

# 基于生态保护重要性的江西省瑞金市 生态安全格局构建

严政, 王壮壮, 周成杰, 李沛鸿

(江西理工大学 测绘工程, 江西 赣州 341000)

**摘要:** [目的] 在国土空间规划背景下, 构建合理的生态安全格局, 为优化县域国土开发格局以及推进城市生态文明建设提供参考。[方法] 参考双评价工作指南, 从生态系统服务功能重要性与生态脆弱性角度对江西省瑞金市进行生态保护重要性评价, 从而识别生态源地, 结合瑞金市的实际情况选取合适阻力因子建立阻力面, 利用最小累计阻力模型识别生态廊道, 综合构建瑞金市生态安全格局。[结果] 通过生态保护重要性评价识别的瑞金市生态源地面积为 1 562. 296 km<sup>2</sup>, 占研究区面积的 64%, 通过乡行政界限修正提取出 13 个生态结点, 以此为基础识别廊道 21 条, 廊道总长度共计 875. 94 km, 综合构建呈“一网三区”的瑞金市生态安全格局。[结论] 通过生态保护重要性评价构建的瑞金市生态安全格局满足政策规划需求, 可为瑞金市及类似城市国土开发格局优化与生态文明建设提供可行的参考方法。

**关键词:** 生态保护重要性; 生态安全格局; 最小累计阻力模型; 生态廊道

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2021)01-0260-07

中图分类号: X37

**文献参数:** 严政, 王壮壮, 周成杰, 等. 基于生态保护重要性的江西省瑞金市生态安全格局构建[J]. 水土保持通报, 2021, 41(1): 260-266. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2021. 01. 036; Yan Zheng, Wang Zhuangzhuang, Zhou Chengjie, et al. Construction of ecological security pattern in Ruijin City of Jiangxi Province based on importance of ecological protection [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(1): 260-266.

## Construction of Ecological Security Pattern in Ruijin City of Jiangxi Province Based on Importance of Ecological Protection

Yan Zheng, Wang Zhuangzhuang, Zhou Chengjie, Li Peihong

(Surveying and Mapping Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou, Jiangxi 341000, China)

**Abstract:** [Objective] In the context of territorial and spatial planning, a reasonable ecological security pattern was constructed to provide references for optimizing the pattern of county territorial development and promoting the construction of urban ecological civilization. [Methods] With reference to the double evaluation work guide, the importance of ecological protection of Ruijin City, Jiangxi Province, was evaluated from the perspective of the importance of ecosystem service functions and ecological vulnerability to identify the ecological source. Based on the actual situation of Ruijin City, appropriate resistance factors were selected to establish resistance by using the least cumulative resistance model to identify ecological corridors and comprehensively construct the ecological security pattern of Ruijin City. [Results] The ecological source area of Ruijin City identified through the evaluation of the importance of ecological protection was 1 562. 296 km<sup>2</sup>, accounting for 64% of the study area. The administrative boundary correction extracted 13 ecological nodes, and 21 corridors were identified on this basis. The total length of the corridors was 875. 94 km, and the ecological security pattern of Ruijin City, which was like “three nets and one district”, was comprehensively constructed. [Conclusion] The ecological security pattern of Ruijin City constructed based on the evaluation of the importance of ecological protection, conforms to the policy tendency. It provides a feasible reference method for the optimization of the land development pattern and the construction of ecological civilization in Ruijin City and similar cities.

收稿日期: 2020-09-03

修回日期: 2020-10-16

资助项目: 江西理工大学“江西理工大学清江青年英才支持计划项目资助”(JXUSTQJB2018002)

第一作者: 严政(1996—), 男(汉族), 江西省新余市人, 硕士研究生, 研究方向为生态评价与生态修复。Email: 296164885@qq.com。

通讯作者: 李沛鸿(1964—), 男(汉族), 江西省九江人, 硕士, 教授, 主要从事遥感影像处理与分析方面研究。Email: 308532145@qq.com。

**Keywords: importance of ecological protection; ecological security pattern; minimum cumulative resistance model; ecological corridor**

实现人与自然和谐发展是建设生态文明和美丽中国的内在要求<sup>[1]</sup>，“十三五”规划期间，城市化的高速发展导致大量的土地开发及土地利用方式的快速转变，让生态环境问题日益严重，进而威胁区域生态安全。生态安全问题也成为被国内外学者和组织所重视的热门课题<sup>[2-4]</sup>。中国国家发展改革委提出了将实施留白增绿战略、构建生态安全格局、科学划定 3 条基本线作为优化国土空间格局和保护区域生态安全的重要方法之一<sup>[5]</sup>。党的十八大报告明确要求“构建科学合理的国土生态安全格局”，习近平总书记也强调“构建科学合理的城镇化推进格局、农业发展格局、生态安全格局，保障国家和区域生态安全，提高生态服务功能”<sup>[6]</sup>。2020 年 1 月自然资源部印发的《资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价指南》中明确指出“生态格局应与生态保护重要性结果相匹配”，这一意见为构建生态安全格局提供了新的理论指导<sup>[7]</sup>。

目前，余孔坚提出的“源地—廊道”的生态安全格局模式已经被认为是构建生态安全格局及对区域生态安全格局进行分析的最基本的一种方式<sup>[8]</sup>。其中源地指的是区域内具有重要生态价值，在区域内起生态功能互相流动扩散作用的重要生境斑块<sup>[8]</sup>，基于不同的目标，众多专家学者从不同的角度进行生态源地识别，现有的方法主要有采用生态服务功能重要性<sup>[9-10]</sup>，生境质量<sup>[11]</sup>，生态红线等<sup>[12]</sup>指标作为选取生态源地的基础。廊道是生态网络体系中连接各个生态源地，进行物质与能量交换的最佳途径，是可以为动物迁徙提供重要通道的线状或带状区域<sup>[13]</sup>。目前常见的提取生态廊道的方法主要有最小累积阻力模型法<sup>[14]</sup>、图论法<sup>[15]</sup>、电流理论等<sup>[16]</sup>，其中最小累积阻力模型(MCR)可以反映出物种空间运动的潜在趋势与源地之间的连通关系，在生态廊道识别以及生态安全格局构建工作中被广泛应用<sup>[17-19]</sup>。现有的许多研究对象都是生态情况较差的区域，识别出的生态源地所占面积比例也偏小，对于高生态价值的区域生态构建方法较少，且评价指标过于复杂，在可实施性方面存在不足。

瑞金市属于原中央苏区振兴发展规划重点红色城市，森林资源丰富，是南方的重要生态屏障之一。本文以瑞金市为研究区，参考资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价指南中的生态保护重要性评价的方法，结合瑞金市实际情况，确定指标体系与分级阈值，从生态系统保护重要性与生态脆弱性两方面进行瑞金市生态保护重要性评价。依据评价结果划

分瑞金市生态保护等级，选取生态保护极重要区域作为生态源地，以乡行政边界进行修正细分并提取各块生态源地的生态节点，利用 MCR 模型识别生态廊道，综合构建瑞金市生态安全格局。为国土空间规划大背景下保证瑞金市经济发展可持续性，优化国土开发格局以及推进城市生态文明建设提供帮助，并给类似区域提供借鉴和参考。

## 1 研究区及数据来源

### 1.1 研究区概况

瑞金市属于赣南区域，地处赣江的东江源头，贡水的上游。介于东经 115°42′—116°22′、北纬 25°30′—26°20′，瑞金市国土总面积为 2 441.40 km<sup>2</sup>，其土地利用方式可分为耕地、园地、林地、草地、交通运输用地、水域、建设用地及其他用地 8 类，其中建成区面积为 29.3 km<sup>2</sup>；瑞金市森林资源丰富，有林地面积 1.87 × 10<sup>5</sup> km<sup>2</sup>，森林覆盖率 75.6%。气候方面，瑞金市属于亚热带季风湿润型气候。年平均气温 18.9℃。月平均气温最高 28.5℃，最低 7.6℃。年平均降雨量 1 710 mm。地势方面，瑞金市东、北、西三面高峻，渐向中、西南方向降低的地势，构成以象湖镇为中心的瑞金盆地，属江西省 4 大盆地之一。瑞金位于武夷山脉南段西侧，地势周边高、中部低，最高点海拔 1 232.9 m，最低点海拔标高 162 m。境内以低山丘陵为主，主要地貌类型有侵蚀中低山区、侵蚀剥蚀丘陵区、溶蚀岩溶区以及河谷堆积阶地等。

### 1.2 数据来源

本研究使用数据主要包括：①土地利用数据，来源于瑞金市自然资源局提供的 2017 年土地利用现状数据库。②遥感影像，来源于地理空间数据云的 Landsat 8 影像，影像条带号为 121 行编号为 42，影像获取时间 2017-12-19。③DEM 数据，来源于地理空间数据云的 GDEM V2 30 m 分辨率数字高程数据。④土壤数据，来源于世界土壤数据库(HWSD)中第二次全国土地调查南京土壤所所提供的 1:100 万土壤数据(HWSD\_China\_Geo)，数据分辨率为 1 km。⑤气象类型数据，降雨量、气温等数据从中国气象数据网获得，通过插值生成栅格影像。

## 2 研究方法

### 2.1 生态保护重要性评价

参考相关技术指南与现有方法理论<sup>[20-23,7,24]</sup>，结合瑞金市实际情况，从生态系统服务功能重要性与生

态脆弱性两个方面选取水源涵养重要性、水土保持重要性、生物多样性重要性、水土流失脆弱性、石漠化脆弱性等 5 个因素进行单项评价,再将单项评价成果进

行集成分析,得到生态保护重要性评价结果,最终将江西省瑞金市生态保护重要性划分为极重要、重要、一般重要这 3 个等级。具体指标见表 1。

表 1 瑞金市生态保护功能指向的资源环境承载力单项评价指标体系

目标层	因素层	指标层
生态系统服务功能重要性	水源涵养	降雨量、蒸散量、径流量
	水土保持	坡度、生态系统类型、植被覆盖度
	生物多样性	土地利用现状
生态脆弱性	水土流失	降雨侵蚀力、土壤侵蚀因子、地形起伏度、植被覆盖度
	石漠化	生态系统类型、坡度、植被覆盖度

(1) 水源涵养重要性。参照双评价指南 2020 年 1 月版中对水源涵养重要性评价的方法,通过降水量减去蒸散量和地表径流量得到的水源涵养量,评价生态系统水源涵养功能的相对重要程度。降水量大于蒸散量较多,且地表径流量相对较小的区域,水源涵养功能重要性较高。一般地,将累积水源涵养量最高的前 50% 区域确定为水源涵养极重要区。水源涵养计算公式如下<sup>[25]</sup>:

$$T(Q) = \sum_i (P_i - R_i - ET_i) \times A_i \times 10^3 \quad (1)$$

式中: $P_i$  为降雨量(mm);  $ET_i$  为蒸散发量(mm);  $A_i$  为  $i$  类生态系统面积( $\text{km}^2$ );  $i$  为研究区第  $i$  类生态系统类型;  $j$  为研究区生态系统类型数;  $R_i$  为地表径流量(mm),地表径流量( $R_i$ ) =  $P_i \times \alpha$ 。

其中: $\alpha$  为平均地表径流系数,按地表生态类型计算,具体参数与指南中一致,生态类型通过土地利用数据进行转换可得。

(2) 水土保持重要性。结合瑞金市实际情况,参照双评价指南中的指标规定,从坡度、植被覆盖度、生态系统 3 个方面评价瑞金市水土保持重要性,将水土保持功能分为极重要区、重要区、一般重要区。具体指标见表 2。其中坡度通过 DEM 计算可得,植被覆盖度通过提取遥感影像的 NDVI 值计算获得,生态系统类型为土地利用现状图转化所得。

表 2 瑞金市水土保持功能重要性评估指标与分级

分区	坡度/(°)	植被覆盖度/%	生态系统类型
极重要区	$\geq 25$	$\geq 80$	森林、灌丛、草地
重要区	$\geq 15$	$\geq 60$	森林、灌丛、草地
一般重要区	$< 15$	$< 60$	湿地、农田、其他

(3) 生物多样性保护。本文生物多样性评价采用 InVEST 模型<sup>[26]</sup> 的 Habitat Quality 模块进行计算,此模块是计算生境质量,利用生境质量的好坏反

映生物多样性的 高低,默认生境质量较好的区域具有较高的生物多样性。生境质量计算公式如下:

$$Q_{xj} = H_j \left[ 1 - \left( \frac{D_{xj}^2}{D_{xj}^2 + k^2} \right) \right] \quad (2)$$

式中: $H_j$  为地类  $j$  的生境适宜度;  $D_{xj}$  为地类  $j$  中栅格  $x$  的生境退化度;  $k$  为半饱和和常数,即退化度最大值的一半;  $z$  为模型默认参数。基于土地利用数据,选取代表人类生产生活的旱地、水田、工矿用地、农村居民点、城镇用地作为动物迁徙过程中的阻碍因子,其中各参数的设置主要参考 InVEST 模型用户手册和一些专家学者发表的文献。具体威胁因子数据与生境类型对于威胁因子的敏感性见表 3—4 所示。将计算出来的结果用自然断点法分为 3 个等级。

表 3 瑞金市生物多样性保护威胁因子数据

威胁因子	最大影响距离/km	权重	衰减方式
旱地	1	0.2	线性
水田	1	0.2	线性
工矿用地	5	0.5	指数
农村居民点	6	0.7	指数
城镇用地	10	1.0	指数

表 4 瑞金市不同生境类型对于威胁因子的敏感性

生境类型	生境适宜性	旱地	水田	工矿用地	农村居民点	城镇用地
草地	0.8	0.8	0.8	0.4	0.7	0.4
未利用土地	0.6	0.5	0.1	0.6	0.7	0.9
林地	1.0	0.5	0.8	0.8	0.2	0.5
水域	0.7	0.2	0.2	0.1	0.3	0.3

(4) 水土流失脆弱性。参考生态保护红线划定指南(2017),通过通用水土流失方程<sup>[24]</sup> 对水土流失脆弱性进行计算,公式如下:

$$\text{水土流失脆弱性} = \sqrt[4]{R \times K \times LS \times C} \quad (3)$$

式中: $R$ ,  $K$ ,  $LS$  和  $C$  分别为降雨侵蚀力因子、土壤可蚀性因子、地形起伏度因子和植被覆盖因子。

降雨侵蚀力因子  $R$  值的计算方法<sup>[27]</sup>如下:

$$R = \left[ \sum_{i=1}^{12} (-1.5527 + 0.1792P_i) \right] \times 17.02 \quad (4)$$

式中:  $P_i$  为月均降雨量(mm)。

$K$  值由以下公式计算可得<sup>[28]</sup>:

$$K = [-0.01383 + 0.51575K_{epic}] \times 0.1317 \quad (5)$$

$$K_{epic} = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256 \times SAN \times (1 - SIL/100)]\} \times \left( \frac{SIL}{CLA + SIL} \right)^{0.3} \times \left[ 1.0 - \frac{0.25C}{C + \exp(3.72 - 2.95C)} \right] \times \left[ 1.0 - \frac{0.7SN_1}{SN_1 + \exp(-5.51 + 22.9SN_1)} \right] \quad (6)$$

式中:  $SAN$ ,  $SIL$ ,  $CLA$  和  $C$  分别为土壤中砂粒(0.05~2 mm)、粉粒(0.002~0.05 mm)、黏粒(<0.002 mm)和有机碳含量(%);  $SN_1 = 1 - SAN/100$ ; 通过土壤数

据库对应中国土壤质地分类表获得瑞金市土壤质地类型图即可得相关因子的值。

植被覆盖度获取方式与水土保持重要性中相同,通过栅格重分类重新分级赋值可得,地形起伏度  $LS$  直接通过 DEM 进行处理获得。计算出的结果通过自然断点法分为 3 个等级。

(5) 石漠化脆弱性。参照双评价技术指南 2019 年 6 月版,用以下公式可算得瑞金市石漠化脆弱性<sup>[26]</sup>:

$$\text{石漠化脆弱性} = \sqrt[3]{D \times P \times C} \quad (7)$$

式中:  $D$ ,  $P$ ,  $C$  分别为生态系统类型、地形坡度和植被覆盖的脆弱性分级值,各因子的赋值见表 5。

将最终的脆弱性分值通过自然断点法划为 3 级,分为石漠化极脆弱区(>7.0)、脆弱区(3.1~7.0)及一般脆弱区(<3.0)。

表 5 石漠化脆弱性评价因子分级赋值

评价因子	高脆弱	较高脆弱	中等脆弱	较低脆弱	低脆弱
生态系统类型	裸地、旱地、园地	草地	灌丛	森林	湿地、建设用地、水田
地形坡度	≥25	15~25	8~15	5~8	≤5
植被覆盖度	≤0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	>0.8
分级赋值	9	7	5	3	1

(6) 生态保护重要性评价。不同生态功能之间彼此相互独立,但结果上为了突出每一项生态功能关于生态安全格局的重要程度,生态保护等级采用最大值法按以下公式进行综合集成:

[生态保护等级]=

$$\max([\text{生态系统服务功能重要性}], [\text{生态脆弱性}])$$

利用 ArcGIS 软件,将生态系统服务功能重要性与生态敏感性评价结果的板块叠加在一起,将所有评价结果为极重要的区域作为生态保护极重要区,同理进行生态保护重要区与生态保护一般重要区的划分。

## 2.2 生态阻力面构建

地形和土地利用类型是生态“源”向外扩散中遭遇阻力的主要来源<sup>[29]</sup>,由于地表基质特征的不同,生态源地中生态能量扩散受到的阻力也不一样。本文选取高程、坡度及土地利用类型作为阻力因子。阻力系数反映了生态能量扩散的难易程度,参考和娟等<sup>[20]</sup>的分级标准,结合瑞金市实际情况,根据生物物种的分布与河流水系对物种迁徙的阻力来设定阻力值。并通过专家打分的方式确定各阻力因子权重。具体阻力值设置见表 6。

表 6 瑞金市生态阻力值设置

阻力因子类型	阻力因子(阻力值)	权重
土地利用类型	耕地(50),园地(100),林地(1),草地(30),交通运输用地(500),水域(5),城市建设用地(500),村庄(400),其他用地(100)	0.6
高程	<300(20),300~600(40),600~900(60),900~1200(80),>1200(100)	0.2
坡度	<5(10),5~8(30),8~15(50),15~25(70),>25(100)	0.2

## 2.3 生态安全格局构建

参考余孔坚的研究,构建生态格局主要步骤包括:生态源地识别、生态阻力面构建、关键生态廊道提取。为了完善生态安全格局,方便对研究区各部分生态要素进行空间结构布局优化,提取各源地的核心点

作为生态结点,形成研究区点—线—面的生态安全格局。

生态源地是指区域间物种扩散、生态功能流动与传递的源点<sup>[30]</sup>,本文采用最大值法对上述生态系统服务功能重要性及生态敏感性的评价结果进行综合

评价,通过 ArcGIS 软件的叠加分析得到生态保护重要性分级区域,将其中极重要的区域作为瑞金市生态源地。

生态结点指的是各个生态源斑块生态价值中心点,本文考虑到生态安全格局的政策方面的易实现性,以瑞金市内乡行政边界作为生态源地的划分标准,再通过 ArcGIS 软件的空间统计工具分别提取各个源地板块中心点作为生态结点。

生态廊道连接生态源地,是物种空间运动和生态功能流动的载体,是保证区域间生态流、物质流、能量流的关键生态用地。将每一个生态结点作为廊道连接中心,根据最小累积阻力模型,通过 ArcGIS 软件空间分析工具中的成本距离与成本路径两个工具,基于生态阻力面,结合生态源地分布情况,得到一个生态结点到其余生态结点的最佳路径,即生态廊道,根据瑞金市实际情况进行筛选出最优的生态廊道<sup>[31]</sup>。

### 3 结果与分析

#### 3.1 生态保护重要性评价结果

通过上述评价方法得到的生态保护重要性评价结果见图 1,其中生态保护极重要区域面积为 1 607 km<sup>2</sup>,占研究区面积的 65.8%;生态保护重要区域面积为 734.1 km<sup>2</sup>,占研究区面积的 30%;生态保护一般重要区域为 100.3 km<sup>2</sup>,占研究区面积的 4.2%。

从评价结果中可以看出,在人口比较密集的城镇、农村建设用地等生活空间周边生态系统功能比较低,生态保护重要性也更低。而远离人类生活区域的林地等区域生态价值比较高,也更需要被保护。两者之间是以耕地和园地为主农业生产空间,重要性就要稍低一些。综上所述,可以得知瑞金市生态建设受人类生活生产影响较大,丰富的森林资源也是瑞金市最核心的生态资产,需要重点保护。

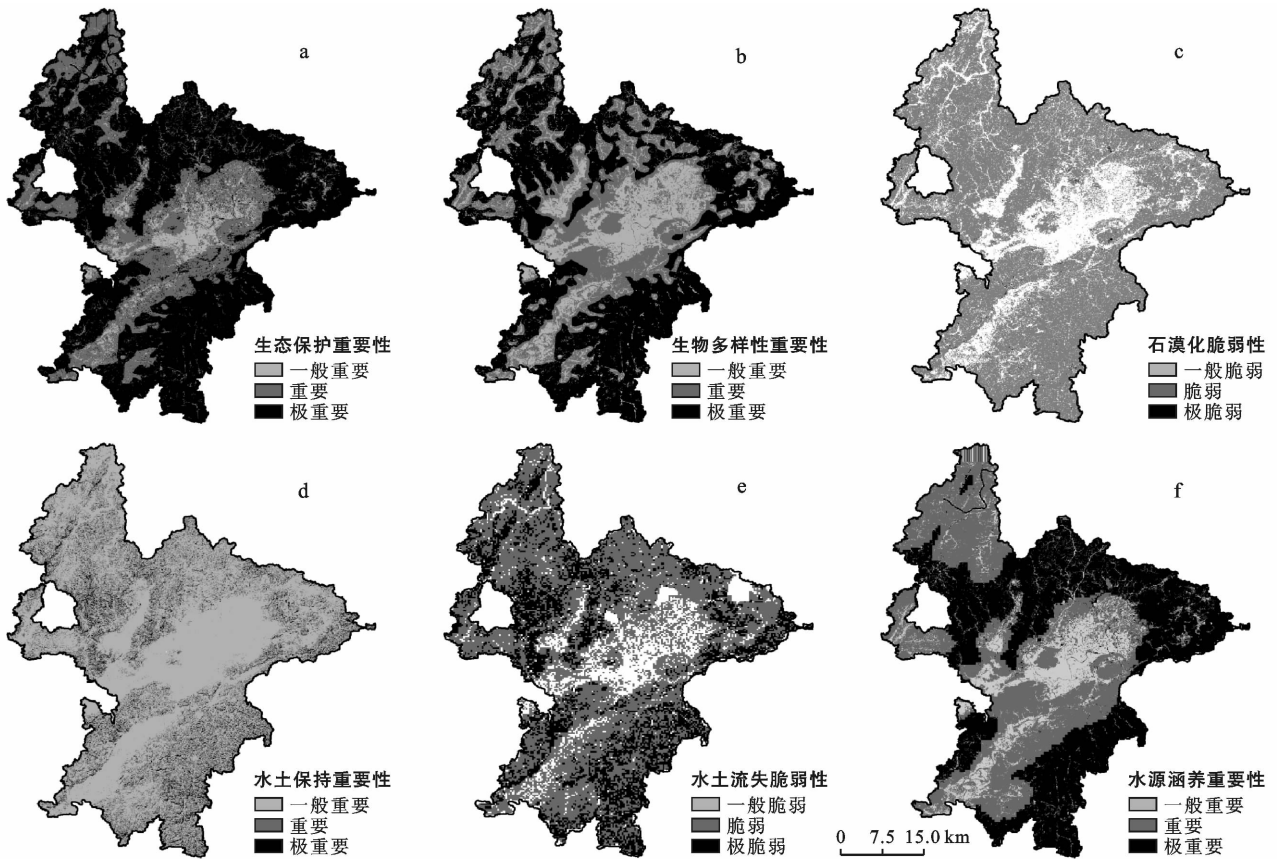


图 1 瑞金市生态保护重要性评价结果

#### 3.2 生态源地识别

根据上述生态保护重要性评价结果,提取面积大于10 km<sup>2</sup> 的生态保护极重要区作为生态源地,考虑到政策易实现性,再以瑞金市内乡行政界线对生态源地进行修正,共得到 13 块源地及其生态结点,

总面积 1 562.296 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的 64%(见图 2)。

#### 3.3 生态廊道识别与生态安全格局构建

通过地形因子与土地利用类型所构成的最小累积阻力面见图 3。通过 ArcGIS 中的成本距离与成本

路径工具,基于生态源地分布情况与最小累积阻力面,识别瑞金市生态廊道 21 条,廊道总长度共计 875.94 km。

瑞金市生态安全格局主要由生态源地、生态结点和生态廊道 3 部分组成(图 3),从结果来看,瑞金市内生态源地比例较高,生态廊道呈“三角网型”的环绕式分布,彼此相互连通。瑞金市生态安全格局可总结为“一网三区”;其中“一网”连结瑞金市生态源地各处的大三角状生态廊道网,“三区”分别指的是瑞金市南面的拔英乡、泽覃乡等 6 个乡镇为主的重点生态功能区,瑞金市东面的以日东乡、壬田镇、叶坪乡为主的东江源头保护区,瑞金市西北面以瑞林镇、冈面乡等 6 个乡镇为主的水源涵养区。

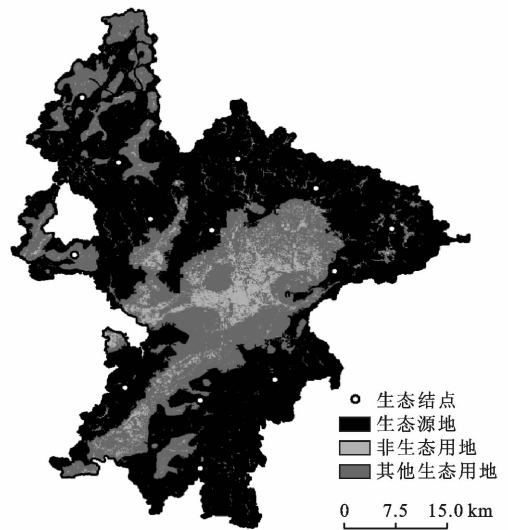


图 2 瑞金市生态源地分布特征

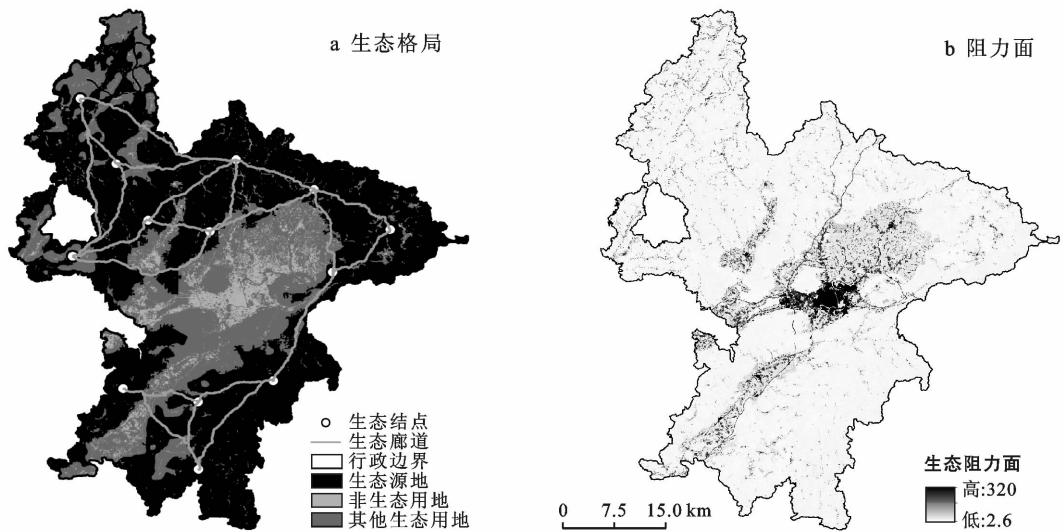


图 3 瑞金市最小累积阻力面及生态安全格局

## 4 讨论与结论

### 4.1 结论

(1) 通过生态系统服务重要性评价与生态脆弱性评价确定瑞金市生态保护重要性空间分布情况,识别了瑞金市生态源地面积共 1 562.296 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的 64%,主要成分是具有高生态价值的林地和水域。

(2) 以行政区界限作为生态源地分区基础,提取了 13 块生态源地并提取源地要素中心作为生态节点。

(3) 通过“源地—廊道”的生态安全格局构建模式,利用最小累积阻力模型生成阻力面,识别出瑞金市生态廊道共计 21 条,总长度共计 875.94 km。廊道与源地相结合形成瑞金市“一网三区”的生态安全格局。

### 4.2 讨论

(1) 瑞金市作为森林资源丰富的赣南红色城市,其生态安全在经济和历史文化保护上都有着重要意义。本文通过生态保护重要性评价确定瑞金市目前的生态源地分布情况,利用最小累积阻力模型识别生态廊道,两者结合构建瑞金市生态安全格局。通过构建生态安全格局,可以缓解生态空间与城镇空间发展的矛盾。推动瑞金市形成生产空间集约高效、生活空间宜居适度、生态空间山清水秀,安全和谐和可持续发展的国土空间格局。

(2) 本文考虑到生态安全格局的易实施性,所选取的评价指标在可靠的基础上,降低了资料获取和计算难度。通过区域内行政界限的修正细分,也让生态源地的保护工作更容易落实。但也因此本文提出的评价方法在全面性与综合性上存在不足之处,在未来

的研究中可深入探讨。

(3) 综合上述生态安全格局构建方法,结合瑞金市实际情况,建议瑞金市相关部门以生态文明理念为基础,按照生态源地分布情况实行分区域责任制。以生态节点和廊道的分布为基础,选择合适区域建设生态保护安全格局先行示范区,以此带动整个瑞金市生态保护格局的构建。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 傅伯杰. 地理学:从知识、科学到决策[J]. 地理学报, 2017,72(11):1923-1932.
- [2] Lovell S T, Taylor J R. Supplying urban ecosystem services through multifunctional green infrastructure in the United States [J]. *Landscape Ecology*, 2013, 28(8):1447-1463.
- [3] Naveh Z. From biodiversity to ecodiversity: A landscape-ecology approach to conservation and restoration [J]. *Restoration Ecology*, 2010,2(3):180-189.
- [4] 蒋艳灵,刘春腊,周长青,等. 中国生态城市理论研究现状与实践问题思考[J]. 地理研究, 2015, 34(12):2222-2237.
- [5] 刘洋,蒙古军,朱利凯. 区域生态安全格局研究进展[J]. 生态学报, 2010,30(24):6980-6989.
- [6] 习近平. 在主持十八届中央政治局第六次集体学习时的讲话要点[R]. 北京:新华社,2013.
- [7] 自然资源部,资源承载能力和国土空间开发适宜性评价指南[S]. 北京:自然资源部,2020.
- [8] 彭建,赵会娟,刘焱序,等. 区域生态安全格局构建研究进展与展望[J]. 地理研究, 2017,36(3):407-419.
- [9] 周汝波,林媚珍,吴卓,等. 基于生态系统服务重要性的粤港澳大湾区生态安全格局构建[J]. 生态经济, 2020, 36(7):189-196.
- [10] 渠斌,李新通. 基于生态服务功能的海坛岛生态安全格局构建研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2019,35(1):28-36.
- [11] 郝月,张娜,杜亚娟,等. 基于生境质量的唐县生态安全格局构建[J]. 应用生态学报, 2019,30(3):1015-1024.
- [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):192-198,205.
- [13] 李卫锋,王仰麟,彭建,等. 深圳市景观格局演变及其驱动因素分析[J]. 应用生态学报, 2004,15(8):1403-1410.
- [14] Yu Kongjian. Security patterns and surface model in landscape ecological planning [J]. *Landscape and Urban Planning*, 1996,36(1):1-17.
- [15] Loro M, Ortega E, Arce R M, et al. Ecological connectivity analysis to reduce the barrier effect of roads. An innovative graph-theory approach to define wildlife corridors with multiple paths and without bottlenecks [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2015,139:149-162.
- [16] Peng Jian, Yang Yang, Liu Yanxu, et al. Linking ecosystem services and circuit theory to identify ecological security patterns [J]. *Science of the Total Environment*, 2018,644:781-790.
- [17] 谭华清,张金亭,周希胜. 基于最小累积阻力模型的南京市生态安全格局构建[J]. 水土保持通报, 2020, 40(3):282-288,296,325.
- [18] 张蕾,危小建,周鹏. 基于适宜性评价和最小累积阻力模型的生态安全格局构建:以营口市为例[J]. 生态学杂志, 2019,38(1):229-236.
- [19] 陈德权,兰泽英,李玮麒. 基于最小累积阻力模型的广东省陆域生态安全格局构建[J]. 生态与农村环境学报, 2019,35(7):826-835.
- [20] 和娟,师学义,付扬军. 基于生态系统服务的汾河源头区域生态安全格局优化[J]. 自然资源学报, 2020, 35(4):814-825.
- [21] 李维佳,马琳,臧振华,等. 基于生态红线的洱海流域生态安全格局构建[J]. 北京林业大学学报, 2018,40(7):85-95.
- [22] 王玉莹,金晓斌,沈春竹,等. 东部发达区生态安全格局构建:以苏南地区为例[J]. 生态学报, 2019, 39(7):2298-2310.
- [23] 王晓玉,陈甜倩,冯喆,等. 基于地类边界分析的江苏省生态安全格局构建[J]. 生态学报, 2020,40(10):3375-3384.
- [24] 生态环境部,生态保护红线划定指南[S]. 北京:生态环境部,2017.
- [25] 龚诗涵,肖洋,郑华,等. 中国生态系统水源涵养空间特征及其影响因素[J]. 生态学报, 2017, 37(7):2455-2462.
- [26] Terrado M, Sabater S, Chaplin-Kramer B, et al. Model development for the assessment of terrestrial and aquatic habitat quality in conservation planning [J]. *Science of the Total Environment*, 2016,540:63-70.
- [27] 周伏建,黄炎和. 福建省降雨侵蚀力指标  $R$  值[J]. 水土保持学报, 1995,9(1):13-18.
- [28] 李恒凯,杨柳,雷军,等. 利用 HJ-CCD 影像的红壤丘陵区土壤侵蚀分析:以赣州市为例[J]. 遥感信息, 2016,31(3):122-129.
- [29] 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.
- [30] 欧定华,夏建国,张莉,等. 区域生态安全格局规划研究进展及规划技术流程探讨[J]. 生态环境学报, 2015, 24(1):163-173.
- [31] 张继平,乔青,刘春兰,等. 基于最小累积阻力模型的北京市生态用地规划研究[J]. 生态学报, 2017,37(19):6313-6321.