

DOI:10.13870/j.cnki.stbxb.2025.04.012

CSTR:32310.14.stbxb.2025.04.012

贾天朝,文琦,施琳娜,等.生态安全格局视角下三江源国家公园地质灾害危险性[J].水土保持学报,2025,39(4):109-117.

JIA Tianchao, WEN Qi, SHI Linna, et al. Risk assessment of geological hazards of the Three-River-Source National Park from the perspective of ecological security pattern[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2025, 39(4):109-117.

生态安全格局视角下三江源国家公园地质灾害危险性

贾天朝¹, 文琦^{2,3,4}, 施琳娜^{3,4}, 吴昕燕⁵, 丁金梅³

(1. 宁夏大学民族与历史学院, 银川 750021; 2. 宁夏大学建筑学院, 银川 750021; 3. 宁夏大学地理科学与规划学院, 银川 750021; 4. 宁夏大学乡村振兴研究院乡村治理中心, 银川 750021; 5. 宁夏大学工程与地理学部, 银川 750021)

摘要: [目的] 定量评估三江源国家公园地质灾害危险性空间分布状况, 探究其对生态安全格局的影响, 为区域减灾防灾和国土空间规划调整提供对策。[方法] 基于 GIS 与信息量模型, 从地质灾害孕育和诱发角度选取 12 个评价因子, 对三江源国家公园地质灾害危险性进行评价, 并结合生态安全格局构建廊道与优化分区进行分析。[结果] 1) 三江源国家公园地质灾害高危险、极高危险区面积为 25 614.32 km², 占 20.81%。2) 三江源国家公园地质灾害发生的主控孕灾和诱发因子分别是坡度(信息量值为 6.238 52)和距农村居民点距离(13.270 66), 人类活动与地质灾害间存在较高的敏感性。3) 识别生态源地面积为 26 833 km², 提取生态廊道 55 条(6 080.15 km), 识别核心保护区(39 613.58 km²)、生态保育区(67 261.84 km²)、游憩展示区(10 143.44 km²)、传统利用区(6 081.34 km²)等功能区域。4) 三江源国家公园生态安全格局受地质灾害影响较大, 主要影响的区域为长江源园区(65.30%)、澜沧江源园区(77.90%)的核心保护区和黄河源园区(88.97%)的传统利用区, 黄河源园区是廊道风险性最高的园区。[结论] 三江源国家公园地质灾害对生态安全格局的影响空间差异明显, 应当分区分类采取相应防治措施。

关键词: 地质灾害; 危险性评估; 信息量模型; 生态安全格局; 三江源国家公园

中图分类号: P694.1; X321

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2025)04-0109-09

Risk Assessment of Geological Hazards of the Three-River-Source National Park from the Perspective of Ecological Security Pattern

JIA Tianchao¹, WEN Qi^{2,3,4}, SHI Linna^{3,4}, WU Xinyan⁵, DING Jinmei³

(1. School of Ethnology and Historiography, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. School of Architecture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 3. School of Geographic Sciences and Planning, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 4. Rural Governance Center of the Rural Revitalization Research Institute, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 5. Faculty of Engineering and Geography, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: [Objective] This study aimed to quantitatively assess the spatial distribution of geologic hazards in the Three-River-Source National Park, explore their impact on the ecological security pattern, and provide countermeasures for regional disaster mitigation and prevention and land-use planning adjustment. [Methods] Based on GIS and the information value model, 12 assessment factors were selected from the perspective of disaster preparation and induction of geological disasters to assess the geological disaster risk of the Three-River-Source National Park, and analyze it in combination with the construction of ecological corridors and optimization of ecological security pattern. [Results] 1) The area of high-risk and extremely high-risk geological hazards of the Three-River-Source National Park is 25 614.32 km², accounting for 20.81% of the total area. 2) The main controlling disaster-forming and disaster-inducing factors of geological disasters of the Three-River-Source National Park are slope (information value=6.238 52) and distance from rural residential areas (information

收稿日期: 2024-11-24

修回日期: 2025-03-07

录用日期: 2025-04-11

网络首发日期(www.cnki.net): 2025-05-21

资助项目: 国家自然科学基金项目(42271221, 42061037); 宁夏自然科学基金项目(2023 AAC03 099)

第一作者: 贾天朝(1998—), 男, 博士研究生, 主要从事民族地区生态经济与资源开发研究。E-mail: jtc2517528185@163.com

通信作者: 文琦(1979—), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事能源经济与区域发展研究。E-mail: wenq98@163.com

http://stbxb.alljournal.com.cn

value=13.270 66)。There is a high correlation between geological disaster sensitivity and human activities. 3) The identified area of ecological sources is 26 833 km², with 55 ecological corridors extracted (6 080.15 km²). Functional zones include core protected areas (39 613.58 km²), ecological conservation areas (67 261.84 km²), recreation and display areas (10 143.44 km²), and traditional utilization areas (6 081.34 km²), etc. 4) The ecological security pattern of the Three-River-Source National Park is greatly affected by geological disasters. The main affected areas are the core protected areas of the Yangtze River Source Park (65.30%), the Lancang River Source Park (77.90%), and the traditional utilization area of the Yellow River Source Park (88.97%). The Yellow River Source Park is the park with the highest risk in the corridor. [Conclusion] There are obvious spatial differences in the impact of geological hazards on the ecological security pattern in the Three-River-Source National Park, and corresponding preventive and control measures should be taken in a zoned and categorized manner.

Keywords: geological hazards; risk assessment; information value model; ecological security pattern; Three-River-Source National Park

Received: 2024-11-24

Revised: 2025-03-07

Accepted: 2025-04-11

Online(www.cnki.net): 2025-05-21

中国是世界上地质灾害最严重的国家之一,频发的地质灾害对人民的生命安全和生产生活产生较大威胁^[1]。青藏高原作为我国西部典型的高山峡谷地貌区,地质活动强烈,构造复杂,是我国地质灾害高发区,区域内发生的“5·12”汶川地震和“4·14”玉树地震灾害影响较大^[2]。因此,开展地质灾害危险性评价,对于地质灾害监测、预警、防治和保障地区生态安全水平具有重要意义^[3-4]。

近年来,基于地质灾害危险性已有大量的评价研究,并取得较为丰富的研究成果。研究对象涉及海域^[5]、流域^[6]、矿山^[7]、库区^[8]、铁路^[9]、公路^[10]等多种类型,研究尺度涵盖省域^[11]、市域^[12]、区县^[13]等多个等级。在梳理相关已有的研究成果中,学者们的研究还存在2点不足之处:一是多数学者对于地质灾害危险性的研究仅停留在简单的评价划分阶段,而对地质灾害的具体危险性影响及防治,缺乏进一步的延伸和思考;二是对于国家公园等重要类型区域地质灾害危险性评价研究成果不足,仍需进一步关注。建立国家公园是建设全国生态文明制度、保障全国生态安全水平的重要举措^[14]。目前,国家公园面临着生态安全格局构建和国土空间规划优化的重要任务和重大需求。生态安全格局构建以“生态源地-生态阻力面-生态廊道”为基本模式^[15]。其中,生态源地在生态安全格局构建中处于基础地位。胡西武等^[16]从生态敏感性与景观连通性的角度构建并优化三江源国家公园生态安全格局,为三江源国家公园的规划调整提供重要参考;王晓峰等^[17]从生态系统服务的角度构建三江源生态安全格局,并划定“三

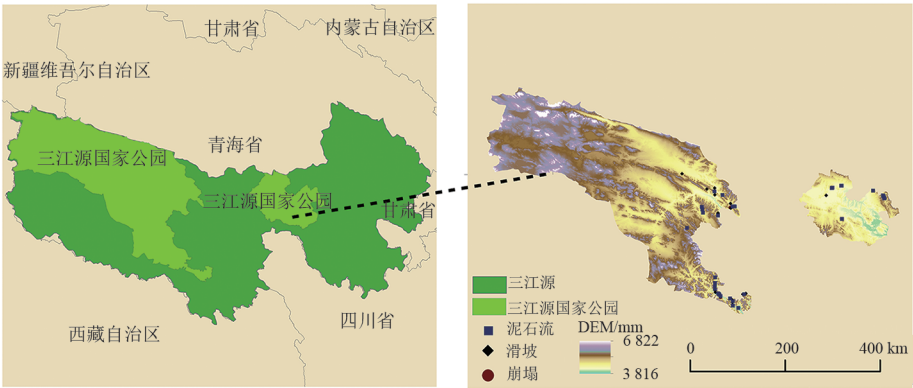
区三带多点”的生态安全格局建设策略。虽然部分学者已经针对三江源地区生态安全格局开展相关研究,但均未将地质灾害因子纳入考虑之中。而对灾害频发、生态脆弱的三江源国家公园地区,地质灾害因素是生态安全构建与优化不容忽视的重要因素^[18]。

本研究以三江源国家公园为研究区域,运用GIS与信息量模型相结合的方法进行地质灾害危险性评价,形成地质灾害危险性分区。在此基础上,将三江源国家公园地质灾害危险性分区与生态安全格局构建廊道与优化分区叠加分析,并有针对性地进行防治,以期三江源国家公园减灾防灾和国土空间规划调整提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

三江源国家公园地处青藏高原腹地,被誉为“三江之源”和“中华水塔”,是亚洲、北半球乃至全球气候变化的敏感区和重要启动区^[19]。2020年园区试点规划面积123 100 km²,平均年降水量为457.8 mm,植被覆盖率在74%以上。园内以山原和高山峡谷地貌为主,平均海拔4 500 m以上,土层薄且质地粗糙,主要由细沙、粗砂、岩屑和砾石组成,冻融侵蚀作用强烈。复杂的地形地貌加上气候的冷热干湿变化大,使得区域内滑坡和泥石流等地质灾害发生的频率较高。近年来,随着气候变化加剧,进一步增加区域的地质灾害风险。目前园区内地质灾害点共61处,其中,泥石流灾点42处,滑坡灾点16处,崩塌灾点3处(图1)。



注:基于标准地图服务系统下载的审图号GS(2024)0650号的标准地图制作,底图未做修改。下同。

图 1 三江源国家公园区位

Fig. 1 Location map of the Three-River-Source National Park

1.2 数据来源

本研究基准年为 2020 年,主要数据包括 DEM、土地利用、断层、降水、地质灾害点等数据。其中,DEM 数据(分辨率为 30 m)来源于地理空间数据云,该数据经过严格的质量控制,具有较高的可靠性,适用于中小尺度的地理分析;断层数据来源全国 1:250 万数字地质图数据库,该数据由专业地质机构编制,数据经过多次验证,可靠性较高;岩性数据来源于 SAYRE 等^[20]研究成果(分辨率为 250 m),该数据被广泛应用于地质评价相关研究;降雨数据来自国家青藏高原科学数据中心(分辨率为 1 000 m);植被覆盖数据(FVC)数据基于 landsat 8 遥感影像利用像元二分法制作完成,像元二分法是一种成熟的植被覆盖估算方法,数据可靠性较高;土地利用(分辨率为 30 m)、地质灾害点数据均来源于中国科学院资源环境科学与数据中心;道路数据来源于 OSM 矢量道路数据集,该数据集覆盖范围较广,应用较为广泛;农村居民点数据来源于根据高德、百度地图获取的 POI 数据集。所有数据统一投影为 WGS_1 984_UTM_Zone_47 N,分辨率重采样为 30 m×30 m。

1.3 地质灾害危险性评价方法

1.3.1 评价因子选取 地质灾害受到多种因素影响,本文参考相近区域已有研究^[13,21-22]成果,从孕灾和诱发 2 个方面出发,综合考虑地形地貌、地质、气候、水文、环境、人类活动等方面,选取高程、坡度、坡向、起伏度、曲率、距断裂带距离、地层岩性、年降雨量、距河流距离、FVC(植被覆盖率)等 10 个孕灾因子及土地利用类型、距道路距离、距农村居民点距离等 3 个诱发因子。为保证评价的准确性,需要对评价指标体系中各因子进行相关性分析以确保因子间具有相对独立性^[23]。采用 Pearson 相关系数分析评价因子间的相关性,将相关系数>0.5 的地形起伏度因子

剔除(图 2)。最终构建形成三江源国家公园地质灾害危险性评价指标体系(表 1),对三江源国家公园地质灾害危险性进行评估。

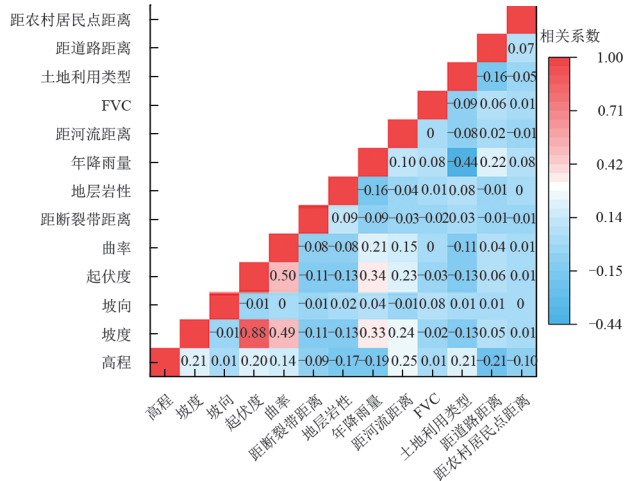


图 2 三江源国家公园地质灾害危险性评价因子相关性

Fig. 2 Correlation analysis of geological hazard risk assessment factors of the Three-River-Source National Park

表 1 三江源国家公园地质灾害危险性评价指标体系

Table 1 Geological hazard risk assessment index system of the Three-River-Source National Park		
一级因子	二级因子	三级因子
孕灾因子	地形地貌	高程
		坡度
		坡向
		曲率
	地质条件	距断裂带距离
		地层岩性
		降雨量
	气候条件	距河流距离
	水文条件	FVC
	环境条件	土地利用类型
诱发因子	人类活动工程	距道路距离
		距农村居民点距离

1.3.2 信息量模型 信息量模型源于信息论,将主观经验与客观数据相结合,可较好地反映成灾因素与地质灾害间的关联性,目前,已经被广泛应用于地质灾害类评价研究之中。

$$I=L_n\frac{N_i/N}{S_i/S} \tag{1}$$

式中: I 为评价单元内总的信息量值; N_i 为分布在因素 X_i 内某一区间内的地质灾害单元数; N 为研究区地质灾害分布的单元总数; S_i 为分布在因素 X_i 内某一区间内的单元数; S 为研究区评价单元

总数。

2 地质灾害危险性评价

2.1 信息量计算

信息量模型所需数据为类型数据,因此,需对三江源国家公园地质灾害危险性评价指标体系中各因子进行分级预处理^[23]。其中,土地利用类型、地层岩性等离散型数据依据其自然属性分级^[24],高程、坡度等连续性数据参考相关研究^[25]成果并结合三江源国家公园实际情况进行分级。利用公式(1)计算各评价因子的信息量(表2)。

表 2 三江源国家公园地质灾害评价因子分级信息量统计

Table 2 Statistics of the information value for the classification of geological hazard assessment factors of the Three-River-Source National Park

评价因子	区间	信息量值	评价因子	区间	信息量值
高程/m	3 816~4 400	1.849 62	降雨量/mm	<330	1.267 31
	4 400~4 600	-0.280 39		330~380	-1.641 80
	4 600~4 800	-1.338 98		380~430	0.644 87
	4 800~5 000	-2.788 22		430~480	0.513 59
	>5 000	—		>480	-1.693 90
坡度/(°)	<10	-0.433 41	距河流距离/m	<100	1.013 35
	10~20	0.201 60		100~600	0.109 89
	20~30	0.847 60		600~1 200	-0.216 01
	30~50	1.831 94		1 200~1 800	-0.988 76
	>50	3.790 79		>1800	-0.180 13
坡向	平地	-0.116 80	植被覆盖率	0~0.2	0.162 63
	北	-0.277 08		0.2~0.4	—
	东北	0.147 97		0.4~0.6	-0.819 41
	东	-0.824 62		0.6~0.8	-0.521 55
	东南	0.555 85		0.8~1.0	0.380 19
	南	-0.469 95	土地利用类型	林地	3.456 49
	西南	0.333 94		草地	0.364 82
	西	0.386 96		水域	-0.119 77
	西北	-0.800 59		建设用地	0
曲率	0~2	-0.568 96		未利用地	-2.975 20
	2~5	-0.106 70	距道路距离/m	<300	3.304 04
	5~9	-0.156 22		300~600	2.494 11
	9~15	0.647 05		600~900	2.424 41
	>15	1.777 09		900~1 200	0.833 26
距断层距离/m	<500	1.370 22		>1 200	-1.651 20
	500~2 000	1.139 41	距农村居民点距离/m	<500	4.144 04
	2 000~4 000	0.379 30		500~1 000	3.756 01
	4 000~6 000	0.087 26		1 000~1 500	2.555 51
	>6 000	-1.008 23		1 500~2 000	2.914 55
地层岩性	坚硬-较坚硬岩组	-0.415 56		>2 000	-0.099 45
	较软岩组	0.589 11			
	软岩组	1.241 11			
	第四纪松散堆积物	-0.386 60			

2.2 危险性评价

利用 ArcGIS 10.8 软件栅格计算器,汇总各评价因子信息量值,将总信息量值采用自然断裂法^[26]分为极低危险区、低危险区、中危险区、高危险区、极高危险区 5 个等级区(图 3)。

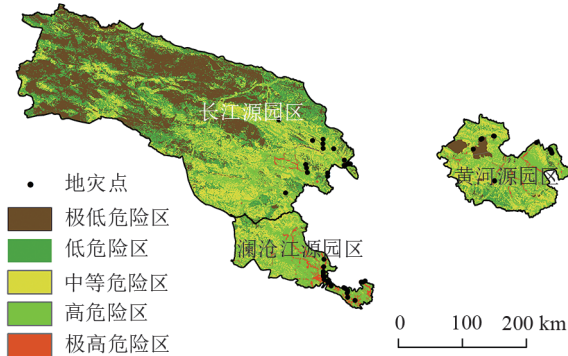


图 3 三江源国家公园地质灾害危险性分区

Fig. 3 Geological hazard risk zoning of the Three-River-Source National Park

从面积统计结果来看,三江源国家公园极低危险区面积为 28 331.70 km²,占全园区面积的 23.01%;低危险区面积为 33 643.75 km²,占 27.33%;中等危险区面积为 35 510.23 km²,占 28.85%;高危险区面积为 22 597.73 km²,占 18.36%;极高危险区面积为 3 016.59 km²,占 2.45%。从位置分布来看,极低危险区集中分布于长江源园区内,黄河源园区、澜沧江源园区分布较少;低危险区主要分布于长江源园区内,长江源园区与澜沧江源园区交界处、黄河源园区南北边缘处也有少量分布;中等危险区较为均匀地分布于 3 个园区内;高危险区主要分布于长江源园区的东部、黄河源园区北部地区,澜沧江源园区分布最为密集,分布面积接近本园区面积 1/2;极高危险区域集中分布于澜沧江源园区的东南部狭长区域,长江源园区东部和黄河源园区内也有部分呈长条状分布。综合 3 个园区内高危险、极高危险区的面积占比,可以判别三江源国家公园园区危险性排名为澜沧江源园区(59.09%)>黄河源园区(41.05%)>长江源园区(10.72%)。

2.3 评价精度验证

根据各危险等级区面积及地灾点分布,可计算出极低、低、中等、高、极高 5 大危险等级区灾点密度分别为 0.003、0.006、0.011、0.049、1.331 处/100 km²。整体来看,地灾点密度大小与本研究评价的危险性分区等级高低呈正相关趋势,吻合度较高,说明本文运用 GIS 与信息量模型对三江源国家公园进行地质灾害危险性评价结果是较为客观合理的。

2.4 主控因子分析

将所有孕灾因子与诱发因子信息量值求和,数值越大说明该因子对地质灾害发生的“贡献率”越大。由表 3 可知,坡度是导致三江源国家公园地质灾害发生的主要孕灾因子,其次为距断层距离、曲率和地层岩性。距农村居民点距离是导致三江源国家公园地质灾害发生的主要诱发因子,信息量值高达 13.270 66,其次为距道路距离和土地利用类型。综合各评价因子信息量值来看,相比于其他研究区,三江源国家公园人类活动与地质灾害发生之间的敏感度更高,可能是当地的生态系统更加脆弱敏感的原因。

表 3 三江源国家公园地质灾害评价因子信息量总值

Table 3 The total information value of geological hazard assessment factors of the Three-River-Source National Park

因子类型	评价因子	信息量值
孕灾因子	高程	-2.557 97
	坡度	6.238 52
	坡向	-1.064 32
	曲率	1.592 26
	距断层距离	1.967 95
	地层岩性	1.028 06
	降雨量	-0.909 93
诱发因子	距河流距离	-0.261 67
	FVC	-0.798 15
	土地利用类型	0.726 35
	距道路距离	7.404 63
	距农村居民点距离	13.270 66

3 地质灾害对生态安全格局的影响

3.1 生态安全格局构建廊道与优化分区

结合三江源国家公园独特区位特征,采用定量分析方法,从生态敏感性和景观连通性 2 个角度综合识别其生态源地,以最小阻力模型(minimal cumulative resistance model, MCR)提取最小累积阻力面,采用最小成本距离构建生态廊道,构建三江源国家公园生态安全格局。识别生态源地面积为 26 833 km²。提取生态廊道 55 条(6 080.15 km)。其中,长江源园区、澜沧江源园区共提取潜在生态廊道 45 条(5 124.17 km),黄河源园区提取潜在生态廊道 10 条(955.98 km)。在生态安全格局构建的基础上进行优化,利用标准方差分类法对阻力值栅格数量进行分类,识别核心保护区(39 613.58 km²)、生态保育区(67 261.84 km²)、游憩展示区(10 143.44 km²)、传统利用区(6 081.34 km²)4 个功能分区。

3.2 地质灾害对生态安全格局构建廊道的影响

结合已有研究成果,本文通过 ArcGIS 10.8 软件将已经构建完成的生态安全格局构建廊道图层与地质灾害危险性分区图层进行叠加,形成三江源国家公园生态安全格局廊道及地质灾害危险性分区图(图 4)。

生态廊道是沟通生态源地的桥梁或通道,是生态修复中最有可能改善连通性的结构要素或区域,主要承担物种迁移的传输通道、生物生存繁殖的生境等基础功能。同时,承担防风滤污的保护隔离和生态景观建设等生态修复功能^[16]。地质灾害不仅冲毁植被和土壤,破坏廊道结构,甚至切断生态廊道,阻碍物种迁移。长江源园区的生态廊道多分布于园区的西部和中部地区,而该地区大部分处于地质灾害中等及以下危险区,廊道相对来说较为安全通畅。但长江源园区向外与澜沧江源园区之间的唯一廊道(源地 6 到源地 8、9 之间的廊道),沿路经过较多的高危险区域,对 2 个园区间的物种迁徙造成较大威胁。澜沧江源园区廊道多分布于西部地区,虽然避开东部极高危险区,但仍处于高危险区域,对区域内唇鹿、黑颈鹤等动物的迁徙造成较大的影响,廊道保护不容忽视。黄河源园区内廊道呈东北-西南分布,沿途基本上经历大片高危险区,甚至与多片极高危险区相交,是整个三江源国家公园内廊道风险性最高的园区。该区域内分布有扎陵湖-鄂陵湖、星星海和约古宗列等保护分区,藏羚羊、雪豹等动物迁徙频繁,且牧民和生态管护员数量较多,地质灾害破坏廊道带来的损失和影响较为突出。



图 4 三江源国家公园生态安全格局构建廊道及地质灾害危险性分区

Fig. 4 Ecological security pattern construction and geological hazard risk zoning of the Three-River-Source National Park

3.3 地质灾害对生态安全格局优化分区的影响

结合已有研究成果,本文通过 ArcGIS 10.8 软件将已经完成的生态安全格局优化分区图层与地质灾

害危险性分区图层进行叠加,形成三江源国家公园生态安全格局优化及地质灾害危险性分区(图 5)。

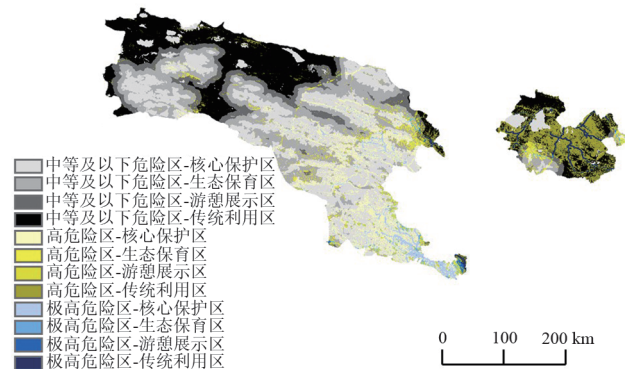


图 5 三江源国家公园生态安全格局优化分区及地质灾害危险性分区

Fig. 5 Optimized zoning of ecological security pattern and geological hazard risk zoning of the Three-River-Source National Park

生态系统环境的破坏来源于人为和自然两方面。从人为方面来看,三江源国家公园生态系统环境受到人为影响在逐渐减少。根据《三江源国家公园管理条例(试行)》(2017 年)、《三江源国家公园总体规划(2018)》等相关法规及规范性文件要求,三江源国家公园为减少人类活动对生态系统的原真性的破坏,实行最为严格的保护政策,在核心区已经实行多年的完全禁牧和限制人类活动政策。从自然方面来看,地质灾害对三江源国家公园生态系统环境仍存在较大破坏。长江源园区、澜沧江源园区内地质灾害高危险和极高危险区在核心保护区分布最广,分布面积占比分别为 65.30%、77.90%,对其生态系统环境的保护产生较大威胁。地质灾害对植被、土壤、水体等生态环境要素具有极强的破坏作用。一方面,地质灾害直接摧毁植被并造成森林、草地等生态系统退化,破坏动植物栖息地,导致生物多样性下降;另一方面,地质灾害导致土壤结构破坏,养分流失,甚至形成裸露的岩石地表,加剧区域的景观破碎化程度。同时,泥石流、滑坡等灾害将大量泥沙、碎石带入河流、湖泊,造成水体污染,影响区域动植物的饮用水安全。黄河源园区地质灾害高危险和极高危险区多分布于传统利用区,分布面积占比为 88.97%,传统利用区为当地牧民的传统生产、生活空间,人类活动相对较多。地质灾害及其次生灾害具有破坏性大、不可预测等特点,严重威胁人类生命安全。

4 讨论

加强地质灾害风险管理,推进自然灾害防治体系和防治能力现代化是当前国家关注的重要课题。青藏高原本底的敏感性,使得泥石流、崩塌及滑坡等

地质灾害频发^[27]。三江源国家公园处于青藏高原腹地,被誉为“中华水塔”“亚洲水塔”。近年来,全球变暖导致三江源地区生态系统发生显著变化,冰川融化退缩-雪线升高-极端气候频发-各种自然灾害加剧。同时,活跃的地质活动相伴而来的地震、地质灾害共生,气候变暖时期将生成一系列灾害链^[28]。因此,开展青藏高原灾害综合考察,评估三江源国家公园地质灾害危险性,探索形成和成灾机理研究,有助于提升自然灾害防治能力和民生安全保障能力。

处理好人地关系,实现人与自然和谐共生,是三江源国家公园管理的重要目标。三江源国家公园既要坚持“生态保护第一”的职责,又要始终重视人的发展,实现人与自然和谐共生。三江源国家公园处于青藏高原生态系统脆弱区,地质灾害易发,生态保护修复难度大,对人类活动极其敏感。因此,既要实行禁牧禁人等最严格的生态保护措施,减少来自人为活动的破坏,又要发挥人的能动作用,加快开发适宜高寒区特点的监测预警和防治关键技术,在科学评估的基础上建立与三江源国家公园生态保护相适应的防灾减灾工程与设施。

统筹推进国家公园规划与治理,应当注重分区分类。充分考虑区域空间异质性是全面有效推进防灾减灾的重要手段。针对三江源国家公园部分分布较为集中的廊道,在加强廊道建设的基础上,可选择其最中心区域建立防灾抗灾中心,以便有效应对地灾可能带来的各种风险;而针对部分地位较为突出的廊道,在确保廊道本身的高性能的同时更要加强监测与巡视,全面保障廊道的通畅性和安全性。长江源园区和澜沧江源园区需要着重强化“天空地”一体化监测体系,不断提高自然灾害预警防护能力,在科学评估的基础上开展防灾减灾工程与设施建设,增强核心保护区生态系统环境对地质灾害的抵御能力;黄河源园区应当着重做好防灾安全检查和防灾常识普及宣传,积极发挥生态管护员的科普宣传作用,不断提高区域内牧民的防灾减灾和自我防护意识和能力,有效保护好牧民的生命财产。

地质灾害的评价包括定性和定量评价,本研究采用的信息量模型是目前地质灾害评价中广泛应用的方法,具备一定的科学性。不容忽视的是,信息量模型高度依赖数据的质量和数量,在因子选择和权重分配时存在一定的主观性,定量评价中不同评价因子的选择导致评价结果也不同,但本文最终的研究结果经过验证与研究区实际吻合度较高,具有一定合理性。在当前国土空间规划背景下,生态安全格局构建与优化是三江源国家公园建设发展的重点任务之一。本

文从地质灾害的角度,进一步完善三江源国家公园的生态安全格局构建与优化,使得原本的研究成果更加科学合理。在今后的研究工作中,一方面,应当进一步深入探索三江源国家公园地质灾害的评价研究;另一方面,从更多研究角度来完善三江源国家公园生态安全格局构建与优化成果。

5 结论

1)三江源国家公园地质灾害高危险、极高危险区面积为25 614.32 km²,占比达20.81%,主要分布于黄河源园区、长江源园区东部及澜沧江源园区中东部地区。

2)三江源国家公园地质灾害发生的主控孕灾和诱灾因子分别是坡度和距农村居民点距离。其中,距农村居民点距离信息量值高达13.270 06,说明三江源国家公园地区人类活动与地质灾害发生间的敏感度较高。

3)三江源国家公园共识别生态源地面积为26 833 km²,提取生态廊道55条,识别核心保护区(39 613.58 km²)、生态保育区(67 261.84 km²)、游憩展示区(10 143.44 km²)、传统利用区(6 081.34 km²)四大功能区域。

4)三江源国家公园生态安全格局廊道与分区受地质灾害影响较大,主要为长江源园区(65.30%)、澜沧江源园区(77.90%)的核心保护区和黄河源园区(88.97%)的传统利用区。其中,黄河源园区是整个三江源国家公园内廊道风险性最高的园区。

参考文献:

- [1] 陈发虎,吴绍洪,崔鹏,等.1949—2019年中国自然地理学与生存环境应用研究进展[J].地理学报,2020,75(9):1799-1830.
CHEN F H, WU S H, CUI P, et al. Progress of applied research of physical geography and living environment in China from 1949 to 2019 [J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(9): 1799-1830.
- [2] 申泽西,张强,吴文欢,等.青藏高原及横断山区地质灾害易发区空间格局及驱动因子[J].地理学报,2022,77(5):1211-1224.
SHEN Z X, ZHANG Q, WU W H, et al. Spatial pattern and attribution analysis of the regions with frequent geological disasters in the Tibetan Plateau and Hengduan Mountains [J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(5): 1211-1224.
- [3] 史培军,杨文涛.山区孕灾环境下地震和极端天气气候对地质灾害的影响[J].气候变化研究进展,2020,16(4):405-414.
SHI P J, YANG W T. Compound effects of earthquakes

- and extreme weathers on geo-hazards in mountains [J]. *Climate Change Research*, 2020, 16(4): 405-414.
- [4] MEJÍA-NAVARRO M, WOHL E E, OAKS S D. Geological hazards, vulnerability, and risk assessment using GIS: Model for glenwood springs, colorado [M]// *Geomorphology and Natural Hazards*. Amsterdam: Elsevier, 1994: 331-354.
- [5] 宋玉鹏, 孙永福, 杜星, 等. 渤海海域海底地质灾害危险性区划 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2021, 32(3): 140-146.
SONG Y P, SUN Y F, DU X, et al. Risk zonation on the submarine geological hazards in Bohai Sea [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2021, 32(3): 140-146.
- [6] GUZZETTI F, REICHENBACH P, CARDINALI M, et al. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale [J]. *Geomorphology*, 2005, 72(1/2/3/4): 272-299.
- [7] 周超, 常鸣, 徐璐, 等. 贵州省典型城镇矿山地质灾害风险评价 [J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2020, 45(11): 1782-1791.
ZHOU C, CHANG M, XU L, et al. Risk assessment of typical urban mine geological disasters in Guizhou Province [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(11): 1782-1791.
- [8] 赵雪莲, 张敬, 汪洋. 新疆孔吾拉齐水库地质灾害危险性评估 [J]. *安全与环境工程*, 2017, 24(6): 37-42.
ZHAO X L, ZHANG J, WANG Y. Risk assessment of geological hazards at Kowulaqi reservoir in Xinjiang Province of China [J]. *Safety and Environmental Engineering*, 2017, 24(6): 37-42.
- [9] 王雷, 赵法锁, 白朝能, 等. 襄渝铁路(胡家营-万源段)地质灾害发育特征及危险性评价 [J]. *灾害学*, 2017, 32(4): 30-34.
WANG L, ZHAO F S, BAI C N, et al. Distributing character and risk assessment of geological disasters along Xiangyang-Chongqing railway (hujiaying-Wanyuan segment) [J]. *Journal of Catastrophology*, 2017, 32(4): 30-34.
- [10] 尹超, 王晓原, 张敬磊, 等. 基于遗传算法和云模型的公路沿线泥石流灾害危险性区划 [J]. *岩石力学与工程学报*, 2016, 35(11): 2266-2275.
YIN C, WANG X Y, ZHANG J L, et al. Hazard regionalization of debris flow disasters along highways based on genetic algorithm and cloud model [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2016, 35(11): 2266-2275.
- [11] 胡胜, 曹明明, 李婷, 等. 基于 AHP 和 GIS 的陕西省地震次生地质灾害危险性评价 [J]. *第四纪研究*, 2014, 34(2): 336-345.
HU S, CAO M M, LI T, et al. Danger assessment of earthquake-induced geological disasters in Shaanxi Province based on AHP and GIS [J]. *Quaternary Sciences*, 2014, 34(2): 336-345.
- [12] 李益敏, 袁静, 蒋德明, 等. 基于 GIS 的高山峡谷区滑坡灾害危险性评价: 以泸水市为例 [J]. *水土保持研究*, 2021, 28(3): 355-363.
LI Y M, YUAN J, JIANG D M, et al. GIS-based risk assessment of landslide disaster in high mountain valley-taking Lushui City as an example [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2021, 28(3): 355-363.
- [13] 李怡飞, 刘延国, 梁丽萍, 等. 青藏高原高山峡谷地貌区地质灾害危险性评价: 以雅江县为例 [J]. *水土保持研究*, 2021, 28(3): 364-370.
LI Y F, LIU Y G, LIANG L P, et al. Assessment on hazard of geological disasters in alpine and canyon land-forms of Qinghai-Tibet Plateau: A case study of Yajiang County [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2021, 28(3): 364-370.
- [14] 赵西君. 中国国家公园管理体制建设 [J]. *社会科学家*, 2019(7): 70-74.
ZHAO X J. China National Park management system construction [J]. *Social Scientist*, 2019(7): 70-74.
- [15] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局 [J]. *生态学报*, 1999, 19(1): 8-15.
YU K J. Landscape ecological security patterns in biological conservation [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(1): 8-15.
- [16] 胡西武, 贾天朝. 基于生态敏感性与景观连通性的三江源国家公园生态安全格局构建与优化 [J]. *长江流域资源与环境*, 2023, 32(8): 1724-1735.
HU X W, JIA T C. Construction and optimization of ecological security pattern in Three-River-Source National Park based on ecological sensitivity and landscape connectivity [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2023, 32(8): 1724-1735.
- [17] 王晓峰, 朱梦娜, 张欣蓉, 等. 基于“源地-阻力-廊道”的三江源区生态安全格局构建 [J]. *生态学报*, 2024, 44(11): 4609-4623.
WANG X F, ZHU M N, ZHANG X R, et al. Ecological security pattern construction of the Three-River Source region based on source-resistance-corridor [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(11): 4609-4623.
- [18] 彭建, 郭小楠, 胡熠娜, 等. 基于地质灾害敏感性的山地生态安全格局构建: 以云南省玉溪市为例 [J]. *应用生态学报*, 2017, 28(2): 627-635.
PENG J, GUO X N, HU Y N, et al. Constructing ecological security patterns in mountain areas based on geological disaster sensitivity: A case study in Yuxi City, Yunnan Province, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(2): 627-635.
- [19] 贾天朝, 胡西武. 基于 PLUS-InVEST-Geodector 模型的三江源国家公园碳储量时空变化及驱动力 [J]. *环境科学*, 2024, 45(10): 5931-5942.

- JIA T C, HU X W. Spatial-temporal change and driving force of carbon storage in Three-River-Source National Park based on PLUS-InVEST-Geodetector model [J]. Environmental Science, 2024, 45(10):5931-5942.
- [20] SAYRE R, Dangermond J, Frye C, et al. A new map of global ecological land units: An ecophysiological stratification approach [M]. Washington D C: Association of American Geographers, 2014:46.
- [21] 张文龙, 张振凯, 杨帅. 勉略宁地区地质灾害危险性智能评价和区划研究[J]. 西北地质, 2023, 56(1):276-282.
- ZHANG W L, ZHANG Z K, YANG S. Study on intelligent evaluation and zoning of geohazards risk in Mianluning area [J]. Northwestern Geology, 2023, 56(1):276-282.
- [22] 蒋文学, 李益敏, 杨雪, 等. 基于斜坡单元的怒江州滑坡易发性研究[J]. 水土保持学报, 2023, 37(5):160-167.
- JIANG W X, LI Y M, YANG X, et al. Study on landslide susceptibility in Nujiang prefecture based on slope unit [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2023, 37(5):160-167.
- [23] 龚俊豪, 李秀珍, 余文秀, 等. 贵渝管道地质灾害驱动因子分析及危险性评价[J]. 灾害学, 2024, 39(3):187-194.
- GONG J H, LI X Z, YU W X, et al. Guiyu pipeline geohazard driver analysis and hazard evaluation [J]. Journal of Catastrophology, 2024, 39(3):187-194.
- [24] 支泽民, 刘峰贵, 周强, 等. 基于流域单元的地质灾害易发性评价: 以西藏昌都市为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2023, 34(1):139-150.
- ZHI Z M, LIU F G, ZHOU Q, et al. Evaluation of geological hazards susceptibility based on watershed units: A case study of the Changdu City, Tibet [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2023, 34(1):139-150.
- [25] 聂作泉, 郎秋玲, 张以晨, 等. 基于信息量模型和地理探测器的国道沿线崩塌灾害危险性评价[J]. 灾害学, 2023, 38(1):193-199.
- NIE Z Q, LANG Q L, ZHANG Y C, et al. Hazard assessment of collapse along national highways based on information quantity model and geodetector [J]. Journal of Catastrophology, 2023, 38(1):193-199.
- [26] 黄莉, 徐凤凰, 张晨钰, 等. 粤港澳大湾区复合灾害系统敏感性评估[J]. 水土保持学报, 2024, 38(1):167-175.
- HUANG L, XU F H, ZHANG C Y, et al. Sensitivity assessment of complex disaster system in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(1):167-175.
- [27] CUI P, DANG C, CHENG Z, et al. Debris flows resulting from glacial-lake outburst floods in Tibet, China [J]. Physical Geography, 2010, 31(6):508-527.
- [28] 崔鹏, 郭晓军, 姜天海, 等. “亚洲水塔”变化的灾害效应与减灾对策[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(11):1313-1321.
- CUI P, GUO X J, JIANG T H, et al. Disaster effect induced by Asian Water Tower change and mitigation strategies [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2019, 34(11):1313-1321.
- (上接第108页)
- [24] ZHENG X L, CHEN L H, GONG W Y, et al. Evaluation of the water conservation function of different forest types in northeastern China [J]. Sustainability, 2019, 11(15):e4075.
- [25] 夏志光, 焦大志. 不同林龄小黑杨、樟子松防风固沙林土壤含水率研究[J]. 防护林科技, 2018(2):4-5.
- XIA Z G, JIAO D Z. Soil Moisture Content of *Populus simonii* and *Pinus sylvestris* var. *mongolica* at different stand age [J]. Protection Forest Science and Technology, 2018(2):4-5.
- [26] 陈士超, 刘彤彤, 张庆, 等. 露天煤矿排土场不同林龄沙棘林下土壤质量变化[J]. 北方园艺, 2024(17):76-83.
- CHEN S C, LIU T T, ZHANG Q, et al. Changes of soil quality under different forest ages of *Seabuckthorn* forest in open-pit coal mine dump [J]. Northern Horticulture, 2024(17):76-83.
- [27] 于坤霞, 闫泽云, 李梦楠, 等. 变化环境下渭河流域土壤水储量模拟及影响因素[J]. 水土保持学报, 2024, 38(3):150-158.
- YU K X, YAN Z Y, LI M N, et al. Simulation and influencing factors of soil water storage in the Weihe River basin under changing environment [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(3):150-158.
- [28] 杜军凯, 贾仰文, 李晓星, 等. 基于流域水循环视角的黄河水源涵养区水源涵养量评价方法[J]. 水利水电技术(中英文), 2023, 54(10):71-82.
- DU J K, JIA Y W, LI X X, et al. Evaluation method of water conservation capacity based the perspective of the water cycle in the conserving region of the Yellow River basin [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2023, 54(10):71-82.
- [29] 郑学良. 辽东水源涵养林结构对涵养水源功能影响及健康评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- ZHENG X L. Influence of water conservation forest structure on water conservation function and health evaluation in Liaodong [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2020.