

DOI: 10.5846/stxb202012313341

于婧, 汤昇, 陈艳红, 张蕾, 聂艳, 邓文胜. 山水资源型城市景观生态风险评价及生态安全格局构建——以张家界市为例. 生态学报, 2022, 42(4): 1290-1299.

Yu J, Tang B, Chen Y H, Zhang L, Nie Y, Deng W S. Landscape ecological risk assessment and ecological security pattern construction in landscape resource-based city: A case study of Zhangjiajie City. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(4): 1290-1299.

山水资源型城市景观生态风险评价及生态安全格局构建

——以张家界市为例

于 婧¹, 汤 昇^{1,*}, 陈艳红¹, 张 蕾¹, 聂 艳², 邓文胜¹

¹ 湖北大学资源环境学院, 区域开发与环境响应湖北省重点实验室, 武汉 430062

² 华中师范大学地理过程分析与模拟湖北省重点实验室, 武汉 430079

摘要: 区域生态安全是现代城市健康发展的重要内容, 科学认识与评价区域生态风险与构建生态安全格局, 有利于综合提升区域生态安全水平。以张家界市 2019 年高分二号遥感解译数据为基础, 使用 GIS 空间分析与 Fragstats 软件构建景观生态风险指数, 对景观生态风险空间分布特征进行分析; 利用最小累积阻力模型(MCR), 以 9 个自然保护区为生态源地, 以景观生态风险指数、植被覆盖度、高程、坡度、与道路距离、与水域距离构建阻力面, 识别生态廊道与生态节点, 构建生态安全格局并提出生态安全保护策略。结果表明: (1) 研究区景观生态风险空间差异明显, 生态风险呈现“中部、四周低, 高值区总体沿澧水水系呈条带状延伸”的空间分布规律; (2) 低、较低、中、较高、高生态风险分别占比 21.59%、41.79%、22.57%、12.08%、1.98%, 其中较低生态风险占比最高, 高生态风险占比最低, 各区县高生态风险压力排序为: 永定区>慈利县>桑植县>武陵源区; (3) 研究区识别出生态廊道 24 条, 生态节点 47 个, 生态廊道累积长达 872.35km, 生态廊道与生态节点分别呈现“三横四纵”、“中多西少, 南多北少”的空间分布特征; (4) 研究区形成了由 9 处生态源地、47 处生态节点、24 条生态廊道以及 3 个生态安全区构成的生态安全格局, 在此基础上提出了生态安全保护策略, 为张家界市生态环境建设提供科学指导。

关键词: 景观生态风险; 生态安全格局; 最小累积阻力模型; 张家界市

Landscape ecological risk assessment and ecological security pattern construction in landscape resource-based city: A case study of Zhangjiajie City

YU Jing¹, TANG Bian^{1,*}, CHEN Yanhong¹, ZHANG Lei¹, NIE Yan², DENG Wensheng¹

¹ Faculty of Resources and Environment, Hubei Key Laboratory of Regional Development and Environmental Response, Hubei University, Wuhan 430062, China

² Hubei Provincial Laboratory for Geographical Process Analysis and Simulation, Central China Normal University, Wuhan 430079, China

Abstract: Regional ecological security is an important part of the healthy development of modern cities. Scientific understanding and evaluation of regional ecological risks and construction of ecological security pattern are conducive to comprehensively improving the level of regional ecological security. Based on the remote sensing interpretation data onto Gaofen-2 of Zhangjiajie City in 2019, this paper used GIS spatial analysis and Fragstats software to construct landscape ecological risk index, and analyzed the spatial distribution characteristics of landscape ecological risk. And the minimum cumulative resistance model is used to construct resistance surface. At the same time, in order to intuitively reflect the

基金项目: 基于多准则决策的城乡国土空间冲突识别及调控机制研究(20YJC630207); 华中师范大学中央高校基本科研业务费(CCNU18TS002)

收稿日期: 2020-12-31; **网络出版日期:** 2021-09-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 602798088@qq.com

magnitude of resistance encountered during species migration, this paper uses 9 natural protected areas as ecological sources, and selects six resistance factors including landscape ecological index, vegetation coverage, elevation, slope, distance from roads, and distance from waters calculate the resistance value. Combining the ecological source area and the minimum cumulative resistance value, Then we identified ecological corridors and ecological nodes, and finally built an ecological security pattern and proposed ecological security protection strategies. This paper takes Zhangjiajie city as an example to verify the function and effectiveness of the method. The results show that: (1) there are obviously spatial differences in landscape ecological risk in the study area, and the ecological risk presents a spatial distribution pattern of “the middle and surrounding areas are low, and the high value area generally extends along the Lishui River in a strip”; (2) Low, relatively low, medium, relatively high, and high ecological risks area account for 21.59%, 41.79%, 22.57%, 12.08%, and 1.98%, respectively, among which the relatively low ecological risk area account for the highest proportion and the high ecological risk area account for the lowest proportion. The order of high ecological risk area pressure is: Yongding District>Cili County>Sangzhi County>Wulingyuan District; (3) The research identifies 24 ecological corridors and 47 ecological nodes. The cumulative length of ecological corridors is 872.35 km. And the spatial distribution characteristics of ecological corridors and ecological nodes are “three horizontal and four vertical” and “they are mainly distributed in the central and southern regions, and relatively few in the western and northern regions”; (4) The study area has formed an ecological security pattern consisting of 9 ecological sources, 47 ecological nodes, 24 ecological corridors and 3 ecological safety areas. On this basis, the protection strategy of ecological security is proposed to provide scientific guidance for the ecological environment construction of Zhangjiajie city.

Key Words: landscape ecological risk; ecological security pattern; Minimal cumulative resistance model; Zhangjiajie City

随着城市化建设的快速发展,资源环境与土地利用的矛盾日益尖锐,维护城市生态安全的压力增加,尤其是对于维持自身系统稳定性和抵抗外界干扰的能力较弱的山水资源型城市。20世纪90年代吴良镛教授认为山水资源型城市属于“山-水-城”的发展模式,是以城市为代表的城市环境与以山水为代表的自然环境相融合的人类聚居环境^[1]。山水资源型城市与以依靠采煤、冶金、采油等发展的传统资源型城市不同,山水资源型城市的地形地貌独特、山水格局明显,在统筹山水林田湖草系统治理具有一定基础,但在经济建设发展过程中也容易存在区域生态安全水平降低的风险,因此如何构建生态环境优良、城市特色明显、山水文化厚重的生态城市是当前的研究热点之一^[2]。

景观生态风险评价是指在人与自然综合影响下,景观格局与景观生态相互作用下所产生的损失可能性^[3-4],景观生态风险评价能够综合反映区域风险的空间分布,从多角度、多尺度为区域开发与生态修复提供决策参考。区域生态安全格局其实质是在诸多因素的干扰下,识别出适宜生物保护及进行生态修复的区域,构建区域生态安全格局是提升区域生态安全水平的关键环节^[5-6]。十八大报告中把生态安全格局作为我国国土空间三大战略格局之一,在2020年10月发布的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》中明确提出要进一步牢固生态安全屏障,形成主体功能明显、优势互补、高质量发展的国土空间开发保护新格局。因此,在新一轮国家生态文明建设政策的指导下,及时进行区域生态风险评价并构建生态安全格局,对于生态文明建设以及进行“山水林田湖草”生态修复具有指导意义。

20世纪90年代以来,国内外学者在传统环境风险模型、景观生态学理论的支撑下,研究领域主要集中在景观格局功能与区域生态安全,并对生态风险与景观生态学、计量地理学的交叉融合进行了初步探索^[7-10]。自俞孔坚^[11]、马克明^[12]等学者相继提出景观生态安全格局相关理论后,我国学者基于“源汇”、景观格局等理论与方法,对区域景观生态风险与生态安全格局进行了进一步的探索与研究,如娄妮等^[13]基于不同时期土地利用数据构建景观生态风险评价模型,分析了阿哈湖国家湿地公园景观生态风险的时空变化;张学斌等^[14]以石羊河流域为研究区,通过解译三期高精度遥感影像,分析了在土地利用变化的背景下研究区景观生态风

险空间分布的变化情况;刘焱序等^[15]基于有序加权平均算法绘制了不同情景下的深圳市景观生态风险图;在生态安全格局研究方面,随着国内学者对景观生态安全关注热度逐渐增加,在构建生态安全格局方面初步形成了源地—阻力面—生态廊道—生态节点—生态安全格局的研究范式,并且逐步尝试在景观生态风险与生态安全格局构建方面搭建桥梁,因此如何科学构建生态阻力面并划分国土空间生态功能区,成为当前研究的热点内容之一。如潘竞虎等^[16]基于景观生态风险评价结果,利用最小累积阻力模型,选取生态安全水平、海拔、坡度构建阻力面,建立了优化后的疏勒河流域生态安全网络;李青圃等^[17]构建了基于“自然-人类社会-景观格局”维度的景观生态评价,并基于评价结果对宁江流域景观格局进行了优化;韩宗伟等^[18]以环洞庭湖区域为研究对象,针对不同类型的生态廊道、源地形成的生态安全格局进行了差异化分析与评价。从研究对象上来看,目前研究以流域单元为研究对象较多,而以山水资源型城市、重点生态功能区为对象进行的研究较少;从景观生态风险评价来看,传统景观生态风险评价一般以行政单元为评价单元,而基于格网尺度进行评价更能体现结果的空间异质性;从生态安全格局构建来看,基本上形成了利用最小累积阻力模型构建阻力面,基于生态敏感性评价结果确定源地并构建生态安全格局的一般思路,但从景观生态风险评价角度出发构建生态安全格局的研究还相对较少^[19-20]。基于此,本研究以山水资源型城市张家界市为研究对象,从格网尺度进行景观生态风险评价,再以景观生态风险结果为基础进一步构建生态安全格局并进行国土空间生态修复分区,最后提出生态安全保护策略。

张家界市内存在大量特征鲜明、规模巨大的独特砂岩地貌类型,旅游资源丰富,是典型的山水资源型城市。作为长江流域重要的水源涵养区以及国家级重点生态功能区,其生态安全保障地位十分重要,近年来,随着张家界市全域旅游战略政策的实施,经济开发建设活动速度加快,区域生态安全功能受到严重威胁。因此,本文基于 2019 年土地利用数据,通过划分风险小区与构建景观生态风险评价模型,对张家界市景观生态风险空间分布进行评价分析,在景观生态风险评价结果的基础上建立生态阻力面,识别生态廊道与生态节点并构建生态安全格局,提出国土空间修复分区和生态安全保护策略,研究结果以期对张家界市在新一轮国土空间规划中进行生态风险预警、生态修复以及提升生态安全水平提供借鉴与参考。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

张家界市国土总面积 9582.76km²,下辖永定区、武陵源区、桑植县、慈利县 4 个县,设 72 个乡镇。地理位置为 109°40′—111°20′E、28°52′—29°48′N,位于湖南省西部。西北部与湖北省鹤峰县、宣恩县接壤,东邻石门、桃源县,南接沅陵、永顺县(图 1)。张家界市属中亚热带山原型季风性湿润气候,水系以澧水和溇水为主,水域总面积 214km²,地貌类型以山地、丘陵为主,是依靠丰富的山水资源为发展依托的生态城市。张家界市作为国家级重点生态功能区,在发展过程中坚持“生态优先,山水融城”的城市建设目标,2019 年森林覆盖率达到 71.0%,生态环境质量优良,2019 年地区生产总值 552.1 亿元,比上年增长 7.6%,全市常住人口 154.9 万人,居民人均可支配收入 18026 元,但近年来随着旅游业的发展,城市生态保护与土地开发之间的矛盾逐步升级。

1.2 数据来源与处理

土地利用数据是以 2019 年 2m 分辨率的高分二号遥感影像为数据源,通过 eCognition 和 ArcGIS 10.5 软件进行人机交互解译,将土地利用划分为耕地、园地、林地、草地、建设用地、水域及未利用地等 7 种类型,并从中提取水域数据,对每个区县选取总图斑数的 10%进行外业抽样复核,解译精度均在 90%以上,解译结果见图 1。用于获取植被覆盖度的 30m 分辨率 Landsat8 遥感影像来源于美国地质勘探局官方平台(<https://glovis.usgs.gov/>),成像时间在 2019 年 5 月,影像云量低于 10%;高程、坡度数据基于中国科学院地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)30m 分辨率 DEM 计算而成;道路数据来源于全国地理信息资源目录服务系统(<http://www.webmap.cn/>);自然保护地数据来源于张家界市政府部门数据。

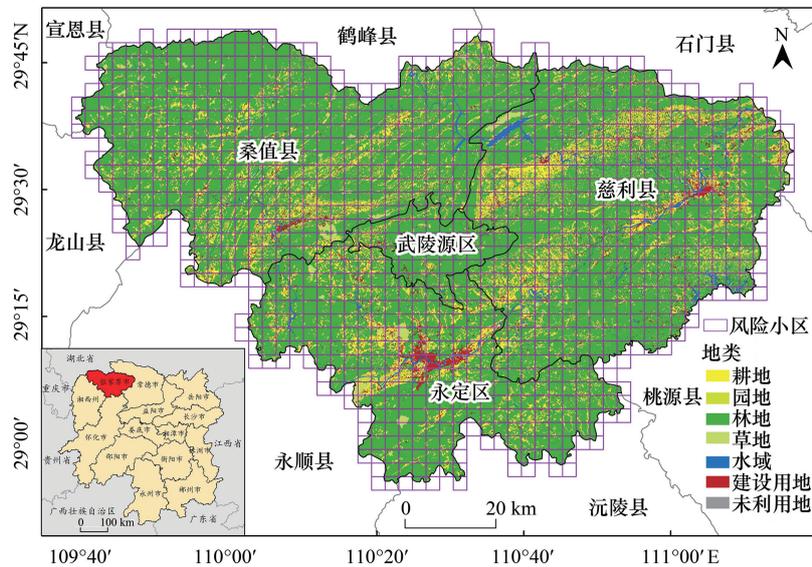


图1 张家界市地理位置及风险小区示意图

Fig.1 Sketch map of zhangjiajie geographical location and Risk Districts

2 研究方法

2.1 景观生态风险评价模型

根据研究区范围和平均景观斑块面积的大小(2—5倍),采用3km×3km正方形网格进行网格化采样,把张家界市划分1182个风险小区(图1),逐个计算每个风险小区的景观生态风险指数,再利用Kriging插值方法得到张家界市景观生态风险分布状况。参考已有学者研究成果,选取景观损失度、干扰度、脆弱度来计算景观生态风险指数^[21—23]。具体计算方式如下:

$$ERI = \sum_{i=1}^N \frac{A_i}{A} \times LL_i \quad (1)$$

$$LL_i = S_i \times F_i \quad (2)$$

式中,ERI为研究区景观生态风险指数, A_i 是第*i*类景观面积,A是景观总面积, LL_i 是第*i*类景观损失度指数。

景观干扰度指数 S_i 分别由景观优势度、景观破碎度、景观分离度赋予权重后得出,计算公式如下:

$$S_i = a C_i + b N_i + c D_i \quad (3)$$

式中, C_i 、 N_i 和 D_i 分别为景观破碎度指数、景观分离度指数和景观优势度指数,结合前人研究成果^[24—25],将其权重分别赋予0.5、0.2和0.3。

景观脆弱度指数 F_i 表示景观类型受到外界干扰时的脆弱程度,根据张家界市土地利用分类情况并结合已有成果,对各类景观脆弱度赋值如下:耕地4、园地5、林地2、草地3、建设用地1、水域6,未利用地7,对赋值结果进行归一化处理,最终得到各类景观脆弱度指数。

2.2 最小累积阻力模型

最小累积阻力模型(MCR)被广泛应用于构建生态安全格局研究,主要是指物种从源地向目标源地迁徙过程中所克服最小阻力形成的阻力面模型^[26—30]。计算公式如下:

$$MCR = f_{\min} \sum_{j=n}^{i=m} (D_{ij} \times R_i) \quad (4)$$

式中,MCR为最小累积阻力值; f_{\min} 表示生态过程中与MCR的正相关关系; D_{ij} 为源地*j*到目标源地*i*的距离;

R_i 表示目标源地 i 对物种迁徙的阻力值。

3 结果分析

3.1 景观生态风险空间分布特征

通过 Fragsstats 4.2 软件计算出每个风险小区的景观生态风险指数后,通过 ArcGIS 10.5 软件的地统计模块对数据进行半变异函数拟合,半方差分析过程中的拟合结果表明,最理想的拟合模型均为球状模型。采用球状模型拟合后,通过 Kriging 插值对景观生态风险指数进行空间插值,得到研究区景观生态风险插值结果。为清晰显示不同评价结果的分布特征,采用自然断点法将景观生态风险评价划分为 5 个等级:低生态风险[0.0142,0.1561)、较低生态风险[0.1561,0.2210)、中生态风险[0.2210,0.2982)、较高生态风险[0.2982,0.4175]、高生态风险[0.4175,0.6583],研究结果经过可视化后见图 2。

由图 2 可知,张家界市景观生态风险空间差异明显,生态风险呈现“中部、四周低,高值区总体上沿澧水水系呈条带状延伸”的空间分布规律。其中,低生态风险区面积为 2057.95km²,占比 21.59%,主要分布在张家界市的西北部、东南部,西北部主要分布有八大公山自然保护区,东南部主要分布有天门山风景名胜,区域内林地资源分布广泛,地形坡度较高,人类生产建设活动少,生态环境质量高,由于开发强度不大,所以区域内景观生态风险值低;较低生态风险区面积为 3983.78km²,占比最大,为 41.79%,主要分布在张家界市的中部地区,各个县区分布面积都最为广泛,呈现出以武陵源核心区为中心,向四周扩散的分布态势,主要得益于武陵源区“生态优先”政策的实施,因此较低生态景观生态风险面积占比较大;中生态风险区面积为 2151.37 km²,占比为 22.57%,主要分布在张家界市西南、东北部地区,呈现出与河流分布趋势高度契合的连片式分布特征,区域内耕地、河流分布广泛,地势较为低平,但随着张家界市旅游开发与城市建设的进一步扩大,中生态风险地区有被转换为更高生态风险的趋势,应该注意防范与预警;较高生态风险区面积为 1152.15km²,占比为 12.08%,主要分布在张家界市西北部、南部地区,具有片状发展的分布特征,其中慈利县面积分布最为广泛,近年来慈利县旅游发展步伐加快,导致生态环境保护压力增加,因此在发展的过程中对于水域、林地等生态较敏感区应该加大保护力度;高生态风险区面积为 188.49km²,占比最低,仅为 1.98%,主要分布在张家界市南部、西北部地区,对各县高生态风险区域按照面积大小进行压力排序:永定区>慈利县>桑植县>武陵源区。其中高生态风险在各区县中主要分布在永定区中部、慈利县西部、桑植县西北部地区,武陵源区无高生态风险,该区域产业建设活动最为频繁,耕地破碎化程度较高,并且有进一步扩张的趋势,人口的聚集化、建设的集中化使得高生态风险向外部区域蔓延发展,造成区域内生态保护的巨大压力,在未来的发展规划中应该着重加强区域内生态建设,逐步改善城市内部环境。

3.2 构建生态安全格局

3.2.1 确定生态源地

“源地”作为物种扩散的源点,应该具有较高的生态系统服务功能、生境质量以及图斑的连续性。根据张家界自然保护地数据,从类型、级别层面选取 9 处国家级、省级的国家森林公园、自然保护区、风景名胜区等作为生态源地,见表 1。张家界市生态源地总面积达 750.45km²,占研究区面积的 8.78%。

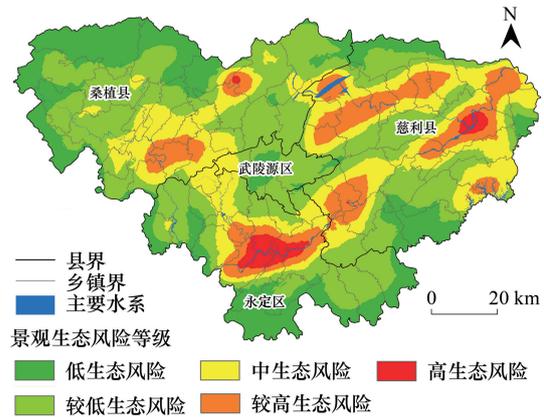


图 2 张家界市景观生态风险空间分布图
Fig.2 Spatial distribution map of landscape ecological risk in Zhangjiajie City

表 1 生态源地斑块一览表

Table 1 Plaque list of ecological source areas

编号 Number	名称 Name	类型 Type	级别 Grade	面积/km ² Area
1	张家界国家森林公园	森林公园	国家级	155.05
2	天门山国家森林公园	森林公园	国家级	16.38
3	天泉山国家森林公园	森林公园	国家级	84.05
4	红石林国家石漠公园	石漠公园	国家级	11.21
5	八大公山自然保护区	自然保护区	国家级	213.09
6	大鲵国家级自然保护区	自然保护区	国家级	12.67
7	溇水风景名胜区	风景名胜区	省级	182.45
8	江垭森林公园	森林公园	省级	27.20
9	五雷山风景名胜区	风景名胜区	省级	48.35

3.2.2 构建生态阻力面

为了直观反映出物种迁徙过程中遇到的阻力值大小,研究基于景观生态风险评价结果并结合张家界市生态环境状况,从景观生态、地形坡度、距离因子 3 个方面,分别选取景观生态风险指数、植被覆盖度、高程、坡度、与道路距离、与水域距离等 6 个阻力因子,将各阻力因子划分为 5 个等级并赋予不同阻力值,利用层次分析法确定各个阻力因子权重,一致性检查结果 $CR=0.0328<0.1$,达到一致性检验要求。再使用 GIS 空间分析方法进行多因子加权叠加,得到综合阻力面阻力值,各个阻力因子分级与赋值见表 2。

表 2 生态阻力面评价指标体系

Table 2 Evaluation index system of ecological resistance surface

类型 Type	阻力因子 Resistance factor	等级/阻力值 Grade/Resistance value	权重 Weight	属性 Attribute
景观生态 Landscape ecological	景观生态风险指数	低风险/1;较低风险/2;中风险/3; 较高风险/4;高风险/5	0.2313	+
	植被覆盖度	(0.8—1]/1;(0.6—0.8]/2;(0.4—0.6]/3; (0.2—0.4]/4;(0—0.2]/5	0.1411	-
地形坡度 Terrainslope	高程/m	(0—100]/1;(100—600]/2; (600—1100]/3;(1100—1600]/4;(1600—1882]/5	0.1901	+
	坡度/(°)	(0—2]/1;(2—6]/2;(6—15]/3; (15—25]/4;(25—77.08]/5	0.1713	+
距离因子 Distance factor	与道路距离/m	(3200—+∞]/1;(2400—3200]/2; (1600—2400]/3;(800—1600]/4;(0—800]/5	0.1307	-
	与水域距离/m	(3200—+∞]/1;(2400—3200]/2; (1600—2400]/3;(800—1600]/4;(0—800]/5	0.1355	-

景观生态因素包括景观生态风险指数、植被覆盖度因子。景观生态风险指数主要体现了区域生态风险的高低,其值越大,阻力值也就越大;植被覆盖度与阻力值成反比,植被覆盖度越高的区域,物种越能顺利通过。地形坡度因素包括高程、坡度因子,两者与阻力值大小成正比,高程、坡度值越大,阻力值也越大。距离因素包括与道路距离、与水域距离,两者与阻力值大小成反比,本研究主要考虑物种到达目标源地需要穿越道路、水域的阻力,未考虑水源对物种的补给能力。综合景观生态风险指数、植被覆盖度、高程、坡度、与道路距离、与水域距离 6 个单因子的评价结果,利用 ArcGIS 10.5 软件中的栅格计算器进行叠加分析,结果如图 3 所示。从图 3 可知,张家界市中北部、东南部阻力值较低,西南部、东北部阻力值较高,高阻力值区呈条带状分布的空间规律。

3.2.3 识别生态廊道与生态节点

生态廊道是物种迁徙过程中的阻力最低的路径,研究使用 ArcGIS 10.5 软件中的 cost-distance 工具计算得

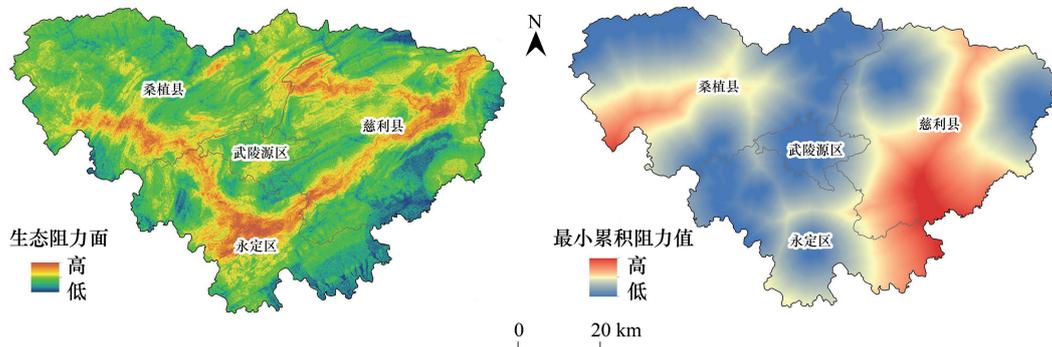


图3 生态阻力面与最小累积阻力值

Fig.3 Ecological resistance surface and minimum cumulative resistance value

到最小累积阻力值(图3),再利用 cost-path 工具,结合生态源地与最小累积阻力值确定生态廊道。生态节点一般位于生态功能较脆弱的区域,利用水文分析从 DEM 中提取水系的思路,确定最高阻力值分布的“脊线”,将其与生态廊道进行相交,得到的最低与最高阻力路径的交汇点,即为生态节点。为了划分不同廊道的重要程度,把生态节点数超过 4 个的生态廊道定义为关键廊道,其余为辅助廊道。

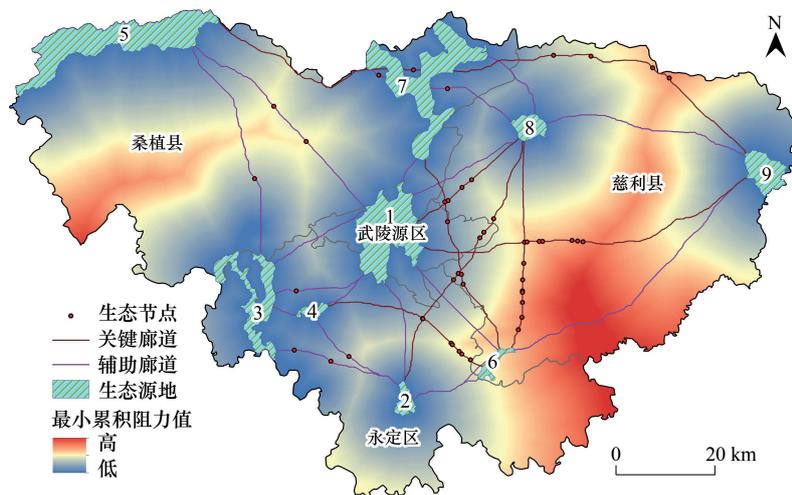


图4 生态廊道与生态节点分布图

Fig.4 Ecological corridor and ecological node distribution map

经过 ArcGIS 10.5 软件计算后,得到张家界市生态廊道与生态节点,见图4。张家界市的 24 条生态廊道累计长达 872.35km。其中关键廊道共 7 条,长达 410.47km,占研究区生态廊道总长度的 47.05%;辅助廊道共 17 条,累计长达 461.88km,占研究区生态廊道总长度的 52.95%。整个研究区生态廊道大致呈“三横四纵”的空间分布格局,“三横”连接东西,分别沿八大公山自然保护区-溇水风景名胜区-五雷山风景名胜区,天泉山森林公园-张家界国家森林公园-江垭森林公园,红石林国家石漠公园-天门山国家森林公园-大鲵自然保护区-五雷山风景名胜区一带分布;“四纵”贯穿南北,分别沿八大公山自然保护区-天泉山森林公园-红石林国家石漠公园-天门山国家森林公园,八大公山自然保护区-张家界国家森林公园-天门山国家森林公园,溇水风景名胜区-江垭森林公园-大鲵自然保护区一带分布。关键廊道主要分布在研究区东、中地区,该区域内生态风险值较高,需要进一步加强廊道保护与建设,辅助廊道主要分布在研究区西部、南部地区,主要为物种迁徙提供保障功能,辅助廊道与关键廊道一起构成了物种迁徙流

动的网络通道。

张家界市的 47 个生态节点在空间分布上总体呈现“中多西少、南多北少”的格局。具体来看,主要分布在八大公山自然保护区-五雷山风景名胜区、溇水风景名胜区-大鲵自然保护区、江垭森林公园-大鲵自然保护区、张家界国家森林公园-江垭森林公园等关键生态廊道上。

3.2.4 生态安全分区

为了进一步对研究区内不同生态安全区提出差别化管控策略,根据阻力值大小以及综合考虑生态源地、生态廊道的重要生态地位,将张家界市生态安全区划分为生态保育区、生态过渡区、生态重建区(图 5)。根据相关学者的研究^[31-32],生态廊道 200m 缓冲区是保护生物多样性比较合适的宽度,因此将生态廊道 200m 缓冲区划入生态保育区进行优先保护,而生态源地已经包含了生态缓冲区的范围,不再单独设置缓冲区。

其中生态保育区面积为 4053.50km², 占总面积的 42.26%, 区域内生态安全水平较高, 主要包括生态服务价值较高的森林公园、风景名胜区等, 主要土地利用类型为林地、草地等, 林草地是自然中维护生态系统的重要基础, 对该类区域应禁止破坏生态的开发建设活动, 并对区域内人类建设活动实施限制性方针政策, 加强生物多样性保护与水土流失治理, 保障区域整体生态安全水平。

生态过渡区面积为 3721.59km², 占总面积的 38.80%, 区域内生态安全水平介于生态保育区与生态重建区之间, 生态过渡区面积占比较大, 在空间形态上具有过渡性特征, 在功能上主要平衡区域生态, 主要土地利用类型为耕地、园地等, 对该类区域在开发建设上应坚持规划后再建设的方针, 避免重复建设带来的生态破坏, 此外应积极发展高效现代生态农业, 强化区域之间联系以及过渡区的稳定功能。

生态重建区面积为 1817.25km², 占总面积的 18.94%, 区域内生态安全水平较低, 生态重建区是人类进行社会经济活动的主要区域, 区域内主要土地利用类型有建设用地、未利用地、水域等, 对该区域需要强化各区县的主体功能, 进一步提高区域绿化水平, 提升公众生态环境保护意识, 发挥沿河优势, 打造沿河生态保护带。

3.2.5 张家界市生态安全格局小结

根据生态源地和最小累积阻力模型分析, 提取重要生态功能“点”-9 处生态源地、47 处生态节点, “轴”-24 条生态廊道, “面”-生态保育区、生态过渡区、生态重建区等 3 个生态功能区, 共同构成了张家界市的生态安全格局(图 6)。

3.3 生态安全保护策略

基于张家界市自然山水本底特征, 结合张家界市生态源地、生态廊道与生态节点以及城市总体规划的空间布局状况, 在现有格局的基础上提出生态安全保护策略。

强化生态源地保护。生态源地作为生态安全格局的重要组成部分, 其稳定性影响到区域生态安全。张家界国家森林公园、红石林国家石漠公园、溇水风景名胜区等生态源地, 以自然旅游景观为主, 应该全面坚持生态优先原则, 严格限制区域内建设用地开发, 对生态林地进行修复与保护, 合理规划游览设施, 以防止建设用地过度开发导致生态源地生态环境质量下降; 进一步发挥张家界市国家森林公园的核心功能, 其作为连接不同源地之间的关键源地, 应继续坚持保护山林生态系统策略, 并进行适当的生态建设。

重视生态廊道建设。对于北部山区的八大公山自然保护区-溇水风景名胜区-江垭森林公园-五雷山风景名胜区生态廊道, 须进一步增强北部山区源地之间的连接程度, 在考虑不同栖息地之间物种迁徙、交换的基础上, 增设适宜生境廊道, 避免生态源地成为“生态孤岛”, 以维护北部山区作为张家界市生态屏障的重要地

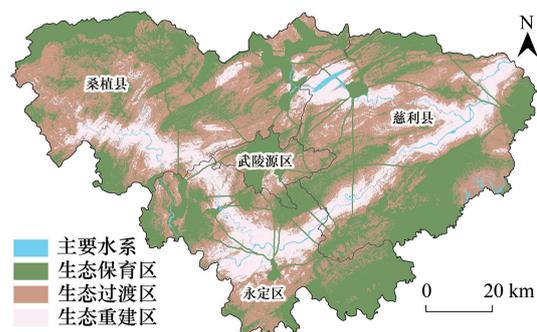


图 5 生态安全分区图

Fig.5 Ecological security zoning map

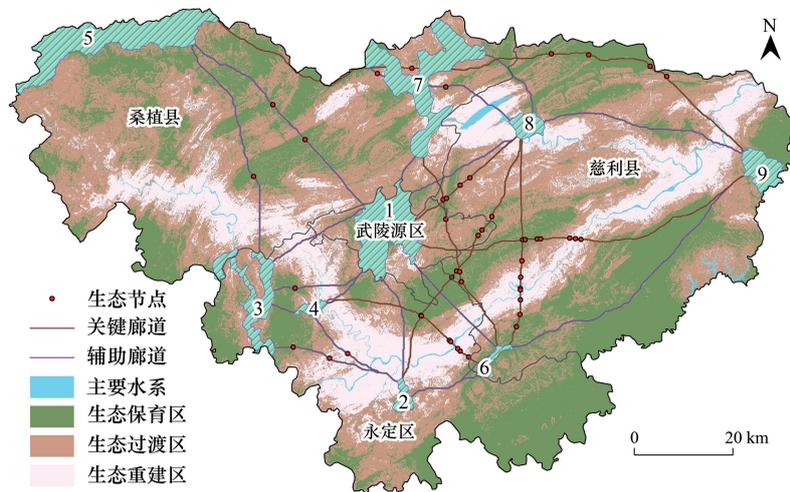


图6 张家界市生态安全格局

Fig.6 The ecological security pattern of Zhangjiajie city

位。对于途径澧水、溇水的关键廊道,如溇水风景名胜区-五雷山风景区、张家界国家森林公园-大鲵自然保护区等,要按照生态廊道建设需求,对现有防洪堤进行改造,确保水系的贯通,并适当为物种流动提供辅助通道,形成完整的滨河绿地生态系统。充分发挥张家界市的自然条件优势,将张家界市北部山区与澧水生态带融合发展,推动张家界市保持其自然山水生态格局与城市形态平衡,提高区域生态环境承载能力。

修复与优化生态节点。生态节点是物种需要在最小阻力通道上通过最大阻力的点,处于生态环境脆弱的地区,且容易遭到破坏,对于源地之间的连通性以及流动程度具有决定意义。张家界市中西部地区生态节点较多,是进行动态监管与修复的重要地区,宜在区域国土空间规划、生态修复规划中予以重点关注,并提出相应的工程及生物措施,以促进物种之间的能量流动与物质循环,降低区域生态风险,保障区域生态安全。

4 结论与讨论

(1) 研究区景观生态风险空间差异明显,生态风险呈现“中部、四周低,高值区总体上沿澧水水系呈条带状延伸”的空间分布规律;低、较低、中、较高、高生态风险分别占比 21.59%、41.79%、22.57%、12.08%、1.98%,其中较低生态风险占比最高,高生态风险占比最低,各区县高生态风险压力排序为:永定区>慈利县>桑植县>武陵源区。其中高生态风险在各区县中主要分布在永定区中部、慈利县西部、桑植县西北部地区,武陵源区无高生态风险。高生态风险在各区县中主要分布在永定区中部、慈利县西部、桑植县西北部地区,该区域由于产业建设活动频繁,耕地破碎化程度较高,使得高生态风险有进一步向外布区域蔓延发展的趋势,应该逐步改善城市内部环境,提升生态安全水平。

(2) 研究区形成了由 9 处生态源地、47 处生态节点、24 条生态廊道、以及不同 3 个生态安全区构成的生态安全格局,生态廊道累积长达 872.35km,其中关键廊道共 7 条,长达 410.47km,占研究区生态廊道总长度的 47.05%,整个研究区生态廊道大致呈“三横四纵”的空间分布格局,“三横”连接东西,“四纵”贯穿南北;生态节点在空间分布上总体呈现“中多西少,南多北少”的格局;生态保育区内实施限制性方针政策,生态过渡区在开发建设上应坚持规划后再建设的方针,强化过渡区的稳定功能,生态重建区内坚持以人为修复为主,自然恢复为辅的方针,打造沿河生态保护带。

(3) 针对生态源地、生态节点、生态廊道以及不同生态安全区提出不同的保护策略,进一步加强生态源地保护,严格限制区域内建设用地开发,对生态林地进行修复与保护,合理规划游览设施;重视生态廊道建设,加强八大公山自然保护区-溇水风景名胜区-江垭森林公园-五雷山风景名胜区、张家界国家森林公园-大鲵自然

保护区等生态廊道的建设,推动张家界市北部山区与澧水生态带融合发展;修复与优化生态节点,对生态节点较多的张家界市中西部地区进行动态监管与修复,提出相应的工程及生物措施,保障区域生态安全。

本文以经济发展与生态保护冲突明显的山水资源型城市张家界市为研究区,分析了目前张家界市景观生态风险空间分布并构建了生态安全格局优化方案,研究结论一方面可以为张家界市进行生态风险预警、提升生态安全水平以及长期稳定发挥国家重点生态功能区作用提供理论参考,另一方面能够为张家界市在新一轮国土空间规划中进行“山水林田湖草”要素配置以及土地利用规划提供依据。

参考文献 (References):

- [1] 吴良镛. “山水城市”与 21 世纪中国城市发展纵横谈——为山水城市讨论会写. 建筑学报, 1993, (6): 4-8.
- [2] 闫晋波. “山水城市”理念与当前城市建设实践案例刍议. 城市发展研究, 2020, 27(10): 1-5, 13-13.
- [3] 康紫薇, 张正勇, 位宏, 刘琳, 宁珊, 赵贵宁, 王统霞, 田浩. 基于土地利用变化的玛纳斯河流域景观生态风险评价. 生态学报, 2020, 40(18): 6472-6485.
- [4] 苏英慧, 邸晓慧, 明弘, 周宝同. 基于土地景观格局的重庆市永川区生态风险评价. 水土保持通报, 2020, 40(3): 195-201, 215-215.
- [5] 叶鑫, 邹长新, 刘国华, 林乃峰, 徐梦佳. 生态安全格局研究的主要内容与进展. 生态学报, 2018, 38(10): 3382-3392.
- [6] 杜腾飞, 齐伟, 朱西存, 王鑫, 张瑜, 张蕾. 基于生态安全格局的山地丘陵区自然资源空间精准识别与管制方法. 自然资源学报, 2020, 35(5): 1190-1200.
- [7] Ayre K K, Landis W G. A Bayesian approach to landscape ecological risk assessment applied to the upper Grande ronde watershed, Oregon. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 2012, 18(5): 946-970.
- [8] Komeily A, Srinivasan R S. A need for balanced approach to neighborhood sustainability assessments: a critical review and analysis. *Sustainable Cities and Society*, 2015, 18: 32-43.
- [9] Cunha N S, Magalhaes M R. Methodology for mapping the national ecological network to mainland Portugal: a planning tool towards a green infrastructure. *Ecological Indicators*, 2019, 104: 802-818.
- [10] Sahraoui Y, De Godoy Leski C, Benot M L, Revers F, Salles D, Van Halder I, Barneix M, Carassou L. Integrating ecological networks modelling in a participatory approach for assessing impacts of planning scenarios on landscape connectivity. *Landscape and Urban Planning*, 2021, 209: 104039.
- [11] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局. 生态学报, 1999, 19(1): 8-15.
- [12] 马克明, 傅伯杰, 黎晓亚, 关文彬. 区域生态安全格局: 概念与理论基础. 生态学报, 2004, 24(4): 761-768.
- [13] 娄妮, 王志杰, 何嵩涛. 基于景观格局的阿哈湖国家湿地公园景观生态风险评价. 水土保持研究, 2020, 27(1): 233-239.
- [14] 张学斌, 石培基, 罗君, 刘海龙, 魏伟. 基于景观格局的干旱内陆河流域生态风险分析——以石羊河流域为例. 自然资源学报, 2014, 29(3): 410-419.
- [15] 刘焱序, 王仰麟, 彭建, 张甜, 魏海. 基于生态适应性循环三维框架的城市景观生态风险评价. 地理学报, 2015, 70(7): 1052-1067.
- [16] 潘竟虎, 刘晓. 疏勒河流域景观生态风险评价与生态安全格局优化构建. 生态学杂志, 2016, 35(3): 791-799.
- [17] 李青圃, 张正栋, 万露文, 杨传训, 张杰, 叶晨, 陈裕婵. 基于景观生态风险评价的宁江流域景观格局优化. 地理学报, 2019, 74(7): 1420-1437.
- [18] 韩宗伟, 焦胜, 胡亮, 杨宇民, 蔡青, 黎贝, 周敏. 廊道与源地协调的国土空间生态安全格局构建. 自然资源学报, 2019, 34(10): 2244-2256.
- [19] 彭建, 党威雄, 刘焱序, 宗敏丽, 胡晓旭. 景观生态风险评价研究进展与展望. 地理学报, 2015, 70(4): 664-677.
- [20] 冯琰玮, 甄江红, 马晨阳. 内蒙古生态承载力评价及生态安全格局优化. 地理研究, 2021, 40(4): 1096-1110.
- [21] 刘珍环, 张国杰, 付凤杰. 基于景观格局-服务的景观生态风险评价——以广州市为例. 生态学报, 2020, 40(10): 3295-3302.
- [22] 张正昱, 金贵, 郭柏枢, 董寅, 陈坤. 基于多准则决策的长江经济带国土空间脆弱性与恢复力研究. 自然资源学报, 2020, 35(1): 95-105.
- [23] 李杨帆, 林静玉, 孙翔. 城市区域生态风险预警方法及其在景观生态安全格局调控中的应用. 地理研究, 2017, 36(3): 485-494.
- [24] 张月, 张飞, 周梅, 李晓航, 任岩, 王娟. 干旱区内陆艾比湖区域景观生态风险评价及时空分异. 应用生态学报, 2016, 27(1): 233-242.
- [25] 陈心怡, 谢跟踪, 张金萍. 海口市海岸带近 30 年土地利用变化的景观生态风险评价. 生态学报, 2021, 41(03): 975-986.
- [26] 倪庆琳, 侯湖平, 丁忠义, 李艺博, 李金融. 基于生态安全格局识别的国土空间生态修复分区——以徐州市贾汪区为例. 自然资源学报, 2020, 35(1): 204-216.
- [27] 韩俊宇, 余美瑛. 全域全要素统筹背景下生态安全格局识别与优化建议——以衢州市常山县为例. 地理研究, 2021, 40(4): 1078-1095.
- [28] 冯琰玮, 甄江红, 马晨阳. 内蒙古生态承载力评价及生态安全格局优化. 地理研究, 2021, 40(04): 1096-1110.
- [29] 戴璐, 刘耀彬, 黄开忠. 基于 MCR 模型和 DO 指数的九江滨水城市生态安全网络构建. 地理学报, 2020, 75(11): 2459-2474.
- [30] 方莹, 王静, 黄隆杨, 翟天林. 基于生态安全格局的国土空间生态保护修复关键区域诊断与识别——以烟台市为例. 自然资源学报, 2020, 35(01): 190-203.
- [31] 朱强, 俞孔坚, 李迪华. 景观规划中的生态廊道宽度. 生态学报, 2005, 25(9): 2406-2412.
- [32] 张远景, 俞滨洋. 城市生态网络空间评价及其格局优化. 生态学报, 2016, 36(21): 6969-6984.