅食或迁徙^[34]。迁徙后的灵长类动物如果能从邻近的斑块中补充食物,它们就能在资源相对匮乏的生境中持续生存^[28,35]。Asensio 等发现吼猴(*Alouatta palliata Mexicana*)会穿过阻碍斑块到邻近的景观元素(孤立的树木、被隔离的山峰)中补充饮食,这些景观元素被视为其家域的潜在延伸^[36]。因此对于生态保护的相关从事人员,单单保护森林面积的范围是远远不够的,还应该考虑提高生境景观的连通性以降低森林破碎化对物种的影响。

由于广西黑叶猴各分布区的景观格局配置有明显差异,因此在进行保护规划时,应该有不同的侧重点。如果当地的栖息生境破碎程度严重,那么管理规划应集中在景观廊道的建立上以提高自然景观的连通性。但如果是分布区内森林覆盖率严重不足,则保护规划应优先考虑建立大型森林保护区和增加景观中森林覆盖率。此外也要加强公众保护意识宣传教育,对黑叶猴分布地区的当地农民灌输保护意识,普及野生动物保护法,使其充分认识保护黑叶猴和其他珍稀动植物及其栖息地的重要性。

参考文献 (References):

- [1] Wilson M C, Chen X Y, Corlett R T, Didham R K, Ding P, Holt R D, Holyoak M, Hu G, Hughes A C, Jiang L, Laurance W F, Liu J J, Pimm S L, Robinson S K, Russo S E, Si X F, Wilcove D S, Wu J G, Yu M J. Habitat fragmentation and biodiversity conservation: key findings and future challenges. *Landscape Ecology*, 2016, 31(2): 219-227.
- [2] 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.
- [3] Barelli C, Albanese D, Donati C, Pindo M, Dallago C, Rovero F, Cavaliere D, Tuohy K M, Hauffe H C, De Filippo C. Habitat fragmentation is associated to gut microbiota diversity of an endangered primate: implications for conservation. *Scientific Reports*, 2015, 5: 14862.
- [4] Rattis L, Dobrovolski R, Talebi M, Loyola R. Geographic range-scale assessment of species conservation status: a framework linking species and landscape features. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 2018, 16(2): 97-104.
- [5] Wiens J A, Stenseth N C, Van Horne B, Ims R A. Ecological mechanisms and landscape ecology. *Oikos*, 1993, 66(3): 369-380.
- [6] Liu J, Wilson M, Hu G, Liu J, Wu J, Yu M. How does habitat fragmentation affect the biodiversity and ecosystem functioning relationship?. *Landscape ecology*, 2018, 33(3): 341-352.
- [7] Chu L, Sun T C, Wang T W, Li Z X, Cai C F. Evolution and prediction of landscape pattern and habitat quality based on CA-Markov and InVEST model in Hubei section of Three Gorges Reservoir Area (TGRA). *Sustainability*, 2018, 10(11): 3854.
- [8] Abdolalizadeh Z, Ebrahimi A, Mostafazadeh R. Landscape pattern change in Marakan protected area, Iran. *Regional Environmental Change*, 2019, 19(6): 1683-1699.
- [9] Steffens T S, Lehman S M. Lemur species-specific metapopulation responses to habitat loss and fragmentation. *PLoS One*, 2018, 13(5): e0195791.
- [10] Liu F, McShea W J, Li D Q. Correlating habitat suitability with landscape connectivity: a case study of Sichuan golden monkey in China. *Ecological Modelling*, 2017, 353: 37-46.
- [11] Farias I P, Santos W G, Gordo M, Hrbek T. Effects of forest fragmentation on genetic diversity of the Critically Endangered primate, the pied tamarin (*Saguinus bicolor*): implications for conservation. *Journal of Heredity*, 2015, 106 Suppl 1: 512-521.
- [12] Xia W C, Zhang C, Zhuang H F, Ren B P, Zhou J, Shen J, Krzton A, Luan X F, Li D Y. The potential distribution and disappearing of Yunnan

- snub-nosed monkey; influences of habitat fragmentation. *Global Ecology and Conservation*, 2020, 21: e00835.
- [13] 王应祥, 蒋学龙, 冯庆. 中国叶猴类的分类、现状与保护. *动物学研究*, 1999, 20(4): 306-315.
- [14] 吴名川. 广西灵长类动物的种类分布及数量估计. *兽类学报*, 1983, 3(1): 16.
- [15] Li Y B, Ding P, Huang C M, Jiang P P, Wood C. Dietary response of a group of François' Langur *Trachypithecus francoisi* in a fragmented habitat in the county of Fusui, China: implications for conservation. *Wildlife Biology*, 2009, 15(2): 137-146.
- [16] 周岐海, 蔡湘文, 黄乘明. 黑叶猴对广西扶绥破碎生境的选择和利用. *动物学研究*, 2010, 31(4): 421-427.
- [17] Li Y B, Huang C M, Ding P, Tang Z, Wood C. Dramatic decline of François' langur *Trachypithecus francoisi* in Guangxi province, China. *Oryx*, 2007, 41(1): 38-43.
- [18] 黄乘明, 周岐海, 李友邦. 黑叶猴的行为生态与保护生物学. 上海: 上海科学技术出版社, 2018.
- [19] 宋同清. 西南喀斯特植物与环境. 北京: 科学出版社, 2015.
- [20] Anzures-Dadda A, Manson R H. Patch- and landscape-scale effects on howler monkey distribution and abundance in rainforest fragments. *Animal Conservation*, 2007, 10(1): 69-76.
- [21] Arroyo-Rodríguez V, González-Perez I M, Garmendia A, Soló M, Estrada A. The relative impact of forest patch and landscape attributes on black howler monkey populations in the fragmented Lacandona rainforest, Mexico. *Landscape Ecology*, 2013, 28(9): 1717-1727.
- [22] Hu G, Dong X, Wei Y, Zhu Y, Duan X H. Evidence for a decline of François' langur *Trachypithecus francoisi* in Fusui Nature Reserve, south-west Guangxi, China. *Oryx*, 2004, 38(1): 48-54.
- [23] Deng H Q, Cui H T, Zhao Q S, Pan R L, Zhou J, Lan A J. Constrained François' langur (*Trachypithecus francoisi*) in Yezhong nature reserve, Guizhou, China. *Global Ecology and Conservation*, 2019, 19: e00672.
- [24] Fahrig L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2003, 34: 487-515.
- [25] Sork V L, Smouse P E. Genetic analysis of landscape connectivity in tree populations. *Landscape Ecology*, 2006, 21(6): 821-836.
- [26] Macdonald D W, Bothwell H M, Hearn A J, Cheyne S M, Haidir I, Hunter L T B, Kaszta Z, Linkie M, Macdonald E A, Ross J, Cushman S A. Multi-scale habitat selection modeling identifies threats and conservation opportunities for the Sunda clouded leopard (*Neofelis diardi*). *Biological Conservation*, 2018, 227: 92-103.
- [27] Galán-Acedo C, Arroyo-Rodríguez V, Cudney-Valenzuela S J, Fahrig L. A global assessment of primate responses to landscape structure. *Biological Reviews*, 2019, 94(5): 1605-1618.
- [28] Marsh L K, Chapman C A. *Primates in Fragments: Complexity and Resilience*. New York: Springer, 2013.
- [29] Liu J, Bhumpakphan N. Comparison of activity budgets, diet, and habitat utilization between provisioned and wild groups of the François' Langur (*Trachypithecus francoisi*) in Mayanghe national nature reserve, China. *Folia Primatologica*, 2020, 91(1): 15-30.
- [30] Hendershott R, Rawson B, Behie A. Home range size and habitat use by cat Ba Langurs (*Trachypithecus poliocephalus*) in a disturbed and fragmented habitat. *International Journal of Primatology*, 2018, 39(4): 547-566.
- [31] Arroyo-Rodríguez V, Mandujano S, Benítez-Malvido J. Landscape attributes affecting patch occupancy by howler monkeys (*Alouatta palliata mexicana*) at Los Tuxtlas, Mexico. *American Journal of Primatology*, 2008, 70(1): 69-77.
- [32] Arroyo-Rodríguez V, Fahrig L. Why is a landscape perspective important in studies of primates? *American Journal of Primatology*, 2014, 76(10): 901-909.
- [33] Li Y H, Huang Z H, Zhou Q H, Ma G Z, Huang C M. Daily activity pattern in Assamese macaques inhabiting limestone forest, southwest Guangxi, China. *Global Ecology and Conservation*, 2019, 20: e00709.
- [34] Galán-Acedo C, Arroyo-Rodríguez V, Estrada A, Ramos-Fernández G. Forest cover and matrix functionality drive the abundance and reproductive success of an endangered primate in two fragmented rainforests. *Landscape Ecology*, 2019, 34(1): 147-158.
- [35] Fan P-F, Fei H-L, Luo A-D. Ecological extinction of the Critically Endangered northern white-cheeked gibbon *Nomascus leucogenys* in China. *Oryx*, Cambridge University Press, 2014, 48(1): 52-55.
- [36] Asensio N, Arroyo-Rodríguez V, Dunn J C, Cristóbal-Azkarate J. Conservation value of landscape supplementation for howler monkeys living in forest patches. *Biotropica*, 2009, 41(6): 768-773.