

三峡库区大宁河流域景观格局变化及生态安全格局构建研究^{*}

程植, 林孝松

(重庆交通大学 建筑与城市规划学院, 重庆 400074)

摘要:【目的】为维护三峡库区大宁河流域生态安全,对该流域景观格局变化和生态安全格局进行研究。【方法】基于大宁河流域2000、2010和2020年共3期的土地覆被数据,综合分析研究区景观格局和土地覆被类型的时空演变;遴选生态阻力评价指标,利用ArcGIS建立综合生态阻力面,基于最小累积阻力(Minimum cumulative resistance, MCR)模型、重力模型构建大宁河流域生态安全格局,并提取生态廊道和生态节点。【结果】1) 流域景观格局呈现破碎度、连通度、蔓延度和均匀度均随时间变化不断降低的总趋势;2) 流域内覆被类型以林地和耕地为主,耕地、草地的面积随时间变化而减少,林地、湿地、水域和建设用地的面积随时间变化增加;3) 流域整体生态安全水平较高,以高、较高生态安全为主,两者所对应区域面积占比为64.3%,低和较低生态安全等级的区域面积占比为19.1%;4) 共提取研究区一、二级潜在生态廊道20和23条,得到一、二级生态节点17和49个,结合研究区实际提出研究区“一线两核两区”的生态安全格局优化框架及相应措施。【结论】研究区生态安全总体较好,但存在空间异质性较强特点,今后需要在总体优化框架下协调生态环境保护和社会经济发展,进一步提升整个区域生态环境质量。

关键词:景观格局指数;生态安全格局;最小累积阻力(MCR)模型;生态廊道;大宁河流域;三峡库区

中图分类号:X826;P901

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2021)03-0040-10

景观格局(Landscape pattern)是形状、大小各异的景观斑块在空间上的分布,是景观因子和景观生态过程相互作用的结果,是景观生态学的重要组成要素^[1]。景观生态格局是基于景观生态学的确定和建立生态基础设施的有效途径^[2]。当前关于景观格局及生态安全的研究主要集中在时空格局演变^[3]、驱动力分析^[4]、尺度探究^[5]、方法探究等方面,例如:杨苗等人^[6]分析了白洋淀湿地的景观格局时空演变及驱动力因素,并对未来进行了预测;曹瑞娜等人^[7]分析了山东省栖霞市的景观指数,采用聚类分析法对景观进行分区;俞孔坚^[8]基于Forman^[9]的理论总结出景观安全格局的概念及判别方法,不少学者对此加以借鉴并将之广泛应用于区域生态安全评价^[10-11];韩世豪等人^[12]在划定生态保护红线基础上选择生态源地、选取阻力因子,运用最小累积阻力(Minimum cumulative resistance, MCR)模型构建了延平区生态安全格局;黄木易等人^[13]以大别山核心区岳西县为研究对象,应用空间数据探索分析法、MCR模型和重力模型评价研究区的生态安全水平,并对生态廊道进行识别提取;刘希朝等人^[14]从多个层面综合选取生态源地,构建单个景观生态安全格局,并通过加权叠加方法得到徐州市综合景观生态安全格局。从上述研究可以发现,有关学者在研究景观格局和生态安全格局时,将注意力主要集中在格局演变、安全评价等方面,并取得了较为丰富的成果,尤其是在研究方法体系等方面。

在已有研究中,有关研究区域主要集中在城市建成区或生态脆弱区,研究尺度以县域尺度为主;本研究则以三峡库区秦巴水土保持和生物多样性生态功能区内的的大宁河流域为研究区域,从镇域尺度出发,在对研究区2000—2020年间景观格局和土地覆被时空演变分析基础上,从地形、生态胁迫、生态属性等方面遴选生态阻力指标,基于MCR模型对研究区生态安全水平进行评价,并对生态廊道和生态节点进行识别提取,提出生态安全格局优化框架,有关研究成果可望为大宁河流域生态安全维护提供准确的参考资料和理论依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

大宁河流域位于三峡库区的核心地带,三峡水库的修建改变了该流域的态势。以该流域范围为基准,为不

^{*} 收稿日期:2020-12-07 修回日期:2021-01-18 网络出版时间:2021-05-20 10:33

资助项目:国家自然科学基金(No. 41601564);重庆市基础研究与前沿探索项目(No. cstc2018jcyjAX0156)

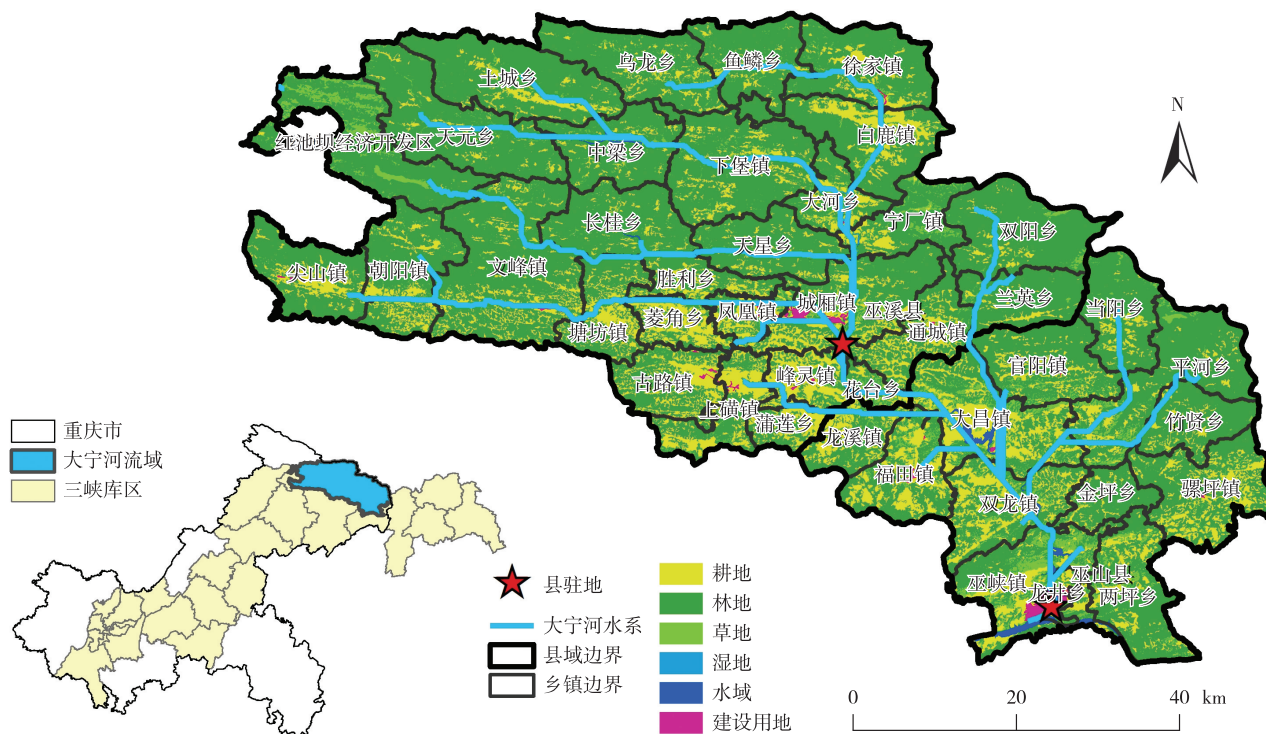
第一作者简介:程植,女,研究方向为3S集成与应用,E-mail:595357297@qq.com;通信作者:林孝松,男,教授,博士,E-mail:lxsgis@163.com

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20210520.0843.002.html

打破乡镇行政界线,本研究以乡镇为单元,适当扩大了大宁河流域集水区范围,其中包括重庆市巫溪县 29 个乡镇和巫山县 13 个乡镇,研究区总面积为 5 230 km²。研究区的高程范围为 43~2 793 m,平均高程为 1 325 m,北部、东部高而中部、南部低,大宁河从研究区中部穿过并在南部注入长江。研究区地貌类型以山地和丘陵为主,地形起伏度大。研究区内气候为亚热带季风性气候,雨热同期、雨量充沛,年平均降水量达 1 063 mm,年平均气温为 17.9℃。研究区属多暴雨区,雨季为 4—10 月,此期间降水量达全年降水量的 90%^[15]。区内土地覆被类型以林地为主,2020 年当地林地面积占比为 75.6%,耕地占比为 18.2%(图 1)。截至 2018 年底,研究区总人口达 50.64 万人,其中巫溪县 31.42 万人,巫山县 19.22 万人。

1.2 数据来源

研究使用的数据主要包括研究区 DEM、土地覆被类型、植被覆盖度、道路网、河流网、风景名胜区、城镇中心数据等。1) DEM 数据下载自地理空间数据云平台,分辨率为 30 m×30 m,利用该数据提取研究区坡度和起伏度;2) 土地覆被类型数据来自 30 m 空间分辨率全球地表覆被数据 2000,2010 和 2020 年版(<http://www.globallandcover.com>),将研究区的土地划分为林地、草地、耕地、湿地、水域和建设用地共 6 个类型;3) 植被覆盖度数据为 Landsat 8 遥感影像预处理后通过计算均一化植被指数(NDVI)得到,Landsat 8 影像数据下载自地理空间数据云平台,分辨率为 30 m×30 m;4) 道路网、河流网、风景名胜区和城镇中心数据来自全国地理信息资源目录服务系统(<http://www.webmap.cn/>)中 1:25 万全国基础地理数据。



注:底图来源于重庆市标准地图服务(<http://www.cqmap.com/bzdt/foot.html>),审图号:渝 S(2019)055 号;下同

图 1 大宁河流域地理区位及 2020 年土地覆被类型分布

Fig. 1 The geographical location and land cover type distribution map of Daning river basin in 2020

2 研究方法

2.1 景观格局指数

景观格局指数能够对区域的景观格局特征进行量化的描述,常见指数包括斑块面积指数、形状指数、构型指数、多样性指数等。在已有研究基础上,结合研究区特征,共选取斑块数、景观形状指数、分维数、连接度、蔓延度、香农均匀度等 6 个景观格局指数,相关数值由景观格局分析软件 Fragstats 4.3 计算得到。斑块数与景观的破碎度有很好的正相关性,它对许多生态过程都有影响;景观形状指数和分维数反映景观内斑块形状的复杂程度,一定程度上反映人类活动对景观格局的影响;连接度是对景观斑块相互之间连续性的度量,可定量描述景观

生境连接状况;蔓延度描述景观不同斑块类型的团聚程度或延展趋势,高蔓延度值表明景观中某种优势斑块类型形成了良好的连接性,该指标可用于生态风险评估;香农均匀度是比较景观多样性变化的一个有力手段,该指数越小优势度越高,可反映景观受几种或少数几种优势斑块类型所支配的程度。

2.2 生态阻力成本指标量化分级

在相关研究基础上^[10,16-17],结合研究区特点,从地形、生态胁迫、生态属性等 3 个方面选取高程、坡度、起伏度、距河流距离、距道路距离、距城镇中心距离、距风景名胜区分距离、土地覆被类型和植被覆盖度共 9 个生态阻力成本指标,将各指标阻力量化为 1,3,5,7,9;并使用 AHP 层次分析法对各指标赋予相应权重(表 1)。

表 1 大宁河流域生态阻力成本指标值划分
Tab.1 The division of ecological resistance cost index in Daning river basin

层次	指标	权重	阻力值				
			1	3	5	7	9
地形	高程/m	0.092 3	<600	600~1150	>1 150~1 700	>1 700~2 250	>2 250
	坡度/(°)	0.167 7	<6	6~15	>15~25	>25~35	>35
	起伏度/m	0.050 8	<25	25~50	>50~75	>75~100	>100
生态胁迫	距河流距离/m	0.094 5	<250	250~500	>500~750	>750~1 000	>1 000
	距道路距离/m	0.048 4	>2 000	>1 500~2 000	>1 000~1 500	500~1 000	<500
	距城镇中心距离/m	0.034 5	>5 000	>3 500~5 000	>2 000~3 500	500~2 000	<500
	距风景名胜区分距离/m	0.018 4	<1 000	1 000~2 000	>2 000~3 000	>3 000~4 000	>4 000
生态属性	土地覆被类型	0.328 9	林地	水体、湿地	草地	耕地	建设用地
	植被覆盖度/%	0.164 5	>80	>65~80	>50~65	35~50	<35

2.3 生态安全格局构建

2.3.1 MCR 模型 MCR 模型是一种计算从源到目的地过程中所花费代价的模型,由生态学家 Knaapen^[18]在 1992 年提出,起初用于物种扩散的研究。一些学者对该模型进行了改进^[12,19],目前已将它广泛应用到土地开发评价、生态安全评价等方面^[10,20-21]。该模型可写为:

$$V_{MCR} = f_{min} \sum (D_{ij}R_j)。$$

式中: V_{MCR} 为 MCR 值; f_{min} 为反映 V_{MCR} 与变量 D_{ij} 和 R_j 间正比关系的函数; D_{ij} 是以源地 i 为中心,该源地到目的地 j 点的距离; R_j 为目的地的生态阻力值; i,j 分别为生态源地、目的地的数目。

2.3.2 重力模型 源与目的地作用的强度可以判别生态廊道的重要性。重要生态廊道生态环境较好,物种迁移扩散所耗费的阻力也较小,会极大地增加迁移扩散过程中的生存率。重力模型可以对源与目的地之间的作用强度进行量化,提取出区域重要潜在生态廊道。重力模型计算公式为:

$$G_{ab} = \frac{N_a N_b}{D_{ab}^2} = \frac{\frac{\ln S_a}{P_a} \cdot \frac{\ln S_b}{P_b}}{\left(\frac{L_{ab}}{L_{max}}\right)^2} = \frac{L_{max}^2 \ln S_a \ln S_b}{L_{ab}^2 P_a P_b}。$$

式中: G_{ab} 为斑块 a 和 b 间的作用强度; N_a 和 N_b 为斑块 a 和 b 的权重值; D_{ab} 为斑块 a 和 b 间潜在廊道阻力值; P_a 和 P_b 分别为斑块 a 和 b 的阻力值; S_a 和 S_b 分别为斑块 a 和 b 的面积; L_{ab} 为斑块 a 和 b 之间廊道的累积阻力值; L_{max} 为研究区中所有廊道的最大累积阻力值。

2.3.3 生态廊道判别 生态廊道是生态源地进行物质和能量交换的通道,一般由植被、水体等生态性结构要素构成^[22]。ArcGIS 的成本路径工具可以计算出生态源地和目的地之间的最短耗费路径,该路径是物质和能量流动和扩散的最佳路径。在研究中,首先利用成本距离工具建立生态源地 MCR 面,然后基于 MCR 面,利用成本路径工具得到每个生态源到其他生态源之间的最小累积耗费路径,从而提取研究区的生态廊道。

2.3.4 生态节点判别 生态节点是生态廊道上生态功能最薄弱的点,是物质和能量流动的关键点。结合研究区的环境和地形特点,运用 ArcGIS 的空间分析功能提取研究区生态廊道之间的交点作为流域的生态节点。

3 结果与分析

3.1 大宁河流域景观格局指数分析

表 2 显示:2000—2020 年间,研究区景观的斑块数、景观形状指数、分维数、蔓延度均有所下降,降幅分别为 5.27%,4.85%,0.36%和 14.50%;连接度和香农均匀度则呈现先下降后小幅上升趋势,总体降幅分别为 3.03%和 0.79%。总体上看,斑块数、景观形状指数和分维数的下降表明研究区景观破碎度降低,形状不规则性略有下降,人类活动对生态环境的干扰有所下降;连接度下降表明整体连通度降低;蔓延度降低表明研究区景观斑块之间团聚程度减弱,优势斑块连接性降低,即林地的连接性降低;香农均匀度下降,景观的优势度增加,主要是由于耕地和草地向林地转化的缘故。研究区 2000—2020 年间斑块数、景观形状指数、分维数、连接度、蔓延度、香农均匀度的总体下降趋势体现了大宁河流域生态环境总体向好以及生态安全层级的综合提高,但提升的幅度并不大。

表 2 大宁河流域 2000—2020 年景观格局指数
Tab. 2 Landscape pattern index in Daning river basin from 2000 to 2020

景观格局指数	2000 年	2010 年	2020 年	景观格局指数	2000 年	2010 年	2020 年
斑块数/个	40 072	38 208	37 960	连接度	0.036 3	0.035 1	0.035 2
景观形状指数	98.455 9	93.764 6	93.681 8	蔓延度	67.766 0	58.635 9	57.943 0
分维数	1.396 3	1.393 5	1.391 3	香农均匀度	0.456 6	0.444 7	0.453 0

3.2 大宁河流域土地覆被类型变化

研究区土地覆被类型以林地和耕地为主,两者面积总和占研究区总面积的 93%以上。从表 3 可知:2000—2020 年间,研究区的耕地、草地面积减少,减少面积分别为 9.1,75.1 km²;林地、湿地、水域、建设用地面积增加,增加面积分别为 44.0,2.8,27.1 和 10.2 km²。三峡水库的建成和蓄水对研究区的土地覆被类型结构造成了较大的影响,水域面积从 2000 年的 9.9 km² 增加到 2020 年的 37.0 km²,面积占比提高了 0.33%,并增加了湿地类型;建设用地面积也明显增加,从 2000 年的 10.7 km² 增加到 2020 年的 20.9 km²,几乎增加了 1 倍;近年来退耕还林、生态修复等工程的实施使耕地、草地向林地进行转变,整体生态用地面积和质量均得到不同程度提升。

表 3 大宁河流域 2000—2020 年土地覆被类型变化
Tab. 3 Change of land cover types in Daning river basin from 2000 to 2020

土地覆被 类型	2000 年		2010 年		2020 年		2000—2020 年	
	面积/km ²	面积占比/%	面积/km ²	面积占比/%	面积/km ²	面积占比/%	面积/km ²	面积占比/%
耕地	960.841 4	18.371 6	957.854 9	18.314 4	951.754 5	18.197 7	−9.087 0	−0.173 9
林地	3 914.011 7	74.837 2	3 969.600 2	75.899 5	3 958.060 3	75.678 9	44.048 6	0.841 7
草地	334.558 1	6.396 9	254.983 2	4.875 3	259.476 6	4.961 2	−75.081 5	−1.435 6
湿地	—	—	2.674 8	0.051 1	2.839 8	0.054 3	2.839 8	0.054 3
水域	9.923 3	0.189 7	31.455 7	0.601 4	37.037 3	0.708 2	27.114 0	0.518 4
建设用地	10.702 8	0.204 6	13.504 6	0.258 2	20.902 9	0.399 7	10.200 0	0.195 0

3.3 大宁河流域生态安全评价

3.3.1 生态阻力成本指标重分类 遴选 9 个对生态过程有重要影响的阻力因子来构建生态阻力。高程、坡度和起伏度均不同程度地影响研究区土地资源的分布及开发利用;城镇和道路对于生态环境存在一定干扰作用,距行政中心和道路越近,越不利于生态源地的扩展;大面积的水体和风景名胜區有利于改善生态环境;土地覆被类型影响生态源地内外部物质与能量流通;植被覆盖度越高对物种多样性的恢复促进作用越强。结合实际将研究区各生态阻力成本指标数据按照表 1 的分类标准,利用 ArcGIS 距离分析和重分类功能,得到大宁河流域各生态阻力成本指标重分类等级图(图 2)。

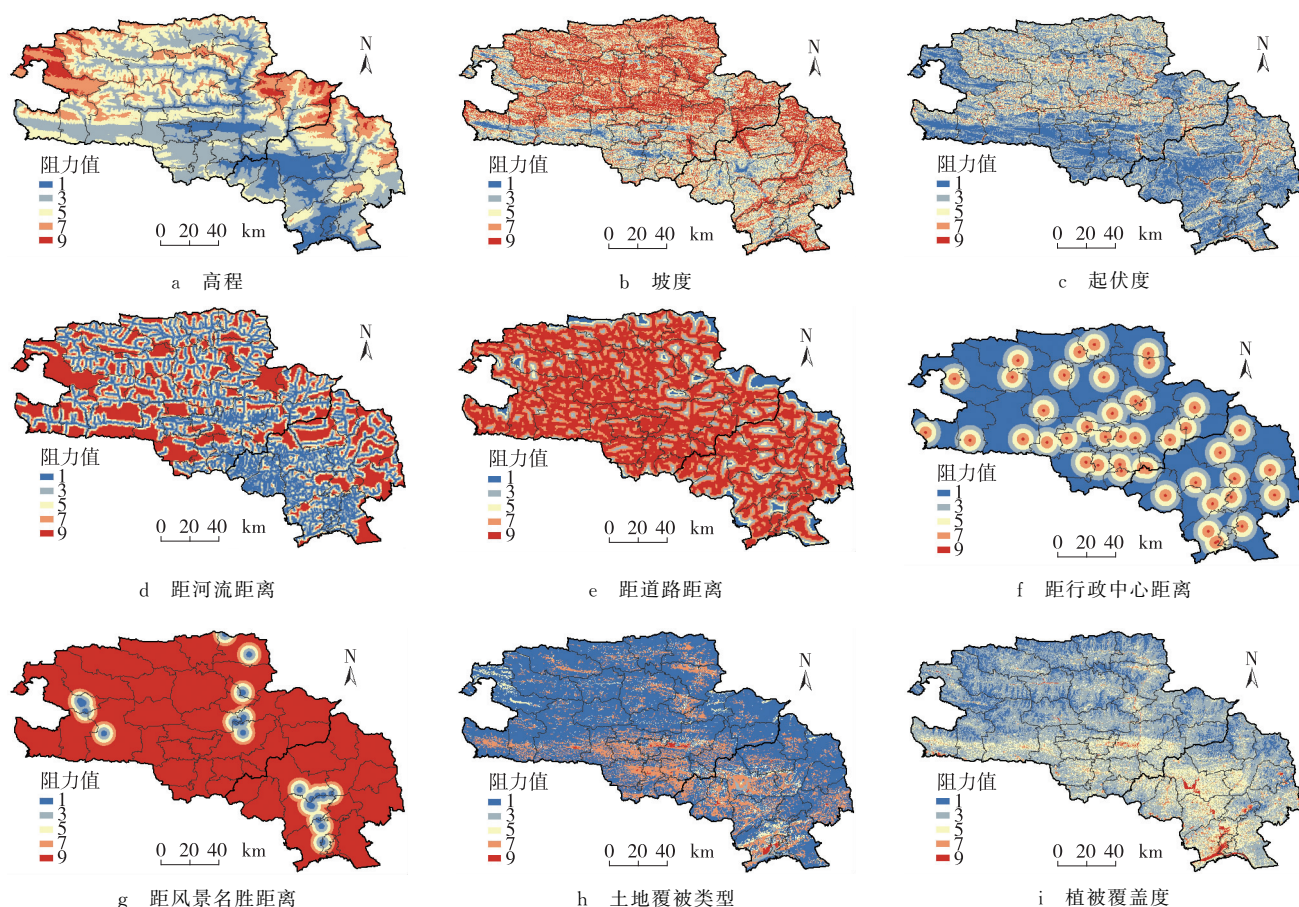


图 2 大宁河流域生态阻力成本指标重分类等级

Fig. 2 Ecological resistance cost index reclassification grade of Daning river basin

3.3.2 综合生态阻力面 阻力面的确定是构建 MCR 模型的基础,根据表 1 指标阻力值和权重,利用 ArcGIS 栅格计算器建立综合生态阻力面,并以自然断点法对结果进行 4 级划分,即低阻力(1.40~3.28)、较低阻力(>3.28~4.03)、中等阻力(>4.03~4.93)和高阻力(>4.93~7.77)。其中较低阻力区的面积最大,为 2 076.3 km²,占研究区总面积的 39.70%;中等阻力区的面积和低阻力区的面积相差不大,分别为 1 145.2,1 235.5 km²,面积占比分别为 21.9%,23.62%;高阻力区面积最小,为 773.0 km²,面积占比为 14.78%(图 3)。

由图 3 可知,高阻力区散布于研究区内,但在流域中下游的分布相对集中;这些区域的海拔较低,地形起伏度和坡度较缓,植被覆盖度较低,土地类型以耕地、草地和建设用地为主,距离道路、城镇中心较近,距河流较远,极易受到人类活动影响,生态环境易遭受破坏。中等阻力区主要分布在高阻力区的外围。低阻力区的分布也较为分散,在流域北部和下游的分布稍有集中;这些区域海拔较高,地形起伏度和坡度大,植被覆盖度高,土地类型以林地为主,距离道路、城镇中心较远,距河流较近,不易受到人类活动干扰,生态环境维持得较好。较低阻力区主要分布在低阻力区的周边。总体来看,4 个等级区呈现大散布、小集中的分布特征。对比分析表明:在高阻力区和中等阻力区,斑块数、景观形状指数、分维数等 3 个指数的值较高,景观的形状较为破碎,连接度、蔓延度和香农均匀度较低,区域景观优势种不明显;低阻力区和较低阻力区的情况则相反,斑块数、景观形状指数、分维数等 3 个指数的值较低,连接度、蔓延度、香农均匀度较高。景观格局指数在一定程度上能够反映区域生态安全状况。

3.3.3 基于 MCR 模型的生态安全评价 根据研究区自然条件和资源分布情况,选取植被覆盖度较高的林地和大面积水面作为生态源地,共选取得到 18 个斑块,其中包括 16 个林地斑块和 2 个水域斑块,共计 828.9 km²,占研究区总面积的 15.8%。基于流域综合生态阻力面,利用 MCR 模型,使用 ArcGIS 成本距离工具得到研究区生态 MCR 面。由图 4 可知,研究区生态累积阻力值在 0~90 890.1 之间,生态累积阻力值呈现出以生态源地为中心随距离往外围而不断递增的总体分布特征,其中高值区主要分布在流域中部的古路镇、上磺镇、菱角乡和流域下游的骡坪镇,此外在流域上游的红池坝开发区和尖山镇也有小面积分布。

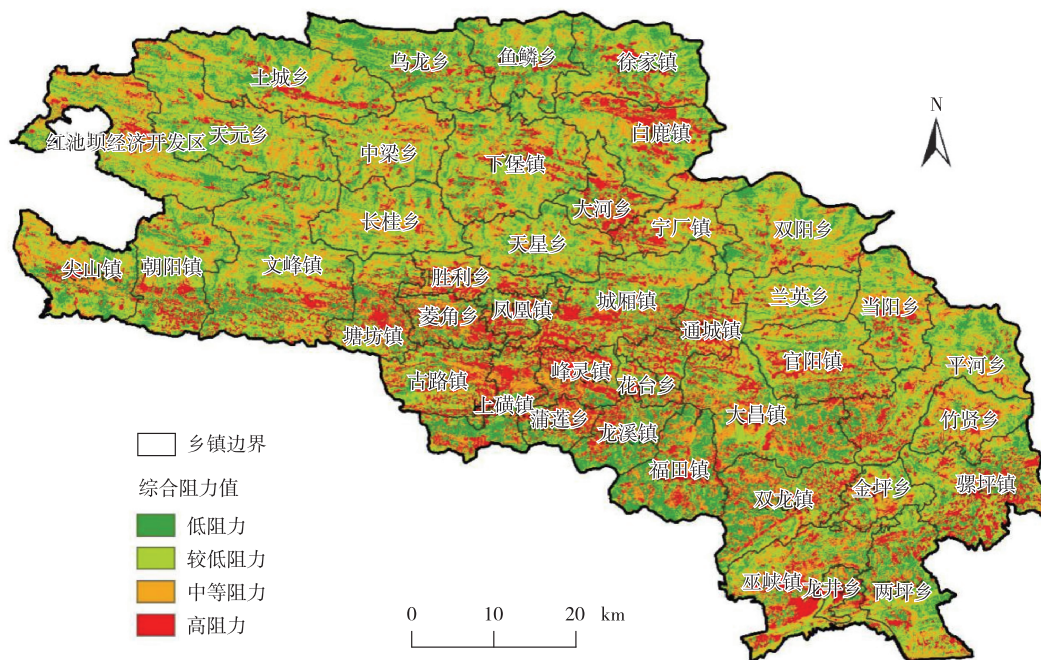


图3 大宁河流域综合生态阻力分级

Fig. 3 Classification of comprehensive ecological resistance in Daning river basin

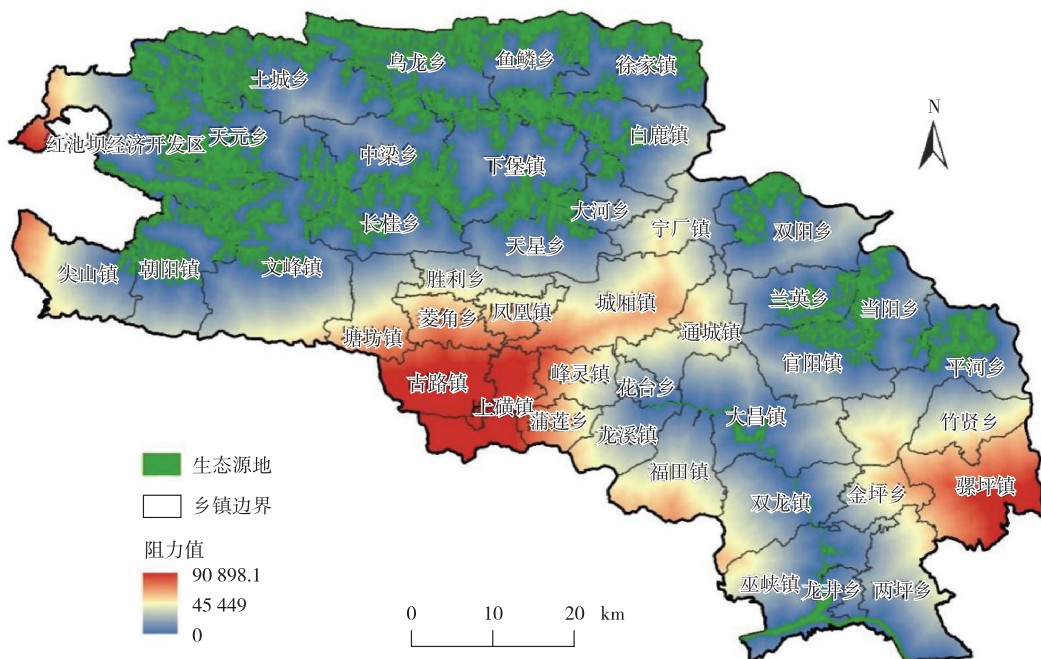


图4 大宁河流域生态MCR面

Fig. 4 Ecological minimum cumulative resistance surface in Daning river basin

为便于乡镇层面的管理,基于乡镇边界利用 ArcGIS 分区统计工具对研究区生态 MCR 面进行平均汇总,并以自然断点法对结果进行分级。将研究区生态安全等级分为 5 级,即低安全($>39\ 808.97\sim64\ 711.50$)、较低安全($>23\ 961.90\sim39\ 808.97$)、中等安全($>13\ 145.65\sim23\ 961.90$)、较高安全($>5\ 347.89\sim13\ 145.65$)和高安全($568.61\sim5\ 347.89$)(图 5)。

由图 5 可知:高安全区主要集中分布在流域的北部以及流域下游的兰英乡、当阳乡、龙井乡等地,共计 12 个乡镇,面积达 $1\ 647.5\text{ km}^2$,面积占比为 31.5%;较高安全区主要分布在高生态安全区北部的外围和流域中下游区域,共计 11 个乡镇,面积达 $1\ 715.4\text{ km}^2$,面积占比为 32.8%;中等安全区主要分布在流域中下游较高生态安全区的外围以及流域北部的尖山镇,共计 8 个乡镇,面积达 868.2 km^2 ,面积占比为 16.6%;较低安全区除集中分布在流域中部低安全区外围外,在下游的金坪、竹贤两乡也有分布,共计 8 个乡镇,面积为 643.3 km^2 ,面积占

比为 12.3%;低安全区主要集中在古路、上磺和骡坪 3 镇,面积为 355.6 km²,面积占比为 6.8%。综合来看,流域整体生态安全水平较高,以高和较高安全等级为主,高和较高安全区面积占比为 64.3%,低和较低安全区面积占比为 19.1%。

从研究区各乡镇的人口密度(图 5)和 MCR 值对比来看,两者具有较强的相关性:人口密度越大,MCR 值越大,生态安全等级越低。综合来看,研究区内海拔较低、地形起伏度和坡度较平缓的地区,人口密度一般较大,对土地开发利用的程度较强,对生态环境的干扰也较强,而生态安全等级也相对较低。

3.4 大宁河流域生态安全格局及优化

3.4.1 潜在生态廊道 在本研究中,共得到 153 条潜在生态廊道,总长度 3 985.5 km。通过重力模型判别潜在生态廊道的重要程度,将 10 000 和 5 000 作为划分重要性程度的阈值,从而可得到大于 10 000 的一级潜在廊道 20 条,总长度 264.4 km,占有所有潜在生态廊道总长度的 6.6%;5 000~10 000 之间的二级潜在廊道 23 条,总长度 570.0 km,占有所有潜在生态廊道总长度的 14.3%;小于 5 000 的一般潜在廊道 110 条,总长度 3 151.1 km,占有所有潜在生态廊道总长度的 79.1%。一、二级潜在生态廊道主要分布于研究区的北部,即连接大型、连续的生态源地,是物质和能量流通的低阻力通道,而一般潜在廊道连接生态源地需穿越累积阻力值较大的区域,不利于物质和能量的流通(图 6)。

3.4.2 生态节点 本研究提取得到的研究区一、二级生态节点分别为 17 和 49 个。一级生态节点主要集中分布在流域的上游,该区域内有较大的林地生态源地;二级生态节点大部分位于经过土城乡、文峰镇、天元乡、长桂乡和下堡镇的二级生态廊道上(图 6)。一级、二级生态节点在生态安全格局中处于重要的战略位置,因此要维持保护好这些节点,提高它们的连通性,保持它们的稳定性。

3.4.3 生态安全格局优化 大宁河作为长江三峡库区段的重要支流,它的生态环境质量状况对于维持库区生态环境质量具有重要的意义。研究区应持续坚持以旅游和生态保护为主的发展理念,承担维护区内生物多样性、保障国家生态安全的重要职责。因此在前述研究基础上,结合研究区实际,本研究提出“一线两核两区”的生态安全格局优化总体框架及相应措施,具体如下。

1) 大宁河干线。三峡工程蓄水后,水位的季节性变动易导致库区局部水域水质恶化,水污染防治任务繁重。由此应加强干线上中下游生态保护协同关系,严格执行临河缓冲区水土保持及消落区生态环境综合整治的有关措施;按照国家长江禁渔新政和重庆市的相关方案要求,实施有针对性的禁捕政策,加强水生生物资源多样性保护,建立生态节点监测点,促进大宁河水域生态环境修复;加大干线一定范围内各型水库湖泊、陡坡地形区等生态敏感区的生态保护和修复,建立并完善多层次、上下游间合理协调的生态补偿机制。

2) 古路-上磺和骡坪两核。在两核及周边区域倡导适度开发,大力发展生态旅游业,生产加工绿色农产品,形成特色经济,提升经济总量与综合经济实力。处理好重点产业布局与城乡、区域协调发展的关系,在促进城乡发展的同时带动周边村镇的协调发展,促进产业结构和经济结构调整。增大地方生态环境建设投入,强化环境基础设施建设,增强综合治理能力。加强农村的污染整治,退耕还林、还草制度需进一步完善和坚持,从而改善生态环境质量,降低生态环境阻力。

3) 流域北部-中部两区。在现有基础上进一步建设好北部山地亚热带常绿阔叶林生态系统,提升生态环境质量,促进生物多样性保护。对于生态环境保护核心区,应禁止一切生产性活动,强化中部地区生态林地资源数量和质量维护的提升,确保总体生态环境的向好趋势。加强两区现有生态廊道连通性,提升北部区域廊道和节点质量,注重中部区域廊道数量建设和现有生态廊道沿途生态环境和生态节点维护。

4 结束语

以大宁河流域为研究区,使用景观格局指数、MCR 模型、重力模型等研究方法,分析了 2000—2020 年研究区景观格局和土地覆被类型时空演变,计算得到综合生态阻力值和 MCR 面,对研究区生态安全等级进行了划分,并在此基础上提出了研究区生态格局优化总体框架和措施。本研究的主要结果如下:

1) 2000—2020 年间大宁河流域景观格局呈现破碎度降低、连通度降低、蔓延度降低、均匀度降低的趋势。

2) 大宁河流域以林地和耕地为主,2000—2020 年流域内耕地、草地面积随时间变化减少,林地、湿地、水域、建设用地面积随时间变化增加,生态用地面积和质量均得到不同程度的提升。

3) 大宁河流域整体生态安全水平较高,高和较高生态安全区域面积为 3 359.7 km²,面积占比为 64.3%,低和较低生态安全区域面积为 1 001.1 km²,面积占比为 19.1%。

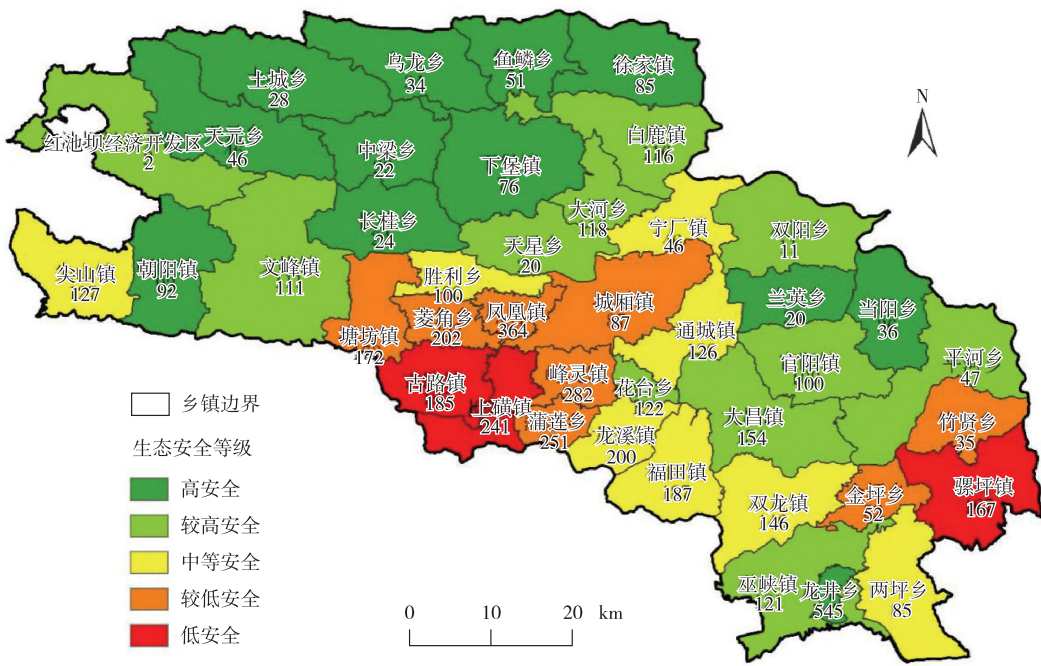


图 5 大宁河流域生态安全等级划分

Fig. 5 Classification of ecological security in Daning river basin

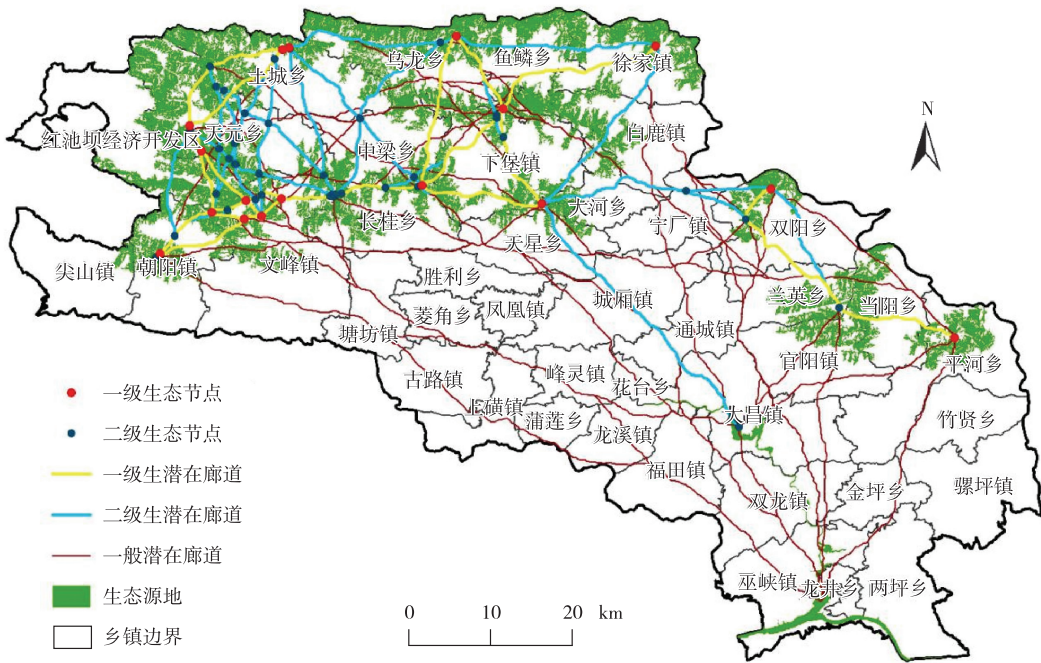


图 6 大宁河流域潜在生态廊道及生态节点分布

Fig. 6 Distribution of potential ecological corridors and ecological nodes in Daning river basin

4) 共提取出研究区一、二级潜在生态廊道 20 和 23 条,一般潜在生态廊道 110 条,得到一、二级生态节点 17 和 49 个,并结合研究区实际提出了研究区“一线两核两区”生态安全格局优化框架及相应保护措施。

总之,研究区的生态安全总体较好,但存在空间异质性较强特点,今后还需在总体优化框架下协调区内生态环境保护和社会经济发展,进一步提升整个区域生态环境质量。

参考文献:

[1] MONICA G, TURNE R. Landscape ecology: what is the state of the science?[J]. Annual Review of Ecology, Evolution, and

- Systematics, 2005, 36: 319-344.
- [2] 官冬杰, 赵祖伦, 王秋艳, 等. 三峡库区景观生态安全格局优化研究: 以重庆市开州区为例[J]. 水土保持通报, 2018, 38(2): 171-177.
GUAN D J, ZHAO Z L, WANG Q Y, et al. Pattern optimization of landscape ecology security in Three Gorges reservoir region: a case study of Kaizhou district of Chongqing city[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(2): 171-177.
- [3] BOGAERT J. Book review multifunctional landscapes[J]. Landscape Ecology, 2006, 21(3): 465-467.
- [4] 胡金明, 李杰, 袁寒, 等. 纳帕海湿地季节性景观格局动态变化及其驱动[J]. 地理研究, 2010, 29(5): 899-908.
HU J M, LI J, YUAN H, et al. Seasonal landscape pattern change and its driving forces of the Napahai wetland[J]. Geographical Research, 2010, 29(5): 899-908.
- [5] 杨丽, 甄霖, 谢高地, 等. 泾河流域景观指数的粒度效应分析[J]. 资源科学, 2007, 29(2): 183-187.
YANG L, ZHEN L, XIE G D, et al. Effects on changing grain size of landscape indices in Jinghe watershed[J]. Resources Science, 2007, 29(2): 183-187.
- [6] 杨苗, 龚家国, 赵勇, 等. 白洋淀区域景观格局动态变化及趋势分析[J]. 生态学报, 2020, 40(20): 7165-7174.
YANG M, GONG J G, ZHAO Y, et al. Analysis of dynamic change and trends in the landscape pattern of the Baiyangdian region [J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(20): 7165-7174.
- [7] 曹瑞娜, 齐伟, 李乐, 等. 基于流域的山区景观格局分析和分区研究: 以山东省栖霞市为例[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(7): 859-865.
CAO R N, QI W, LI L, et al. Catchment-based landscape patterns and divisions in mountain areas: a case study of Qixia city in Shandong province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2014, 22(7): 859-865.
- [8] 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.
- [9] FORMAN R T T. Land mosaics: the ecology of the landscapes and regions[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1995.
- [10] 蒙古军, 王雅, 王晓东, 等. 基于最小累积阻力模型的贵阳市景观生态安全格局构建[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(7): 1052-1061.
MENG J J, WANG Y, WANG X D, et al. Construction of landscape ecological security pattern in Guiyang based on MCR model [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2016, 25(7): 1052-1061.
- [11] 王旭熙, 彭立, 苏春江, 等. 基于景观生态安全格局的低丘缓坡土地资源开发利用: 以四川省泸县为例[J]. 生态学报, 2016, 36(12): 3646-3654.
WANG X X, PENG L, SU C J, et al. Development and utilization of low-slope hilly land resources based on a landscape security pattern theory: a case study in Luxian county, Sichuan province [J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(12): 3646-3654.
- [12] 韩世豪, 梅艳国, 叶持跃, 等. 基于最小累积阻力模型的福建省南平市延平区生态安全格局构建[J]. 水土保持通报, 2019, 39(2): 192-198.
HAN S H, MEI Y G, YE C Y, et al. Construction of ecological security pattern in Yanping district of Nanping city, Fujian province based on minimum cumulative resistance model[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(2): 192-198.
- [13] 黄木易, 岳文泽, 冯少茹, 等. 基于 MCR 模型的大别山核心区生态安全格局异质性及优化[J]. 自然资源学报, 2019, 34(4): 771-784.
HUANG M Y, YUE W Z, FENG S R, et al. Analysis of spatial heterogeneity of ecological security based on MCR model and ecological pattern optimization in the Yuexi county of the Dabie mountain area[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(4): 771-784.
- [14] 刘希朝, 李效顺, 韩晓彤, 等. 基于最小阻力模型的资源型城市景观安全格局诊断研究: 以徐州市为例[J]. 生态经济, 2020, 36(6): 221-229.
LIU X Z, LI X S, HAN X T, et al. Research on diagnosis of resource-based urban landscape safety pattern based on MCR model: a case study of Xuzhou city[J]. Ecological Economy, 2020, 36(6): 221-229.
- [15] 冯家兄, 陈沐希, 闫雪. 论巫溪县大宁河流域气候地域特征[J]. 环球人文地理, 2014(16): 33.
FENG J X, CHEN M X, YAN X. On the regional climate characteristics of Daning river basin in Wuxi county[J]. Cultural Geography, 2014(16): 33.
- [16] 魏海, 秦博, 彭建, 等. 基于 GRNN 模型与邻域计算的低丘缓坡综合开发适宜性评价: 以乌蒙山集中连片特殊困难片区为例[J]. 地理研究, 2014, 33(5): 831-841.
WEI H, QIN B, PENG J, et al. Evaluation on comprehensive exploitation suitability of low-slope hilly land based on GRNN model and neighborhood calculation: a case study of Wumeng mountain continuous poverty-stricken region[J]. Geographical

- Research, 2014, 33(5): 831-841.
- [17] 李健飞, 李林, 郭砾, 等. 基于最小累积阻力模型的珠海市生态适宜性评价[J]. 应用生态学报, 2016, 27(1): 225-232.
LI J F, LI L, GUO L, et al. Assessment on The ecological suitability in Zhuhai city, Guangdong, China, based on minimum cumulative resistance model[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(1): 225-232.
- [18] KNAAPEN J P, SCHEFFER M, HARMS B. Estimating habitat isolation in landscape planning[J]. Landscape and Urban Planning, 1992, 23(1): 1-16
- [19] 陈利顶, 傅伯杰, 徐建英, 等. 基于“源-汇”生态过程的景观格局识别方法: 景观空间负荷对比指数[J]. 生态学报, 2003, 23(11): 2406-2413.
CHEN L D, FU B J, XU J Y, et al. Location-weighted landscape contrast index: a scale independent approach for landscape pattern evaluation based on “source-sink” ecological processes[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(11): 2406-2413.
- [20] 蒋佳佳, 邵景安, 谭少军, 等. 重庆两江新区低丘缓坡开发建设生态适宜性评价[J]. 地理研究, 2019, 38(6): 1403-1419.
JIANG J J, SHAO J A, TAN S J, et al. Evaluation on ecological suitability for development and construction of gentle hillside in Liangjiang new area[J]. Geographical Research, 2019, 38(6): 1403-1419.
- [21] 李航鹤, 马腾辉, 王坤, 等. 基于最小累积阻力模型(MCR)和空间主成分分析法(SPCA)的沛县北部生态安全格局构建研究[J]. 生态与农村环境学报, 2020, 36(8): 1036-1045.
LI H H, MA T H, WANG K, et al. Construction of ecological security pattern in northern Peixian based on MCR and SPCA[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2020, 36(8): 1036-1045.
- [22] 宁立新, 周云凯, 白秀玲, 等. 鄱阳湖区景观格局季相变化及其优化调控研究[J]. 自然资源学报, 2018, 33(3): 439-453.
NING L X, ZHOU Y K, BAI X L, et al. Research on the seasonal variations and optimization of landscape pattern in Poyang lake region, China[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(4): 771-784.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

Study on Landscape Pattern Change and Ecological Security Pattern Construction of Daning River Basin in Three Gorges Reservoir Area

CHENG Zhi, LIN Xiaosong

(School of Architecture and Urban Planning, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: [Purposes] In order to maintain the ecological security of the Daning River Basin in the Three Gorges Reservoir area, the landscape pattern change and ecological security pattern of the basin were studied. [Methods] Based on the three periods of land cover data of the Daning river basin in 2000, 2010 and 2020, comprehensively analyze the temporal and spatial evolution of the landscape pattern and land cover type in the study area; select ecological resistance evaluation indicators and use ArcGIS to establish a comprehensive ecological resistance surface based on the minimum cumulative resistance (MCR) model and gravity model construct the ecological security pattern of the Daning river basin, and extract ecological corridors and ecological nodes. [Findings] 1) The landscape pattern of the basin presents a general trend in which fragmentation, connectivity, spread, and uniformity all decrease over time. 2) The main types of cover in the basin are forest land and cultivated land. The area of cultivated land and grassland decreases with time, and the area of forest land, wetland, water area and construction land increases with time. 3) The overall ecological security level of the basin is relatively high, with high, The higher ecological security is the main factor, and the area corresponding to the two areas accounted for 64.3%, and the area of the lower and lower ecological security grades accounted for 19.1%. 4) A total of the first and second potential ecological corridors in the study area were extracted 20 and 23, 17 and 49 first- and second-level ecological nodes have been obtained. Based on the actual situation of the research area, the ecological security pattern optimization framework and corresponding measures of the “first line, two cores and two areas” in the research area are proposed. [Conclusions] The ecological security of the study area is generally good, but there is strong spatial heterogeneity. In the future, it is necessary to coordinate ecological environmental protection and social and economic development under the overall optimization framework to further improve the ecological environment quality of the entire region.

Keywords: landscape pattern index; ecological security pattern; MCR model; ecological corridor; Daning river basin; Three Gorges reservoir area