

基于“双评价”的生态安全格局构建 ——以庄河市为例

郑 桐¹, 王乙晴², 杜 鹏¹, 肖太梁^{3*}

¹辽宁师范大学地理科学学院, 辽宁 大连

²辽宁对外经贸学院管理学院, 辽宁 大连

³延边大学地理与海洋科学学院, 吉林 珲春

收稿日期: 2025年9月11日; 录用日期: 2025年10月10日; 发布日期: 2025年10月21日

摘 要

县域尺度下生态安全格局的构建是国土空间规划中的重要组成部分。以辽宁省大连市庄河市为研究区域, 在资源环境承载力评价和国土空间开发适宜性评价视角下, 以“源地识别-阻力面构建-廊道识别”为理论架构, 依据“双评价”体系中的生态保护重要性评估结果, 精准识别庄河市生态源地, 借助MCR模型以及电路理论, 构建生态廊道。最后, 整合以上结果构建庄河市的生态安全格局。结果显示: 庄河市内的生态源地共有34处, 总面积约1087 km², 占研究区面积的26.4%; 基于生态源地结果, 共识别出潜在生态廊道112条, 总长度为1613.19 km, 其中60条为主要生态廊道, 共770.34 km, 52条次要生态廊道, 共842.85 km。生态源地集中分布在西北部和南部地区, 空间分布不均, 景观连通性有待提高, 需要加强各乡镇之间的生态协调和生态环境整体性, 促进地区可持续发展。

关键词

双评价, 电路理论, 生态安全格局

Construction of Ecological Security Pattern Based on “Dual Evaluation” —A Case Study of Zhuanghe City

Tong Zheng¹, Yiqing Wang², Peng Du¹, Tailiang Xiao^{3*}

¹College of Geographical Sciences, Liaoning Normal University, Dalian Liaoning

²School of Management, Liaoning University of International Business and Economics, Dalian Liaoning

³College of Geography and Ocean Sciences, Yanbian University, Hunchun Jilin

*通讯作者。

文章引用: 郑桐, 王乙晴, 杜鹏, 肖太梁. 基于“双评价”的生态安全格局构建[J]. 地理科学研究, 2025, 14(5):1081-1093.
DOI: 10.12677/gser.2025.145104

Abstract

The construction of ecological security pattern at the county magnitude is an important part of agrarian spacial planning. This paper takes Zhuanghe City, Dalian City as the target area for study. From the viewpoint of resource environmental bear ability evaluation as well as territorial spatial development fitness evaluation ("double evaluation"), based on the theoretical framework of "ecological source recognition-ecological comprehensive hindrance surface construction-ecological corridor recognition", the ecological source is identified by evaluation results of ecological conservation importance in the "double evaluation". MCR model and circuit theory were used for simulating species flow and migration pathways to build ecological channels. Eventually, according to identification results, the ecological safety pattern of Zhuanghe was built. It was concluded that there were 34 ecological source areas with approximately 1087 square kilometers, accounting for 26.4%. 112 potential ecological corridors were recognized, being 1613.19 km in length. There are 60 major ecological corridors being 770.34 km in extent and 52 minor ecological corridors being 842.85 km in extent. Ecological sources are concentrated in the regions of northwest and south, with uneven spatial distribution and landscape connectivity, so it is important to enhance the ecological coordination and integrity of the ecological environment among towns and towns to facilitate the sustainable development of the zone.

Keywords

Double Evaluation, Circuit Theory, Ecological Security Pattern

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

资源环境承载力评价和国土空间开发适宜性评价(简称为“双评价”)是明晰地方资源利用上限、环境质量底线的关键措施,更是优化国土空间格局的基石。2020年自然资源部发布《资源环境承载力和国土空间开发适宜性评价技术指南》(简称《指南》)。《指南》明确提出,要以生态重要性与敏感性为基石,构建生态安全格局。在“十四五”规划中强调需立足资源环境承载能力,形成高质量发展的国土空间开发与保护的新格局,并表明支持生态功能区把发展的重点放在保护生态环境上。

近年来对于“双评价”的研究逐渐增多,罗雅文[1]等通过构建 DPSIR 模型,对梁子湖流域水资源承载力进行评价;黎昕对武汉市进行“双评价”中的农业耕作条件适宜性评价研究[2];王丽霞[3]等以北京昌平区为例,对研究区开展双评价工作,基于所得评价结果,实施生态空间、农业空间、城镇空间这三类空间的分区,并进行国土空间综合功能分区;罗梅[4]等以湖北省巴东县为研究区,对中部山地地区县域范围进行双评价研究,在研究过程中考虑到山地的特殊性,将评价技术方法进行改进,使得研究方法更加因地制宜;张建国[5]等以晋中市太谷区为例,侧重研究县域尺度“双评价”中的城镇建设适宜性评价,以上学者对于“双评价”的研究多侧重在单一评价,对于双评价得到的结果较少进行后续的研究。当今人类经济活动逐渐频繁,不合理的开发和对资源的利用带来严重的生态问题,使得区域生态问题严

重, 同样也会作用于人类生活, 所以需要构建并形成生态安全格局来协调当前的人地关系。

周璠[6]等以安徽省黄山市作为研究区域, 以双评价为核心探究构建生态安全格局的具体实践路径。刘永林[7]等通过遥感生态指数、最小累计阻力模型方法对广东省东莞市构建生态安全格局。张明爽[8]借助电路理论和最小累计阻力模型构建生态安全格局。陈宝霖[9]等通过 MSPA 和电路理论方法识别昌都市生态源地、生态廊道和生态节点, 构建昌都市生态安全格局。吕静[10]等以松花江流域吉林段为研究对象, 通过 InVEST 模型、电路理论、“生态源地-阻力面-生态网络”的思路构建生态安全格局。何夏萱[11]等基于传统“生态源地识别-建立阻力面-提取生态廊道”的研究思路, 加入城市大数据兴趣点(POI), 弥补生态源地识别和阻力面构建精度不足的问题, 通过电路理论方法构建东莞市生态网络格局。综上, 当前在构建生态安全格局的研究中, 电路理论打破了仅能识别单一属性路径的局限性, 并且相较于 MCR 模型识别的生态廊道, 电路理论更能够生动准确地模拟生物在生态环境中扩散过程, 电路理论在景观连通性、迁徙路径识别、生态安全格局研究等多领域被广泛应用[12]。

本文选取大连市庄河市为研究区域, 庄河市委、市政府坚定不移地踏上生态优先、绿色低碳的高质量发展征程, 致力于区域可持续发展与生态保护的深度融合, 在深入贯彻习近平生态文明思想的时代背景下, 2023 年 10 月生态环境部于中国生态文明论坛上公布了第七批生态文明建设示范区名单, 大连市庄河市赫然在列, 具有试点示范的平台载体和典型引领作用。2023 年 11 月庄河市还获评全国首批“人与自然和谐共生现代化城市实践基地”荣誉。庄河市作为大连市的“后花园”, 其具有丰富的自然资源和生物资源, 在生态保护和污染防治方面具有卓越成效, 该区域在生态方面具有示范引领作用, 庄河市生态建设经验和模式为其他地区提供了借鉴和参考。但是生态文明建设没有终点, 是一个不断提升的过程。

本文采用双评价 + 生态安全格局的研究方法, 以双评价结果作为识别生态源地的基础依据, 运用最小累积阻力模型构建阻力面, 结合电路理论识别并筛选生态廊道, 根据“源地-廊道-阻力面”的模式构建生态安全格局。以大连市庄河市为研究区域进行生态安全格局构建, 以期生态安全格局空间策略在解决县域生态问题的适用性和国土空间生态修复问题上提供参考。

2. 研究区概况及数据来源

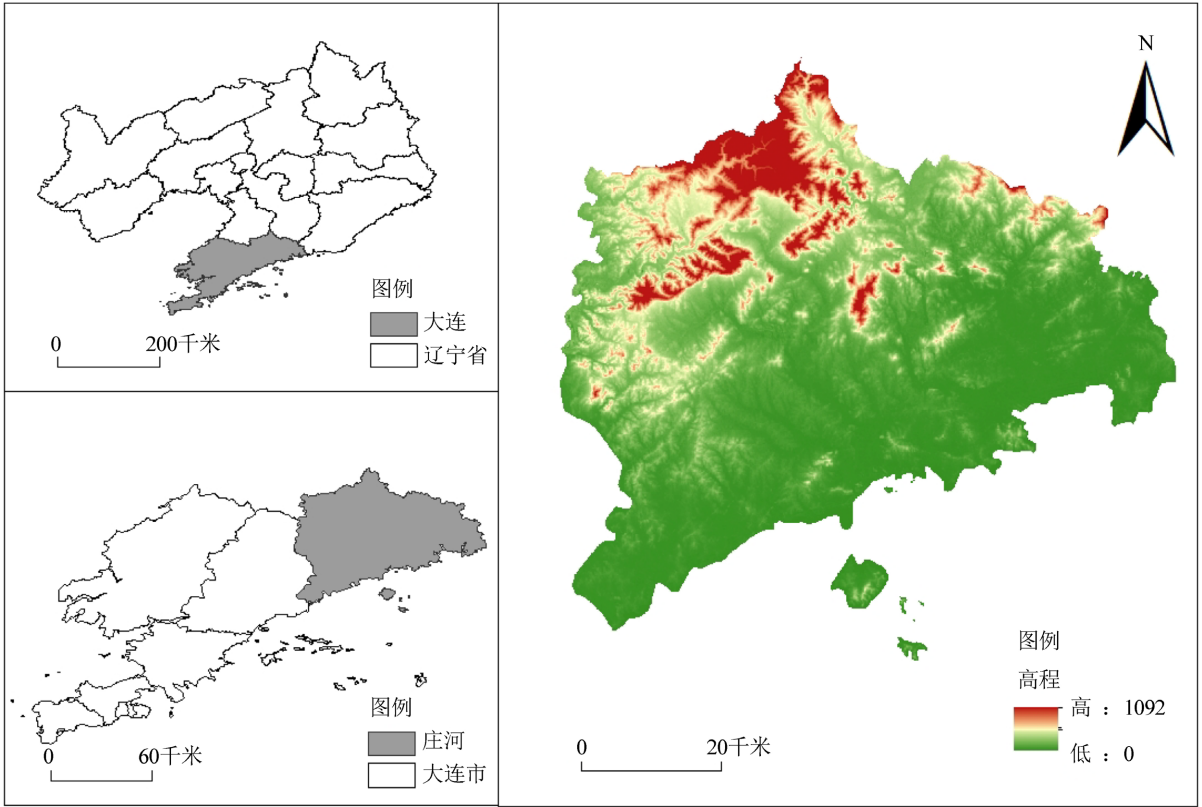
2.1. 研究区概况

庄河市位于辽东半岛东侧南部, 大连市东北部(38°54' N, 121°38' E), 是大连市首个国家生态文明建设示范区(图 1)。海域面积 2832 平方千米, 海岸线 373 千米。截至到 2023 年, 庄河市常住人口 74.2 万人。

庄河市位于黄海北岸, 为低山丘陵区, 自北向南分高岭山脉和步云山脉两大干脉贯穿全区; 庄河市区周边和郊区多为森林覆盖, 截止到 2022 年, 庄河市植被覆盖率达到 42% [13], 主要是针叶林和阔叶林, 这些林地不仅提供了重要的生态服务, 对于保护水土资源和生物多样性的意义重大。庄河市区周边地区有多个小型湖泊, 例如龙泉湖和龙山湖, 对于生态环境和旅游业提供了重要资源; 草地主要分布在郊区和山丘地带, 面积约为 8 公顷, 约占全市土地面积的 2% [14], 草地作为城市绿地的一部分, 能够作为部分生物的栖息地和停靠点, 并且其有助于维护土壤的稳定性和水源涵养功能; 庄河市全域内水系纵横、河道密布, 境内有大小 365 条河流, 大部分河流发源于北部山区; 有 45 座水库, 主要包括英那河、朱隈、永记和龙山湖四大水库[15], 是大连城市重要的水源地。庄河市水资源总量约 18 亿立方米, 面积约 49 公顷, 有效的水资源保护和管理, 确保水质和水量的稳定, 对于大连市乃至辽东半岛的生态安全和人类生活都有重要影响。

庄河市拥有丰富的自然生态资源和多样的生物种类, 这些资源对于保护辽东半岛的生物多样性至关

重要，庄河市的森林、湿地等生态系统在气候调节和环境服务等方面发挥重要作用，有助于改善大连市及周边地区的空气质量、土壤保护和防止自然灾害等方面，这些生态系统不仅提供了重要的生态功能，也在为当地和周边地区人民健康和福祉作出重要贡献。



注：该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS (2022) 1873 号的标准地图制作，地图无修改。

Figure 1. Geographical overview of Zhuanghe City
图 1. 庄河市地理概况图

2.2. 数据来源与处理

本研究中的 DEM 数据和遥感数据均来源于地理空间数据云，选取空间分辨率为 30 m 的庄河市 2022 年 8 月的 Landsat8 遥感影像数据和 ASTGTM GEM V3 数字高程数据。降水量数据、气温数据是来自国家青藏高原科学数据中心，土地利用类型数据是来自欧空局(ESA) 2022 年的 World Cover 数据集，空间分辨率为 10 m。

将 DEM 数据导入 ArcGIS 软件进行处理，获得坡度、坡向、地形起伏度和植被覆盖率数据，并且运用 ArcGIS 软件将上述低分辨率数据利用重采样方法提高精度。

3. 研究方法

本研究在“双评价”视角下构建庄河市生态安全格局的技术路线图如图 2 所示。首先对庄河市的生态系统服务重要性和生态脆弱性进行评价，两者进行叠加形成生态保护重要性评价结果；其次，提取结果中的极重要区和重要区作为生态源地；再次，选取生态阻力因子，基于 MCR 模型进行生态阻力面的构建，并借助电路理论提取庄河市生态廊道；最后，整合上述结果，构建庄河市生态安全格局。

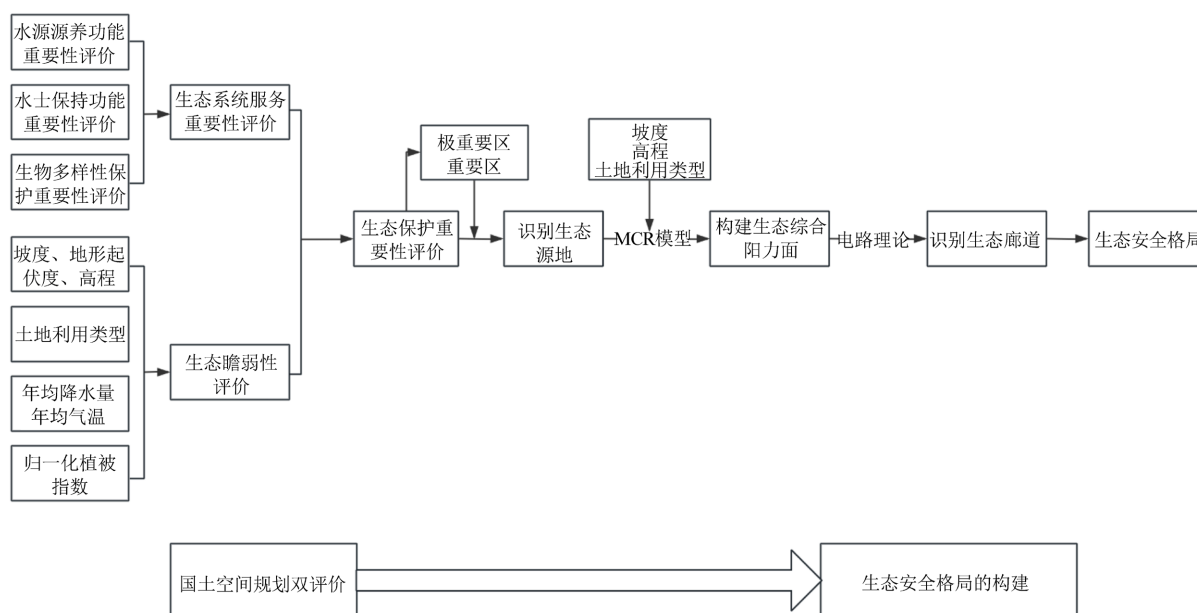


Figure 2. Technology roadmap

图 2. 技术路线图

3.1. 生态保护重要性评价

生态保护重要性评价是资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价的重要组成部分，是指通过指标体系对区域在维持生态功能、保障生物多样性、提供生态系统服务以及应对生态风险方面的重要程度进行定量评估。生态保护重要性评价主要包括生态系统服务功能重要性评价和生态敏感性评价两方面内容。生态保护重要性评价对生态系统的结构、功能、服务价值以及面临的威胁等方面进行综合评估，以确定不同区域生态保护的重要程度和优先次序。

3.1.1. 生态系统服务功能重要性评价

生态系统服务功能重要性评价主要包括水源涵养功能重要性评价、水土保持功能重要性评价和生物多样性保护功能重要性评价。

水源涵养功能重要性评价可以明确不同区域水源涵养功能的重要程度，有助于确定生态保护的重点区域。根据《生态保护红线划定指南》，目前对于生态系统服务功能评估方法主要有模型评估法和净初级生产力(NPP)定量指标评估法。其中，模型评估法准确度较高，定量标准法的适用范围具有地域性，所以本研究对于水源涵养功能重要性评价采用模型评估法。采用水量平衡方程计算水源涵养量，公式如下：

$$TQ = \sum_{i=1}^j (P_i - R_i - ET_i) \times A_i \times 10^3 \quad (1)$$

式中， TQ 为总水源涵养量， P_i 为降雨量， R_i 为地表径流量， ET_i 为蒸散发， A_i 为 i 类生态系统面积， i 为研究区第 i 类生态系统， j 为研究区生态系统类型数。

水土保持功能重要性评价是指对研究区域在维持土壤肥力、涵养水源、调节径流、减少水土流失、维持生态系统稳定等方面的重要程度进行评估。本研究综合考虑地形地貌、植被覆盖、降水特征等因素，确定区域的水土保持重要等级。

归一化植被指数(NDVI)是检测植被覆盖度的指数。公式如下[16]：

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \tag{2}$$

其中， $NDVI$ 为归一化植被指数， NIR 是近红外波段的反射值， Red 是红光波段的反射值。

植被覆盖度(FVC)是刻画地表植被覆盖的重要参数。公式如下[16]:

$$FVC = (NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}) \tag{3}$$

其中， FVC 为植被覆盖度， $NDVI_{max}$ 为区域内 $NDVI$ 最大值，即纯植被覆盖像元， $NDVI_{min}$ 为区域内 $NDVI$ 最小值，即无植被覆盖像元。

生物多样性保护功能重要性评价是指通过指标方法量化研究区域内生态系统、物种及其栖息地对维持生物多样性的贡献程度，识别对生物多样性保护具有关键作用的区域。生物多样性保护功能是生态系统在维持基因、物种、生态系统多样性发挥重要作用。本研究以生物多样性维护服务能力指数作为评估指标，公式如下[17]:

$$S_{bio} = NPP_{mean} \times F_{pre} \times F_{tem} \times (1 - F_{alt}) \tag{4}$$

其中， S_{bio} 为生物多样性维护服务能力指数， NPP_{mean} 表示多年植被净初级生产力平均值， F_{pre} 为多年平均降水量， F_{tem} 为多年平均气温， F_{alt} 为海拔因子。

3.1.2. 生态脆弱性评价

生态脆弱性评价是评估生态系统抵御外部压力和应对内部变化的能力，生态环境在遭受外界干扰时，生态系统受损害的可能性大小，其衡量外界干扰对生态环境造成的危害程度。通常生态脆弱性越高，生态环境越容易遭受外界环境影响。

生态脆弱性测算参考《全国生态功能区划(修编版)》选取地形、年降水量、土壤类型和植被覆盖度四项指标，参考相关文献[18]-[21]设置权重(表 1)，并对四项指标加权赋值得出生态脆弱性指数。

Table 1. Ecological vulnerability indicator system
表 1. 生态脆弱性指标体系

目标层 Target Layer	地形 Terrain	年降水量 Annual precipitation	土壤类型 Soil types	植被覆盖度 Vegetation coverage
生态脆弱性 Ecological fragility	0.3	0.2	0.2	0.3

3.1.3. 生态保护重要性评价

生态保护重要性评价中包括生态服务功能重要性和生态脆弱性评价。依据评价体系分别将生态服务功能重要性和生态脆弱性划分为四个等级，取两者评价结果中极重要区和重要区作为庄河市生态保护重要性结果，按照自然断点法划分为四个层次的等级，依次为极重要生态区、重要生态区、较重要生态区以及一般生态区[22]。

3.2. 生态源地识别

生态源地识别是庄河市生态安全格局构建的基础，当前大部分学者在此问题上多采用单纯的 InVEST 模型中的 Habitat Quality 模块，虽然模块综合考虑了威胁源对生境质量的相对影响、生境质量对威胁源的敏感性、生境栅格与威胁源之间的距离等因素，但仅从研究区域的土地利用类型研究，认为林地、湿地和水体生境质量较为优良，没有过多考虑其他因素影响[23]。“双评价”中的生态保护重要性评价综合考虑水源涵养、水土保持、生物多样性特征，重要性极高的地区是本研究中寻求的生态系统服务功能较强的生态源地。本文提取极重要区和重要区部分，筛选面积大于 1 km² 的区域作为潜在生态源地。结合庄河

市实际情况和构建生态安全格局的需要，采用斑块重要性指数(*dPC*)筛选潜在生态源地中 *dPC* > 1 的部分作为生态源地。公式如下：

$$dPC = \frac{PC - PC_{remove}}{PC} \times 100\%$$

(5)

其中，*dPC* 为斑块重要性，*PC* 为景观连通度指数，*PC_{remove}* 为斑块剔除之后剩余斑块的整体指数。

3.3. 生态阻力面构建

生态阻力面的构建是生态安全格局的核心内容。生态要素在移动过程中会受到自然和人为方面的不同程度的影响，会受到不同程度的阻力，阻力值越大表示需要克服的障碍越多。因此，需要构建科学的评价体系。基于前人研究[24]和庄河市实际情况，本文综合选取土地利用类型、坡度和高程三个对生态要素移动影响较大的自然因子作为指标，参照相关文献[25] [26]将阻力因子进行分级，采用 AHP 层次分析法获得阻力因子的权重(表 2)。

Table 2. Classification system of ecological factor indicators
表 2. 生态因子指标分类体系

阻力因素 Resistance factor	分级指标 Classification index	权重 Weight	阻力系数 Resistance coefficient	阻力因素 Resistance factor	分级指标 Classification index	权重 Weight	阻力系数 Resistance coefficient
坡度 Slope	<5	0.25	1	高程 Elevation	<100	0.25	1
	5~10		10		100~300		10
	10~20		50		300~500		50
	20~30		75		500~800		75
	>30		100		>800		100
土地利用类型 Land use type	林地	0.5	1				
	灌木地		10				
	草地		30				
	湿地		50				
	水体		70				
	耕地		90				
	建设用地		100				

3.4. 生态廊道提取

生态廊道在景观格局中是各个生态要素和物种之间进行移动的重要通道。电路理论是结合电子移动的原理，模拟物种在景观格局中的移动过程，识别景观中多条具有一定宽度的路径的理论[27]。重力模型原理是计算生态源地之间的相互作用，以此来划定生态廊道的相对重要性。相互作用力越大表明源地之间的联系越密切，生态源地之间的生态廊道越重要。本文结合最小累计阻力模型和电路理论识别潜在生态廊道，并引用重力模型将生态廊道分为主要生态廊道和次要生态廊道两级。

4. 生态保护重要性评价结果

生态保护重要性评价为“双评价”工作中重要的一环，对于生态安全格局的构建具有重要作用和意

义[28]。

本研究参考生态保护红线划定指南,采用水量平衡方程计算水源涵养量,模拟水源涵养的空间格局;通过对植被覆盖度、坡度、归一化植被指数进行归一化处理,对研究区域进行水土保持功能重要性评价;计算生物多样性维护服务能力指数开展生物多样性保护重要性评价;选取地形、年降水量、土壤类型和植被覆盖度四项指标对生态脆弱性进行综合评估,采用层次分析法(AHP)确定指标权重。本研究将水源涵养功能重要性评价、水土保持功能重要性评价、生物多样性保护功能重要性评价结果进行叠加,提取结果中的极重要区和重要区叠加上生态脆弱性评价结果中的极重要区和重要区作为生态保护重要性评价结果,并对其进行等级划分。结合庄河市实际情况,本研究在上述生态保护重要性评价结果基础上添加庄河市自然保护区和水源保护区作为极重要区。为使生态安全格局能够为县域生态格局优化和生态修复提供符合实际情况的理论支撑,本研究将评价结果采用自然断点法划分为四个等级,分别为极重要生态区、重要生态区、较重要生态区和一般生态区,分别代表严格禁止开发且进行生态修复区域、限制开发区域、引导开发区域和常规管理区域。

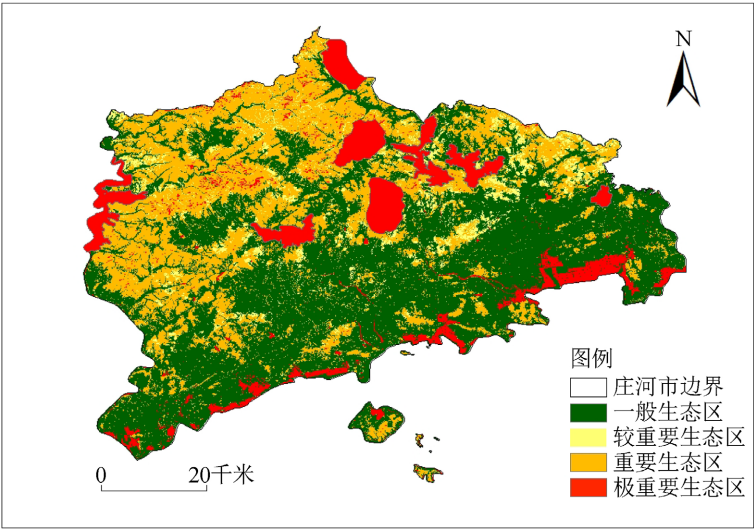


Figure 3. Ecological protection importance evaluation diagram
图 3. 生态保护重要性评价图

生态保护重要性评价图由图 3 所示,可以发现庄河市生态保护重要性空间分布呈现南北差异,极重要生态区主要为沿海岸线一带的水体、国家自然保护区、庄河县域内的水库水源保护区(包括 200 m 缓冲区)以及庄河北部的林地部分;重要生态区位于庄河市北部地区,主要分布在庄河市步云山、仙人洞、桂云花、荷花山、长岭镇、蓉花山、以及塔岭镇和鞍子山乡部分地区,该区域土地利用类型主要为林地,地势较高,自然面貌保存完整,区域内的生物多样性需要得到更多保护;较重要生态区和一般生态区主要分布在庄河市中部以及南部地区,以建设用地为主,人类活动痕迹显著,植被相对较少,生态功能较弱,生态重要性指数较低。

5. 生态安全格局

5.1. 生态源地识别

本研究提取结果中的极重要区和重要区中面积大于 1 km² 的部分区域,并使用 Conefor2.6 软件对其进行连通性评价。由于生态源地选取过程中要综合考虑生态稳定性和生态功能完整性等因素,本文选择

$dPC > 1$ 的景观斑块作为生态源地[29], 结合以上两个标准筛选出 16 处生态源地。在“双评价”视角下, 认为南部沿海地区中的生态保护极重要区中面积大于 1 km^2 的部分也同样作为生态源地选取, 同时在陆海统筹视角下, 结合庄河市陆地分布的特殊性, 认为应坚持以生态系统为核心, 尊重生态系统的整体性和系统性, 要打通陆地和海洋之间的隐形屏障, 同时庄河市的海王九岛享有国家级海岛森林公园和海洋景观自然保护区称号, 因此将位于石城岛和王家岛上的生态保护重要区部分也作为生态源地进行选取。综上, 庄河市共提取 34 处生态源地斑块, 面积约为 1087 km^2 , 占研究区面积的 26.4%, 其中最大斑块面积为 474 km^2 , 最小斑块面积为 0.14 km^2 。

由图 4 可知, 生态源地主要分布在庄河市北部和西北部, 南部沿海一带分布较少, 主要以水体为主, 中部和南部地区多为建设用地和耕地, 人类活动对自然影响较大, 不作为生态源地识别。

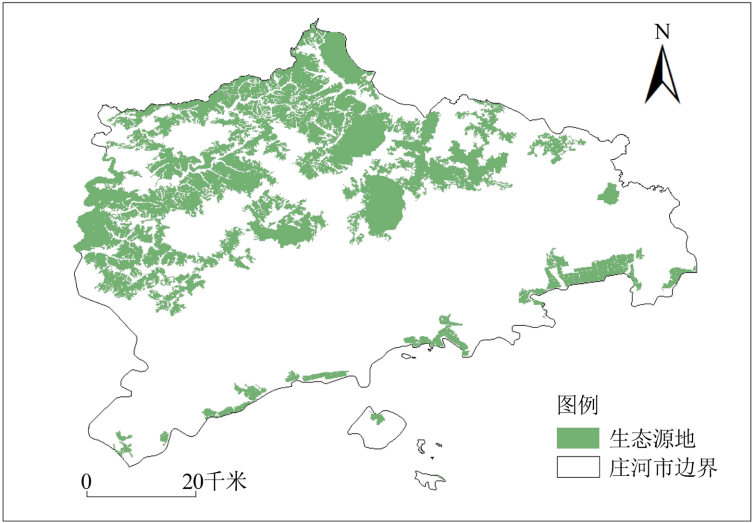


Figure 4. Distribution map of ecological sources in Zhuanghe City
图 4. 庄河市生态源地分布图

5.2. 生态阻力面构建结果

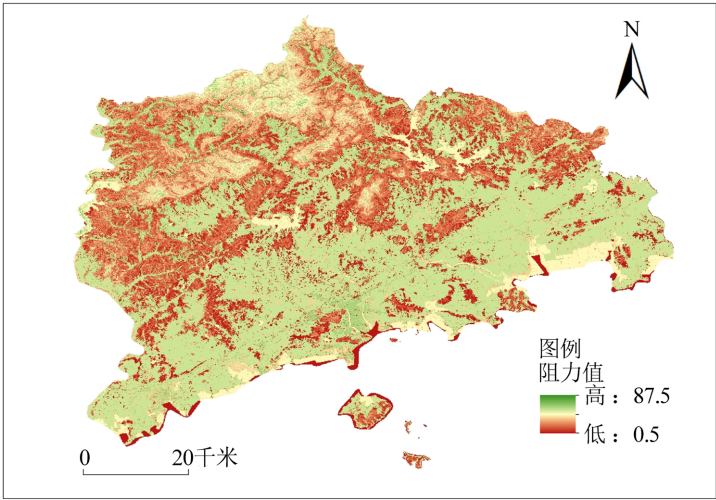


Figure 5. Comprehensive ecological resistance surface of Zhuanghe City
图 5. 庄河市生态综合阻力面

本文基于坡度、高程和土地利用类型这三个方面,使用 ArcGIS 软件中的重分类分析工具赋予对应阻力因子的阻力系数,利用栅格计算器叠加得到生态综合阻力面(图 5)。

由图可知,在空间上看,庄河市生态阻力面呈现出较强的南北差异,中部和南部人类活动较多,建设用地和耕地分布较广,所以此部分区域的阻力值明显高于西北部 and 北部地区。北部和西北部地区多为林地、灌木地、草地和水体,阻力值较低,生态要素和物种在此区域中的斑块内较容易穿越,移动过程较为容易。

5.3. 生态廊道提取

在目前对于生态廊道构建的方法中,最小累计阻力模型和电路理论占据大多数。其中最小累计阻力模型综合考虑了斑块之间的空间异质性,但是还存在阻力赋值主观性、认为生态要素扩散过程中只有一条最佳路径等问题。电路理论实现了真正基于物种或生态要素运动过程中的廊道模拟,较最小累计阻力模型更加符合生物的行为特征。综上所述,本文选用最小累计阻力模型识别潜在生态廊道,并结合重力模型对重要生态廊道进行识别和筛选,同时使用 ArcGIS 中的 Linkages Mapper 插件提取庄河市生态廊道,并借助成本加权距离(CWD)与最小成本路径长度(LCPL)比值[30]来反映生态源地之间的流通性,结合比值结果划分主要生态廊道和次要生态廊道,将比值大于 0.1 作为主要生态廊道,其他部分作为次级生态廊道。对两种方法中获取的重要生态廊道取交集,其他部分为次要生态廊道,此方法能够有效减少两者存在的赋值主观性的问题,使生态廊道的识别和构建更客观。

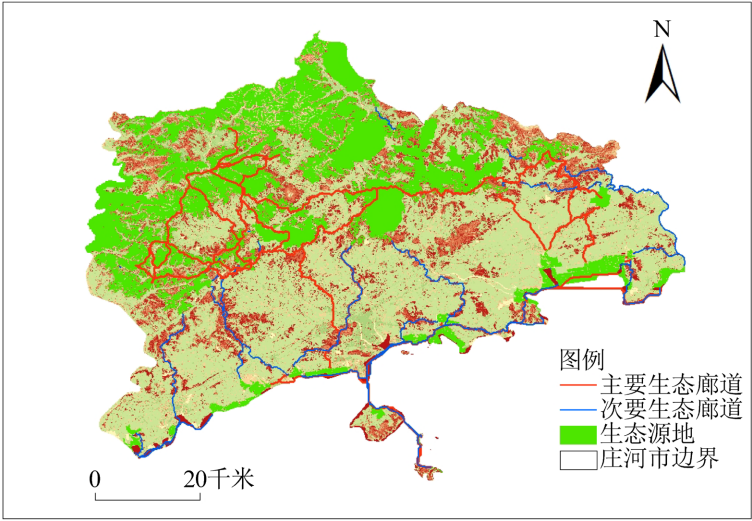


Figure 6. Distribution map of ecological corridors in Zhuanghe City
图 6. 庄河市生态廊道分布图

如图 6 所示,从数量上来看,本研究共识别出 112 条潜在生态廊道,总长度为 1613.19 km,最长廊道为 50.83 km,在识别到的潜在生态廊道结果中根据成本加权距离(CWD)与最小成本路径长度(LCPL)比值来划分为主要生态廊道和次要生态廊道,其中 60 条主要生态廊道,共 770.34 km,52 条次要生态廊道,共 842.85 km。从空间分布上来看,庄河市生态廊道分布较为均衡,西北部和北部地区因林地和生态保护用地较多,获取的生态源地也较多且较为集中,生态廊道在此部分短小且密集。中部地区因分布较多的建筑用地和耕地,人类活动频繁,对自然影响较多,生态源地在此较少分布,生态廊道较长,起到联通庄河市北部和南部的作用,比较符合生态要素或物种迁移和扩散的过程。

5.4. 总体生态安全格局

生态安全格局基于景观生态学，景观中关键区域以及它们之间的空间联系，共同构成了一种生态系统空间格局[31]。本文研究通过对庄河市现有的生态源地进行识别、构建生态阻力面以及对生态廊道的提取等，基于“双评价”的视角，最终提出庄河市“一屏一带多廊道”的总体生态安全格局(图 7)。

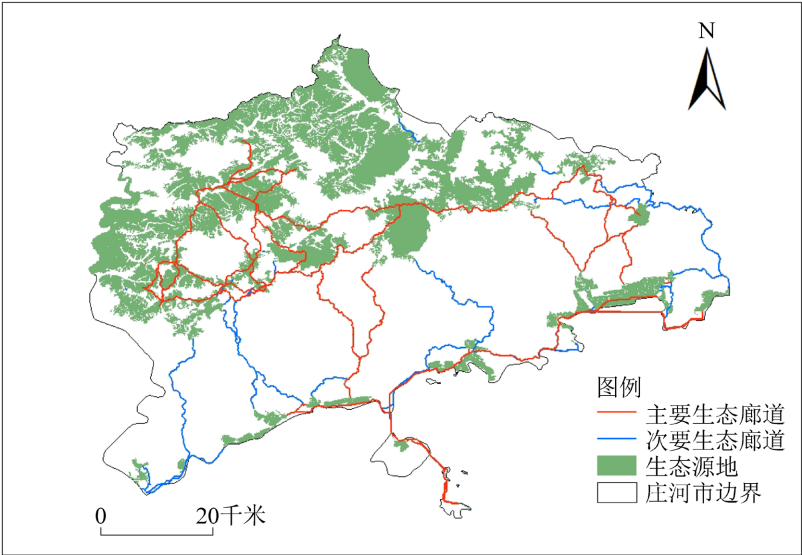


Figure 7. Ecological security pattern of Zhuanghe City
图 7. 庄河市生态安全格局

庄河市“一屏一带多廊道”的总体生态格局具体分析为：“一屏”指的是庄河市北部和西北部的大面积范围，该区域多为山区林地和国家公园生态保护区，同时该区域作为庄河市北部的屏障与营口市和鞍山市接壤，是庄河市的生态屏障，是森林生态系统核心区、生物多样性的的重要栖息地，也是水源涵养的关键区域；“一带”指的是庄河市南部沿海地区，该地区虽然生态源地面积较少，但是多为陆地水体和水库区域，同时在特殊的沿海地区，可以作为鸟类在飞行过程中的停靠点，也可以作为连接岛屿和陆地之间的连接部分，是陆海交互的生态过渡带，具有维护生物多样性的重要功能；“多廊道”指的是在连接庄河市南北部的多条生态廊道，主要为河流水系，是生态系统中物质、能量和信息流动的通道，是生态安全格局中的重要部分。

6. 结论与讨论

6.1. 结论

(1) 庄河市生态保护重要性评价结果表明空间分布呈现南北差异，极重要生态区主要分布在北部国家自然保护区、庄河县域内的水库保护地以及北部的林地部分；重要生态区主要分布在西北部 and 北部的大部分地区，主要以地势较高的林地为主；较重要生态区和一般生态区主要分布在庄河市中南部地区，该区域主要为耕地和建设用地，人类活动频繁，生态功能较弱。

(2) 本文基于生态保护重要性评价识别出 34 处生态源地，共 1087 km²，占研究区总面积的 26.4%。生态源地主要分布在庄河市北部和西北部，南部沿海一带分布较少，石城岛和王家岛也有生态源地分布。而中部地区人类活动对自然影响较大，不作为生态源地识别，为了生态环境的可持续发展和保证物种扩散和迁移顺畅，建议在中部地区和南部地区增加公路绿化带、小区绿化和生态公园，以此来增加生态源

地数量和面积,既能给物种在流动时增加栖息地和停靠点,也能给人们带来更好的生态环境。

(3) 本文共识别出 112 条潜在生态廊道,总长度为 1613.19 km,通过筛选和分类最终得到 60 条主要生态廊道,总长 770.34 km,52 条次要生态廊道,总长 842.85 km。庄河市土地利用类型分布较为破碎,尤其中部地区生态源地数量极少,景观连通性不高,需要提高生态廊道的连通性,由于中部生态廊道是主要连接庄河市南北部生态源地的作用,且中部地区多耕地和建设用地,人类活动较为频繁,导致物种在进行流动的过程中受到阻力较大。

6.2. 讨论

本文基于 MCR 模型、重力模型和电路理论识别和选取生态廊道是构建生态安全格局的关键部分,将两种模型得到的生态廊道进行分析和选择,避免单纯使用最小累计阻力模型得到的生态廊道过于单一。由于土地利用类型对生态综合阻力面的影响较大,生成的生态廊道与土地利用类型的相关性最大,其中建设用和耕地对应的阻力值较大,物种在穿过这部分地区时难度较大,而庄河市中部多耕地和建设用地,对于南北部生态源地的连接较为困难,所以在进行生态修复时,可以在中部多增加一些生态源地作为物种流动的停靠点,有“垫脚石”的作用,这样能够加强庄河市南北部生态源地的连通性。同时在进行生态修复时,应从庄河市整体出发,多加强乡镇之间的连通性。

本研究存在的不足:(1) 生态保护重要性评价过程中对结果进行自然断点法划分等级,此方法对于等级划分较为自然,但是期望能够寻求更符合庄河市生态保护重要性实际情况的划分方法。(2) 生态综合阻力面构建时,选取的要素和权重虽参照专家判定依据,但主观性较强。(3) 在生态源地识别过程中,生态保护重要性评价结果是主要依据,没有考虑到陆地水域内水生动物的流动性和扩散过程,主要以陆生动物的迁徙习惯作为依据[32]。在未来研究中应考虑到陆上水域内水生动物的迁徙过程和迁徙习惯,能够更加客观地研究生态廊道和维护生物多样性功能;在使用 MCR 模型过程中也要注意评价体系的选择和权重设置,能够使得评价体系更加客观,更能够代表县域生态环境的状态。

基金项目

辽宁省经济社会发展研究课题:辽宁沿海地区乡村旅游地转型发展格局与机制研究 2025lslqnwzzkt-018。

参考文献

- [1] 罗雅文,周燕,祁梦园,等.基于 DPSIR 模型的梁子湖流域水资源承载力评价与保护策略[J].国土与自然资源研究,2024(3): 45-50.
- [2] 黎昕.基于“双评价”的农业耕作条件适宜性评价研究——以武汉市为例[J].南方农机,2023,54(24): 87-90.
- [3] 王丽霞,姜群鸥,齐元静,等.大都市外围乡村地区国土空间规划双评价与分区研究——以北京昌平为例[J].中国农业大学学报,2024,29(1): 167-185.
- [4] 罗梅,刘合林,鲁仕维,等.中部山地地区县域“双评价”研究——以湖北省巴东县为例[J].小城镇建设,2023,41(11): 85-92.
- [5] 张建国,杨自安,鲁佳,等.基于县域尺度城镇建设适宜性评价——以晋中市太谷县为例[J].矿产勘查,2023,14(9): 1731-1739.
- [6] 周璠,鲁成树,臧玉多,等.基于“双评价”的生态安全格局构建研究——以安徽省黄山市为例[J].自然资源情报,2023(8): 44-51.
- [7] 刘永林,高益忠,陈明辉,等.广东省东莞市国土空间生态安全格局构建与分析[J].自然资源遥感,2024,36(2): 126-134.
- [8] 张明爽.铜陵市生态安全格局构建与优化分析[J].安徽建筑,2024,31(3): 32-33, 85.
- [9] 陈宝霖,翟云梦.基于 MSPA 和电路理论的昌都市生态安全格局构建[J].河南科技,2024,51(6): 105-110.

- [10] 吕静, 李明阳. 基于生态系统服务价值评价的松花江流域吉林段生态安全格局构建[J]. 河南科学, 2024, 42(3): 384-392.
- [11] 何夏莹, 袁奇峰, 曾悦, 等. 基于城市 POIs 大数据与电路理论的东莞市生态网络构建与评估[J]. 水土保持通报, 2023, 43(6): 237-247.
- [12] McRae, B.H., Dickson, B.G., Keitt, T.H. and Shah, V.B. (2008) Using Circuit Theory to Model Connectivity in Ecology, Evolution, and Conservation. *Ecology*, **89**, 2712-2724. <https://doi.org/10.1890/07-1861.1>
- [13] 辽宁省林业和草原局. 辽宁省森林资源二类调查报告(2020) [R]. 沈阳: 2021: 78-82.
- [14] 庄河市人民政府. 庄河市国土空间总体规划(2021-2035 年) [Z]. 2022: 23-25.
- [15] 庄河市水务局. 庄河市水利志[M]. 大连: 大连出版社, 2018: 56-60.
- [16] 刘畅. 国土空间规划双评价研究[D]: [硕士学位论文]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2023.
- [17] 郭金龙, 李成, 赵洁, 等. 基于生态安全格局的国土空间生态修复关键区域识别——以淮河流域为例[J/OL]. 中国环境科学: 1-17. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20250522.002>, 2025-07-12.
- [18] 张丽芳, 冉丹阳, 张鑫, 等. 基于 GIS 的北部湾经济区生态安全格局构建与评价[J]. 生态科学, 2019, 38(4): 202-208.
- [19] García-Ruiz, J.M., Nadal-Romero, E., Lana-Renault, N. and Beguería, S. (2013) Erosion in Mediterranean Landscapes: Changes and Future Challenges. *Geomorphology*, **198**, 20-36. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.023>
- [20] 吴健生, 张理卿, 彭建, 等. 深圳市景观生态安全格局源地综合识别[J]. 生态学报, 2013, 33(13): 4125-4133.
- [21] 陆晴, 廖佳婧, 胡慧敏. 基于 SRP 模型的红壤丘陵区生态脆弱性评价——以江西省赣南地区为例[J]. 上海国土资源, 2023, 44(3): 100-105, 156.
- [22] 王利, 季康如, 杜鹏. 大连庄河市陆域自然生态保护空间划分研究[J]. 资源开发与市场, 2020, 36(12): 1326-1333.
- [23] 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.
- [24] 杨迈, 郑毅, 李晓琳, 等. 洱海流域生态网络构建与分析[J]. 湿地科学, 2024, 22(2): 254-263.
- [25] 沈钦炜, 林美玲, 莫惠萍, 等. 佛山市生态网络构建及优化[J]. 应用生态学报, 2021, 32(9): 3288-3298.
- [26] 杨彦昆, 王勇, 程先, 等. 基于连通度指数的生态安全格局构建——以三峡库区重庆段为例[J]. 生态学报, 2020, 40(15): 5124-5136.
- [27] 杨佩, 时雅宁, 朱格格, 等. 基于 MSPA 与电路理论的洛阳市生态网络构建与优化[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2023, 36(6): 23-28, 125.
- [28] 朱冬奇. 基于“双评价”的“三区三线”划定研究——以上海市为例[J]. 上海国土资源, 2023, 44(1): 15-19.
- [29] 颜钰, 曾真, 陈秀铭, 等. 基于 MCR 模型的泉州市绿地生态网络构建与生态节点识别研究[J]. 山东林业科技, 2024, 54(1): 11-20.
- [30] Zhou, L., Wang, P. and Bai, Y. (2023) Optimization of the Ecological Security Pattern in Xi'an City Based on a Minimum Cumulative Resistance Model. *Journal of Resources and Ecology*, **14**, 1127-1137. <https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2023.06.002>
- [31] 薛明月, 吴孟泉, 郑龙啸, 等. 基于电路理论的县域生态安全格局构建——以山东省栖霞市为例[J]. 生态学杂志, 2024, 43(10): 3223-3232.
- [32] 毛媛媛, 徐凡, 高义轩, 等. 基于形态学空间格局分析的汝州市蓝绿生态网络构建与规划应用[J]. 应用生态学报, 2023, 34(8): 2226-2236.