

滨海资源型城市生态安全格局关键区识别

张抒恒¹ 杨忠学² 陈涛¹

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100; 2. 山东建筑大学管理工程学院, 济南 250101)

摘要: 在维护生态安全和实现高质量发展的背景下, 科学构建滨海地区生态安全格局可以有效协调区域发展与生态环境保护之间的关系。以东营市为例, 采用生态敏感性评价提取生态源地, 并根据陆、河、滩等重要生态要素的分布特征将生态源地分区, 分别从初始生态源地和分区后生态源地2个角度构建“面(生态源地)–线(生态廊道)–点(生态夹点、生态障碍点)”生态安全格局, 综合识别国土空间生态保护与修复关键区域。结果表明: 东营市初始生态源地共49处, 主要分布在北部和东部的低海拔滨海湿地地区, 经归并后划分成17个生态源地片区; 研究区综合阻力最高达98.742, 高阻力集中在建成区及其周边; 以初始生态源地和生态源地片区分别构建生态廊道84条和24条, 2类结果重叠的生态廊道具有显著生态意义; 此外, 识别生态夹点72处, 位于河流廊道上的生态夹点需重点维护与管理; 生态障碍点54处, 主要分布在东营区、垦利区和利津县。对于不同类别的关键区, 提出相应的保护、维护、管理以及修复策略, 统筹“陆–河–滩–海”全域生态保护, 可为其他滨海地区生态安全格局构建与优化提供参考。

关键词: 生态安全格局; 最小累计阻力模型; 生态源地分区; 滨海资源型城市; 东营市

中图分类号: F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2025)04-0313-12

OSID:



Identification of Key Areas in Ecological Security Pattern of Coastal Resource-based Cities

ZHANG Shuheng¹ YANG Zhongxue² CHEN Tao¹

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2. School of Management Engineering, Shandong Jianzhu University, Ji'nan 250101, China)

Abstract: To address this challenge and achieve high-quality development, the scientific construction of the ecological security pattern in coastal areas can effectively balance regional development and ecological protection. Taking Dongying City, a coastal resource-based city, as an example, the ecological sensitivity assessment was used to identify ecological sources. Based on the distribution patterns of crucial ecological elements such as land, rivers and beaches, ecological source partitions were delineated. The security pattern of “surface (ecological sources) – line (ecological corridors) – point (ecological pinch points, ecological barrier points)” was then constructed from the perspectives of dispersed ecological sources and ecological source partitions, and key areas for ecological protection and land space restoration were comprehensively identified. The results showed that there were 49 ecological sources in Dongying City, mainly distributed in low-altitude coastal wetland regions of the north and east, mainly distributed in of which 17 ecological source partitions were identified. The integrated resistance value was up to 98.742, with high resistance predominantly clustered in the built-up area and its vicinity. Totally 84 ecological corridors from ecological sources and 24 from ecological source partitions were established, the overlapping ecological corridors had more ecological significance. Moreover, totally 72 ecological pinch points were identified, particularly emphasizing the need for focused maintenance at the river corridor. Additionally, totally 54 ecological barrier points were mainly concentrated in Dongying District, Kenli District and Lijin County. Tailored protection, maintenance, management, and restoration strategies were proposed for types of critical areas, aiming to coordinate comprehensive ecological protection across “land – river – beach – sea” and provide a reference for constructing and optimizing the ecological security pattern

收稿日期: 2024-02-28 修回日期: 2024-04-18

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2452018143)

作者简介: 张抒恒(2000—), 女, 硕士生, 主要从事土地利用转型与土地生态研究, E-mail: shuhengzh@163.com

通信作者: 陈涛(1977—), 男, 副教授, 主要从事空间信息技术在生态学的应用研究, E-mail: tchen@nwsuaf.edu.cn

in similar coastal areas.

Key words: ecological security patterns; minimum cumulative resistance model; ecological source partitions; coastal resource-based city; Dongying City

0 引言

随着城市化和工业化的快速发展,出现各种生态环境问题^[1-2]。人类活动的不断加剧对自然资源和生态环境的可持续性构成巨大威胁,包括自然景观破碎、生态斑块连通性降低、物质与能量循环受阻以及生态过程的破坏。在极端情况下,甚至会导致生态系统退化和生态功能丧失,直接威胁区域的可持续发展和生态安全^[3-4]。滨海地区作为陆海相连带地带,不仅拥有滩涂、湿地等独特的生态系统和丰富的自然资源,其社会经济也十分活跃。然而,在气候变化和人类开发的双重影响下,滨海地区已成为生物多样性锐减、生态系统脆弱、自然灾害频发的高风险区域。因此,加强该地区生态保护与修复变得异常重要。

在“优化生态安全屏障体系,构建生态廊道和生物多样性保护网络,提升生态系统的质量和稳定性”^[5]框架下,构建区域生态安全格局成为调控生态过程的有效手段^[6-7]。目前,“识别源地—构建阻力面—提取廊道”已成为构建生态安全格局的基本范式^[8-12]。各研究不仅覆盖省^[13]、市^[14-15]、县(区)^[16-17]等不同行政单元,还包括城市群^[18]、流域^[19]、陆域^[20]等不同尺度地理区域。所采用的研究方法多样且不统一,具有明显的地域特征。其中,一些研究者通过分析景观连通性^[16]、生境质量^[20]和生态系统服务重要性^[21]来识别生态源地;结合专家打分和夜间灯光指数修正^[21]或计算隐性阻力^[17]来构建阻力面;使用最小累计阻力模型(Minimum cumulative resistance, MCR)和电路理论确定生态廊道^[22];还有研究者引入生态夹点、生态障碍点概念^[21,23-24]进一步完善生态安全格局构建。这些研究从不同角度证实了生态安全格局研究范式的有效性,对保护区域生态安全和促进高质量发展具有重要意义。然而,总体来看,目前大多数研究主要集中在生态环境较差的山地、旱区以及较大的经济区,而对滨海城市的关注相对较少。由于滨海地区具有湿地、滩涂和水产养殖区等较独特的生态基底以及在经济发展中扮演重要的角色,聚焦“水”元素,强化滨海城市生态安全格局构建与关键修复区域识别,显得尤为重要。

东营市坐落于黄河三角洲,背陆面海,是连接环渤海地区与黄河流域的重要联结点,是典型的滨海

资源型城市。东营市拥有丰富的湿地、湖泊和河流,湿地覆盖率高达41.58%,是全球首批“国际湿地城市”之一。这些广泛分布、种类繁多的水体生态系统在保护生物多样性、提供生态系统服务以及维持生态安全等方面发挥着至关重要的作用。同时,作为中国重要的能源和化工基地,东营市不仅是胜利油田的主产区,还蕴藏着丰富的煤炭、油页岩、石膏、岩盐和地热等资源。依托得天独厚的自然禀赋与地理区位优势,东营市经济发展势头强劲。然而,随着资源开发与城市建设的进行,地表生态环境遭到破坏,不合理的土地利用方式给敏感且脆弱的水体生态系统带来严重威胁,甚至导致部分生态功能受损或丧失,对维护区域生态环境稳定与平衡造成极大影响。本研究以东营市为例,基于生态安全格局研究范式,拟提出适用于滨海资源型城市的指标体系,用来识别生态源地和构建阻力面。通过分析陆、河、滩等重要生态要素的分布特征,对生态源地进行分区,再从初始生态源地与生态源地片区2个角度构建“面(生态源地)—线(生态廊道)—点(生态夹点、生态障碍点)”的生态安全格局。在此基础上,综合识别东营市国土空间生态保护与修复关键区域,提出相应的保护、维护、管理和修复策略,以实现滨海资源型城市“河—陆—滩—海”全域生态保护的统筹协调。

1 研究区概况

东营市东、北方向面向渤海,西接滨州,南与淄博、潍坊接壤,南北最大纵距123 km,东西最大横距74 km,总面积8 243 km²,位于36°55′~38°10′N, 118°07′~119°10′E。地势自西南向东北倾斜,黄河贯穿全境,地貌主要以微斜平地 and 海滩地为主,约10%区域为浅平洼地,其余由黄河淤积形成的河滩高地组成。气候属暖温带大陆性季风气候,年均降水量约560 mm,主要集中在夏季,年均气温13.2℃。市内河网密集,除黄河外,还有30条主要骨干排水河道,全市以黄河为界,北部属海河流域,南部属淮河流域。研究区概况如图1所示。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

所用数据主要包括遥感数据产品、数字高程

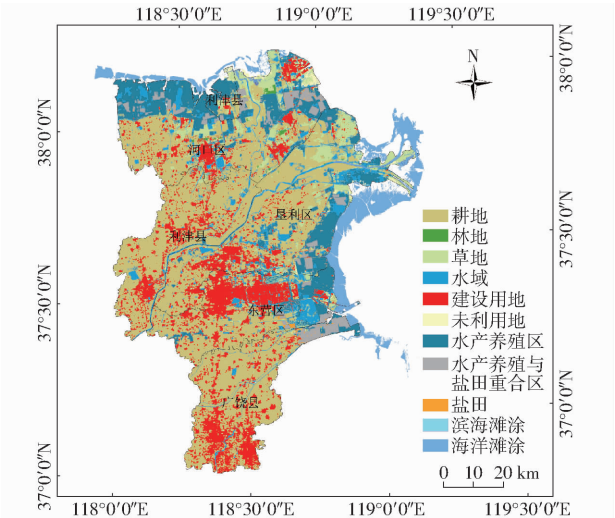


图1 研究区概况图

Fig.1 Overview map of study area

(DEM)、道路以及专题矢量数据等(表1)。土地覆盖数据由 ESRI、Impact Observatory 和 Microsoft 合作,基于 Sentinel-2 卫星影像制作;归一化植被指数(NDVI)数据源自美国 LAADS DAAC search 提供的 2022 年 7 月 MOD13Q1 数据,经处理后获得;道路数据来自开源地图服务平台 Open Street Map (2022 年);DEM 数据获自地理空间数据云平台;中国滩涂、海岸带地区水产养殖数据(2020 年)以及中国沿海盐田遥感监测数据(2010 年)均来自国家地球系统科学数据中心;风景名胜区、自然保护区等数据来源于东营市公开数据开放网和东营市总体规划文件。所有数据的地理坐标系均采用 GCS_WGS_1984,投影坐标系采用 WGS_1984_UTM_Zone_48N,数据空间分辨率统一重采样至 30 m × 30 m。

表 1 数据来源及精度
Tab.1 Data source and accuracy

数据名称	数据来源	类型及精度
数字高程数据(DEM)	地理空间数据云	栅格 30 m × 30 m
土地覆盖数据	ESRI 联合 Impact Observatory 和 Microsoft 基于 Sentinel-2 卫星数据成果	栅格 10 m × 10 m
归一化植被指数数据(NDVI)	美国 LAADS DAAC search 网站的 MOD13Q1 数据经处理获得	栅格 250 m × 250 m
道路数据	Open Street Map 平台	矢量
中国滩涂、海岸带地区水产养殖数据集(2020 年)	国家地球系统科学数据中心 (https://www.geodata.cn)	矢量
中国沿海 30 m 分辨率盐田遥感监测数据集(2010 年)	国家地球系统科学数据中心 (https://www.geodata.cn)	栅格 30 m × 30 m
风景名胜区、自然保护区	东营市公开数据开放网和东营市总体规划文件	矢量

2.2 研究方法

2.2.1 生态源地识别

城市化快速发展不可避免地引发生态环境变化,即使是轻微变化也可能打破滨海城市原有生态系统平衡^[25]。生态源地作为生态系统中相对稳定的区域,在维护区域生态安全和促进可持续发展方面发挥重要作用^[26]。这些区域通常具备自然环境相对完整、生物多样性丰富、生态功能稳定和对外界干扰较为敏感等特点。科学识别生态源地是构建生态安全格局的基础^[27],对保持滨海地区生态平衡和维护生态系统健康有重要意义。生态敏感性揭示生态系统对各种自然环境变化和人类活动干扰的反应程度,是评估生态环境问题出现可能性的重要指标^[28]。本研究通过采用多因子综合评价法来评价生态敏感性。考虑到数据的全面性、代表性和可获得性,选取坡度、高程、植被覆盖度、地表覆盖类型和与水域距离 5 个指标来进行单因子生态敏感性评价。在植被覆盖度指标中,综合考虑滨海城市水域区植被覆盖度较低且生态系统相对脆弱的特点,将水域所在地的植被覆盖度指标值赋为高度敏感;在

地表覆盖类型这一因素中,特别关注了水域(包括湿地)、滩涂、水产养殖区以及盐田等水体生态系统,为其赋予不同的敏感性指标值,以凸显滨海城市独特的生态特点。

首先,参考文献[13,29-30],将生态敏感性因子等级从高到低依次划分为“高度敏感、敏感、中度敏感、低度敏感和不敏感”。具体等级划分标准及相应赋值见表 2。其次,采用层次分析法对生态敏感性因子的相对重要性进行两两比较,构建判断矩阵,经一致性检验得到判断矩阵一致性程度指标——一致性比率(CR)为 0.060 6 < 0.1,进而确定各个因子权重(表 2)。东营市作为一个拥有众多河流、湿地和滩涂,水资源丰富的滨海资源型城市,在生态敏感性评价中,将与水域距离赋予最大权重,以突显其在滨海生态格局中的核心地位。最后,通过对单因子敏感性加权叠加,得到综合生态敏感性,并使用自然断点法筛选出高度敏感性区域。随后,结合滩涂、湿地、自然保护区、森林公园等关键生态要素,根据其生态重要性剔除碎小斑块,合并相邻区域,形成初始生态源地。在此基础上,根据陆、河、

表 2 生态敏感性因子分级标准和权重

Tab.2 Classification criteria and weights of ecological sensitivity factors

生态因子	生态敏感性等级					权重
	高度敏感	敏感	中度敏感	低度敏感	不敏感	
坡度/(°)	0 ~ 1.50	1.50 ~ 3.50	3.50 ~ 7	7 ~ 16	> 16	0.059 0
高程/m	<5	5 ~ 10	10 ~ 18	18 ~ 38	> 38	0.044 9
非水域植被覆盖度/%	0 ~ 15	15 ~ 38	38 ~ 56	56 ~ 74	> 74	0.278 2
地表覆盖类型	水域(包括湿地)、滩涂	林地、水产养殖区	草地、水产养殖与盐田重合区	耕地、盐田	建设用地、未利用地	0.205 3
与水域距离/m	0 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 400	400 ~ 800	> 800	0.412 6
赋值	9	7	5	3	1	

滩等重要生态要素的分布特征,对初始生态源地进行归并分区。例如,将以滩涂为主的生态源地划分为滩涂生态源地片区;将位于内陆的风名胜区、河湖等地的生态源地归为河湖陆地交汇生态源地片区。

2.2.2 生态阻力面构建

生态阻力面是指在生物水平空间移动及生态流在不同斑块间流动传递时遇到的阻碍因素或区域^[13],这些因素包括人为和自然影响,是构建生态廊道的必要条件。在滨海城市,由于地势通常较低洼、水域广泛,植被丰富,加之人类活动主要沿河流、海岸或公路布局。综合考虑这些特点,选取自然环境和人类活动因素为一级阻力层,构建东营市生态阻力面指标体系,该体系涵盖 8 个二级阻力因子。通过层次分析法,计算指标权重;并参照文献[14 – 15,31 – 33],根据阻碍作用和干扰程度对阻力指标进行赋值,具体权重及阻力见表 3。通过单一因子阻力面的加权叠加,得到综合阻力面。

2.2.3 生态廊道构建

生态廊道是连接生态源地,能够直接传递物质和能量的通道。在生态修复中,生态廊道是最有潜力促进生态连通性的关键要素或区域^[15 – 16]。采用最小累积阻力模型(MCR)^[34],利用 Build Network and Map Linkages 工具,构建生态廊道和潜在生态廊道。

2.2.4 生态节点识别

生态节点包括生态夹点和生态障碍点。生态夹点在区域景观连通性中起着重要作用,作为生物流动的主要通道,它们往往是唯一选择,缺乏其它有效替代路径。这些夹点的完整性对生态系统的稳定极为重要,一旦遭受破坏或被移除,可能会对生态系统稳定性造成严重影响,甚至触发连锁反应,扰乱生态平衡^[4]。因此,保护生态夹点以维持区域生态系统的稳定和完整,成为国土空间生态保护与修复工作的关键策略。生态障碍点则是阻碍生物在不同生境

表 3 各阻力指标赋值与权重

Tab.3 Assignment and weight of each resistance indicator

阻力层	阻力因子	阻力指标	阻力	权重
自然环境因素	土地覆被类型	水域	1	0.197 6
		林地	20	
		草地	40	
		耕地	60	
		未利用地	80	
		建设用地	100	
	高程/m	< 5	1	0.067 0
		5 ~ 10	20	
		10 ~ 18	50	
		18 ~ 38	80	
	坡度/(°)	> 38	100	0.037 5
		0 ~ 1.5	1	
		1.5 ~ 3.5	20	
		3.5 ~ 7.0	50	
	坡向	7 ~ 16	80	0.025 4
		> 16	100	
		南坡、平地	1	
		东南坡、西南坡	20	
人类活动因素	NDVI	东坡、西坡	50	0.136 2
		东北坡、西北坡	80	
		北坡	100	
		0.616 5 ~ 0.928 0	100	
		0.466 2 ~ 0.616 5	80	
		0.283 4 ~ 0.466 2	50	
	非水域区	0.057 2 ~ 0.283 4	20	0.224 4
		< 0.057 2	1	
	水域区		1	
		0 ~ 100	1	
		100 ~ 200	20	
	与水域距离/m	200 ~ 400	50	
		400 ~ 800	80	
		> 800	100	
	与主要道路距离/m	0 ~ 200	100	0.109 2
		200 ~ 400	80	
		400 ~ 800	50	
		800 ~ 1 600	20	
		> 1 600	1	
	与主要建成区距离/m	0 ~ 400	100	0.202 7
		400 ~ 800	80	
		800 ~ 1 600	50	
		1 600 ~ 3 200	20	
		> 3 200	1	

斑块间自由移动的区域。通过消除这些障碍点,可以显著提升生态源地间的连通^[35]。本研究基于电路理论,借助 Circuitscape 软件及 Pinchpoint Mapper 工具识别生态夹点;通过 Barrier Mapper 工具识别生态障碍点,并结合土地覆盖类型进行分析,制定有针对性的国土空间修复策略。

3 结果与分析

3.1 生态源地识别

图2为单因子生态敏感性和综合敏感性等级分布情况。在单一因子敏感性评价中,坡度因子表现出较高的敏感性,坡度大于16°不敏感区域仅有18.45 km²,占总面积0.22%。对于高程因子,敏感区域面积最大,为3 716.25 km²,占45.08%,其次是高度敏感区域,此两者合计约占86%,遍布在整个东营市。就植被覆盖度敏感性等级而言,高度敏感区域主要分布在东营市北部和东部的水域地带,而位于河口区东南与垦利区交界处的黄河三角洲自然保护区的敏感性相对较低。在地表覆盖类型因子方面,高度敏感区主要涉及水域,包括湿地、滩涂、河流、湖泊以及水库,集中在东营市北部和东部的非水

产养殖区;中度敏感和敏感区域主要为水产养殖区,以及其与盐田重叠的区域,这些区域面积显著大于高度敏感区;而低度敏感区域分布最广,主要包括耕地和一些盐田;未利用地和建设用地主要为不敏感区。在本研究中,水域如湿地、湖泊、河流以及水库是当地自然生态系统中的重要组成部分。因此,通过采用多环缓冲区分析,基于与水域距离,评估了这些区域周边的生态环境影响,用不同距离表征生态敏感性差异。研究结果显示,高度敏感区域集中在东营市北部渤海湾和东部莱州湾等近海区域,以及内陆河流、湖泊等周边,生态敏感性逐渐向西南方向降低。

综合生态敏感性分布如图2f所示,高度敏感区域面积为1 325.89 km²,占总面积的16.09%,主要分布在东营市北部和东部水域地带,涵盖了各种类型的湿地、湖泊、河流等。这些区域虽然具有极高的生态价值,如防洪、固碳、产氧以及旅游等功能,但生态系统相对脆弱,容易受到外界干扰。生态敏感区域和中度敏感区域面积分别为1 433.57 km²和1 761.66 km²,共占比38.76%,这些区域主要环绕在高度敏感性的水产养殖区周边。尽管水产养殖区

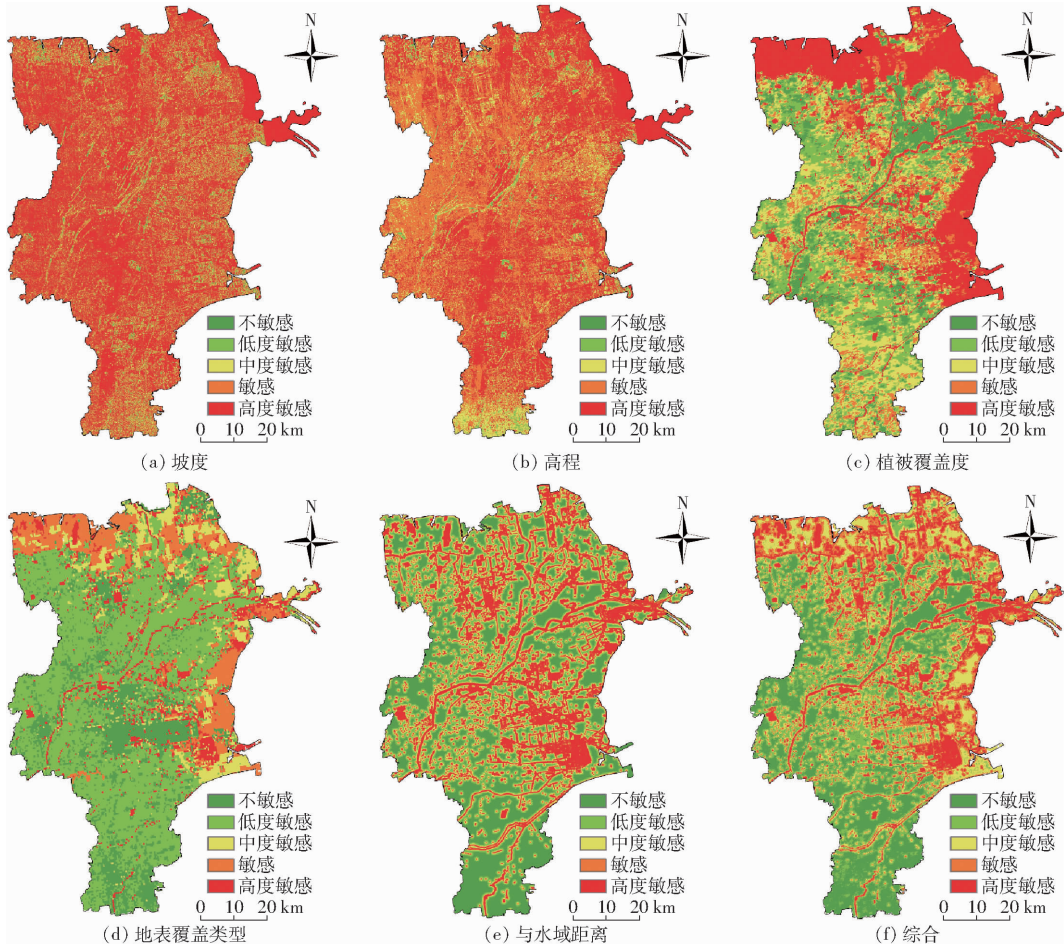


图2 东营市生态敏感性分级结果

Fig.2 Ecological sensitivity level map of Dongying City

受人类活动的影响较大,但通过人为创造或改善生
境条件,不仅满足了养殖物种的生存需求,还吸引了
其他非养殖的野生物种栖息。特别是在养殖区与自
然水体交界处,往往形成生态上的特殊边缘带,为野
生动植物的多样性提供了良好基础。因此,这类区
域的生态敏感性处于中至高水平。生态低度敏感和
不敏感区域主要集中在广饶县、利津县以及垦利区
中部,总面积为 3 721. 88 km²,占比 45. 15%。这些
区域内河流、湖泊、湿地和自然保护区较少,对外界
干扰的敏感性相对较低。

根据综合生态敏感性评价结果,共识别出 49 处
初始生态源地,覆盖面积为 471. 60 km²,占东营市总
面积的 5. 72%。东营市众多的盐田是导致这些生
态源地面积相对较小的主要原因之一。盐田的开发
与运营可能会改变自然生态系统特性,进而影响到
野生动物的栖息环境。根据面积对这些初始生态源
地进行编号。初始生态源地主要分布在东营市北部
和东部地区,而在利津县、广饶县以及东营区西部,
生态源地相对较少,如图 3 所示。

依据“陆-河-滩-海”一体化的生态安全格局构
建目标,综合考虑东营市关键生态要素(河湖、湿
地、滩涂等)的分布特征,对初始生态源地进行归并
分区。共划分出 8 个主要生态源地片区,主要生态
源地片区特征及分布见表 4,再加上一些相对独立
分布的生态源地(次要生态源地片区),共计 17 个生
态源地片区,这些片区按面积进行编号(图 4)。在
这些片区中,生态源地片区 3 位于河口区西部,该区域
内纵贯有多条南北流向的河流,连接了北部的沿海
水产养殖区与内陆林草丰富的公园,展现“陆-河-

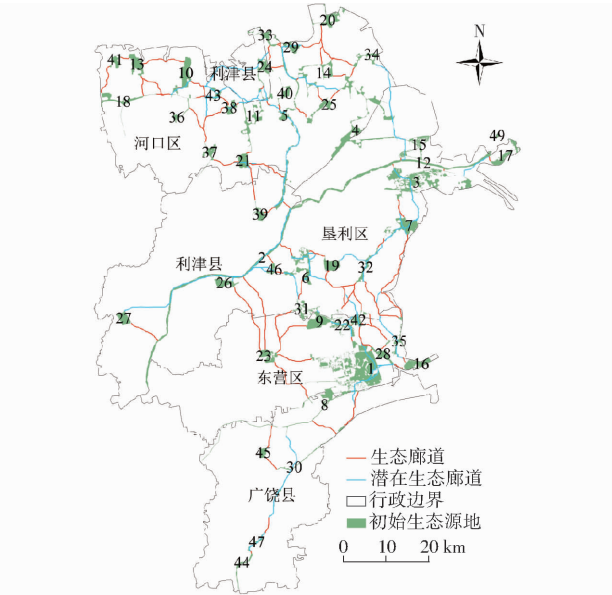


图 3 初始生态源地及对应生态廊道分布图
Fig. 3 Distribution map of primary ecological source
and corresponding ecological corridor

海”相连的生态格局;生态源地片区 1 位于河口区
东部,作为面积最大的生态源地区,包含滩涂、黄河
故道、森林公园以及水库等,具有较高的生态系统稳
定性;生态源地片区 6(以湿地、河流为主)、8(以滩
涂为主)位于黄河入海口,覆盖滩涂、生态旅游区、
河流等多个生态要素,对于维护生物多样性、生态平
衡以及实现“河-陆-滩-海”综合保护至关重要;生
态源地片区 4、7 靠近渤海,主要包括风景区、农业观
光园、水库和河流,突出“陆地-河网”相连的生态格
局;生态源地片区 2 位于龙悦湖及周边的河网区,包
含滩涂、河流、湖泊及风景区,其中河流作为天然连
接纽带,连接并构建了相对稳定的生态系统;生态

表 4 8 个主要生态源地片区位置及其特征

Tab. 4 Location and characteristics of main ecological source partitions

片区	命名	位置	特征
1	黄河故道生态源地 片区	黄河故道北部滩涂、黄河故道、孤北水库、神仙沟、河 口孤岛植物园等所在地	陆地、水库、河流、滩涂相连,维护“陆-河-滩-海”格局
2	龙悦湖广利河生态 源地片区	莱州湾滨海滩涂、广利河、龙悦湖风景区、耿井水库 等所在地	陆地、水库、河流、滩涂相连,维护“陆-河-滩-海”格局
3	河口西部滨海生态 源地片区	河口区西部滨海水产养殖区、湿地、新河、沾利河所 在地	河流连接内陆与滨海水产养殖区、湿地,有助于加强内陆 与滨海地区的联系
4	永镇水库生态源地 片区	滨海湿地、小岛河、张镇河、永镇水库、一号河二号水 库、三排沟、民丰湖风景区等所在地	陆地、水库、河流、湿地相连,维护“陆-河-滩-海”格局
6	黄河口生态旅游 生态源地片区	黄河三角洲国家级自然保护区、黄河口生态旅游 和天然柳林所在地	地类以滨海湿地为主,包括重要的陆地和水域生态要素, 是维护“陆-河-滩-海”格局的重要枢纽
7	辛安水库生态源地 片区	广北水库、辛安水库、溢洪河、东营河等所在地	成片的水库、河流相连,提升东营区和垦利区生态系统完 整性
8	黄河入海口滩涂生 态源地片区	黄河入海口的多处滨海滩涂	集中分布的滩涂,是陆地、河流与海洋的重要连接枢纽
15	淄河生态源地片区	两处淄河河段	重点水源,与北部小清河相连,维持广饶县河流生态系统 稳定性

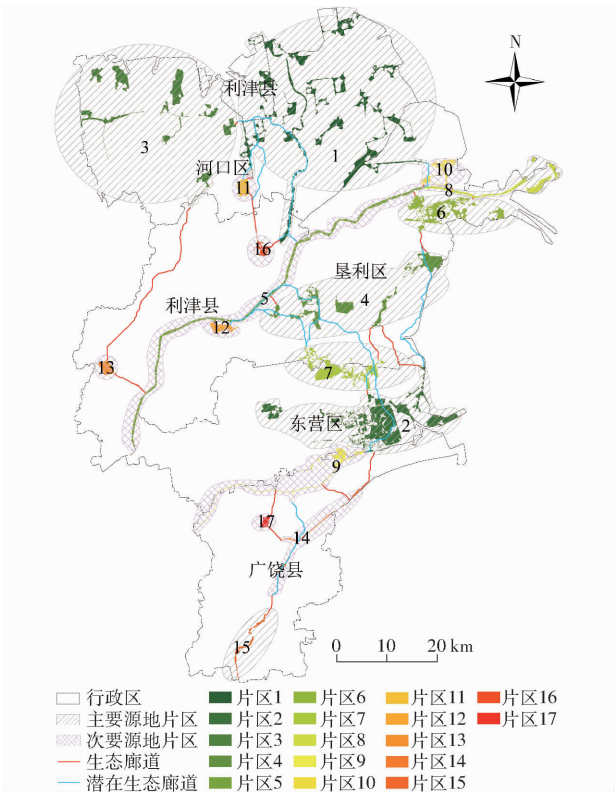


图 4 生态源地片区及对应生态廊道分布图

Fig. 4 Distribution map of ecological source partitions and corresponding ecological corridors

源地片区 15 由淄河及两岸的生态源地组成,河流的突然变窄或其他生态敏感性因素的低响应是导致其分裂的主要原因之一。其余生态源地片区面积相对较小,而且分布零散,主要集中在利津县和广饶县。

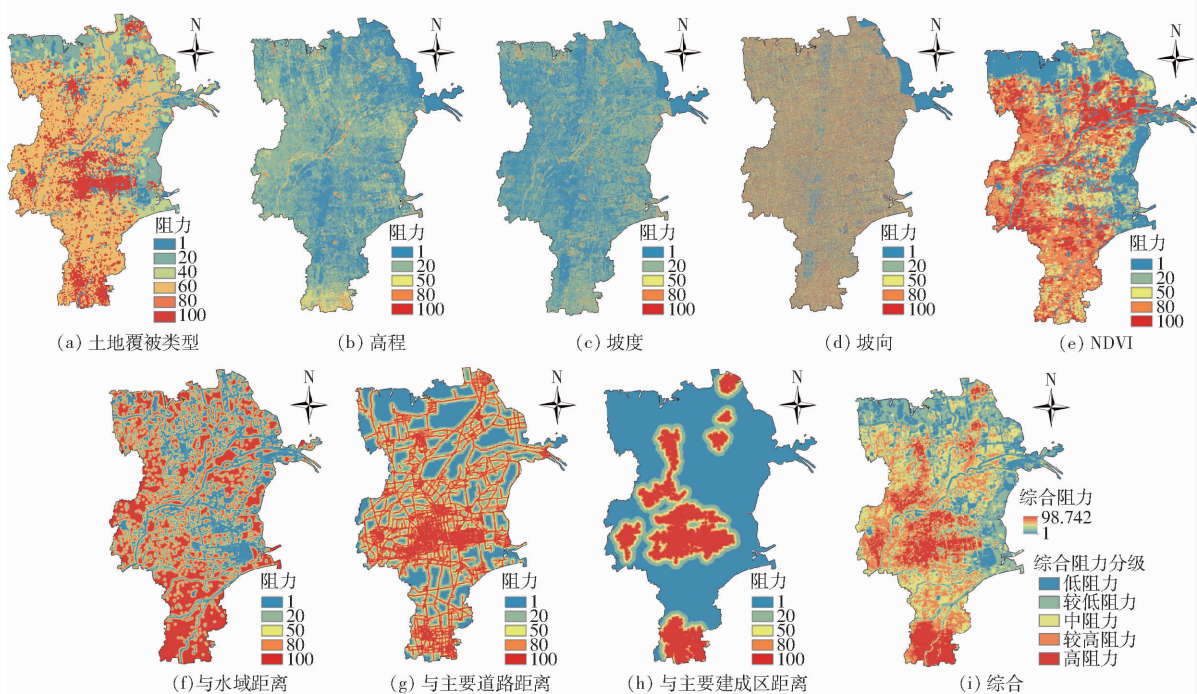


图 5 东营市生态阻力面

Fig. 5 Ecological resistance surface of Dongying City

3.2 生态阻力面构建

由土地覆被类型单因子阻力模型(图 5a),观察到水域和滩涂的生态阻力较低,其次是林地、独立的水产养殖区、草地以及水产养殖和盐田交错分布的混合区域;相比之下,其他土地覆被类型则呈现出较高阻力。考虑到东营市地理特征,例如整体地势起伏、坡度变化和坡向等特征并不突出,因此在构建综合阻力面时,赋予这些指标较低权重。观察图 5b ~ 5d,可以看出高程、坡度和坡向对应的高阻力分布相对分散,覆盖面积较小,这表明全市范围内的高程、坡度和坡向阻力面的整体变化较为平缓。进一步探究 NDVI 因子,东营市北部和东部的水域阻力较低,而在非水域区域,尤其是河口区北部、广饶县北部以及垦利区黄河两岸阻力较高。这些区域主要为非城市区,植被茂密,生态环境质量较好,因此构建的生态廊道穿过这些区域所需生态代价相对较高。与水域、主要道路和主要建成区距离相关的阻力分布格局,在空间上显示较高相似性,高阻力集中分布在东营市中心城区以及广饶县南部已建设成熟的城区,这反映了人类活动对该区域的影响显著。

由综合阻力面(图 5i)可以看出,东营市最高综合阻力高达 98.742,这些高阻力区域主要汇聚在各县(区)的城市中心及其周边区域。在这些区域,人口密集、交通网络复杂、建筑设施集中,对生物种群的水平迁移和生态连通性造成显著阻碍。相比之下,中等阻力区域分布更为广泛,尤其是在广饶县北部、垦利县和利津县西北部,主要为农田耕作区。与

此同时,综合阻力较低的地区主要集中在东营市北部和东部拥有丰富水系资源的区域,最低阻力为 1。这些低阻力区人口相对稀疏,人类活动强度较低,自然生态系统相对稳定,因此在提供高质量生态服务方面具有更高的潜在价值。

3.3 生态廊道提取

基于最小耗费路径原理,提取东营市生态廊道和潜在生态廊道。在构建滨海城市的生态廊道时,特别关注“陆-河-滩-海”为一体的连续景观格局,旨在可以高效维护区域内生态系统的完整性和连通性。针对 49 个初始生态源地和归并后的 17 处生态源地片区,分别构建生态廊道网络。通过对比两种廊道的提取结果(图 3 和图 4),深入探讨了滨海生态安全格局的独特性和内在差异性。在未经归并的初始生态源地基础上所构建的廊道结果显示,东营市共确定 84 条生态廊道,总长 451.35 km;潜在生态廊道 42 条,总长 897.97 km。另一方面,基于 17 处合并的生态源地片区所构建的生态廊道结果显示,东营市有 24 条生态廊道,总长 127.34 km;潜在生态廊道 14 条,总长 385.21 km。这些潜在生态廊道作为对主要廊道网络不可或缺的补充部分,不仅增强了各核心生态源地间的互联互通,还在提升生态安全稳定性方面发挥着至关重要的作用^[30]。

基于初始生态源地所构建的生态廊道主要集中在河口区、垦利区东南部和东营区东部(图 3)。这些区域的生态源地分布密集,导致生态廊道数量相对较多。这些区域内的河流、水库、风景名胜区以及滩涂等生态要素虽然丰富但相互邻近,使得各生态源地之间的距离普遍较短,从而形成的生态廊道也具有较短的跨度。以东营区耿井水库周边的生态源地 23 为例,其与周边的 6 处生态源地由 6 条生态廊道紧密相连,但距离均较短。进一步观察,这些廊道分别连通周边的风景保护区、重要水库、黄河主河道以及其他河流。这些廊道网络进一步将内陆水源地(如生态源地 1、28、16)与广阔的滩涂、湿地乃至海洋相连接,形成了一个完整的“陆-河-滩-海”生态连续体,这对生物多样性的维系和保护具有重要意义。多条生态廊道连接流经东营市的黄河与周边生态源地,充分展现了黄河在东营市对生态系统稳定性及完整性的重要影响。

由图 4 可知,基于 17 处生态源地片区所建立的生态廊道网络中,利津县西北部的一条生态廊道,全长 40.56 km,占全部生态廊道总长度的 31.85%。这条生态廊道不同之处在于,它与基于初始生态源地所构建的生态廊道网络并未产生重叠。该廊道直接连接了河口区北部的生态源地与利津县赵家水库

附近的另一片生态源地,凭借长距离、跨县域的显著优势,成为连接滨海与内陆生态要素之间的重要通道。这条独特且绵长的生态廊道对于维护整个地区生态系统的完整性、促进陆地与海洋生态格局的有效连接起着关键作用,在生态网络构建中具有重要地位。

由东营市基于初始生态源地和生态源地片区所构建的生态廊道布局(图 3 和图 4),可以清楚看到,南北方向的生态廊道密集度明显高于东西方向,这种分布特征与地势大致相符。2 种生态廊道提取策略所识别出的廊道布局在一定程度上存在重叠,这种重叠突出了连接孤立生态源地与主要生态源地片区的重要性。重叠的生态廊道对于增强东营市“陆-河-滩-海”整体生态连通性发挥了极重要作用。在 2 种廊道提取结果比较中,发现广饶县的生态廊道布局表现出较小差异性,这主要归因于该县的生态源地多集中在河流两岸,使得生态廊道常与自然河流融合一起。这些河流廊道作为天然的连接通道,承载着不可替代的生态功能。在 2 种廊道提取结果中,还观察到一些生态廊道和潜在生态廊道重叠的现象,这些重叠廊道具备较强的生态连通性,不仅是目前生态流动的关键通道,也是未来生态修复和保护的优先区域。这种重叠亦展现出这些区域在维护生态系统健康、促进物种迁移和适应气候变化等方面的战略价值,应受到特别关注。通过对 2 种生态廊道提取结果的对比发现,由于关注尺度不同,提取的廊道数量与布局并不完全重合,但关键廊道均得以识别。这 2 种方案在一定程度上可相互补充,为全面识别滨海城市生态廊道提供有益参考。

3.4 生态节点识别

3.4.1 生态夹点

为全方位贯彻“陆-河-滩-海”一体化生态保护战略,运用电路理论对基于初始生态源地及归并后的生态源地片区这 2 种生态流通过程进行了电流密度分析。综合考量了 2 种路径模型的电流密度结果,用以确定对生态流动影响较大的生态夹点和生态障碍点(图 6)。

通过采用“All-to-one”模式对生态廊道进行电流密度分析,最终识别出 72 个生态夹点(图 6),这些夹点总覆盖面积为 3.91 km²。生态夹点分布广泛但规模较小的原因主要归因于生态廊道的相对密集且长度较短。最大生态夹点面积不超过 0.69 km²,位于垦利县黄河生态旅游与南部水域之间的生态廊道上,该夹点的保护与管理需求尤为迫切。总体而言,生态夹点主要集中在河口区和垦利区,这一分布特点与东营市水资源、耕地以及建设用地的空间布局密切相

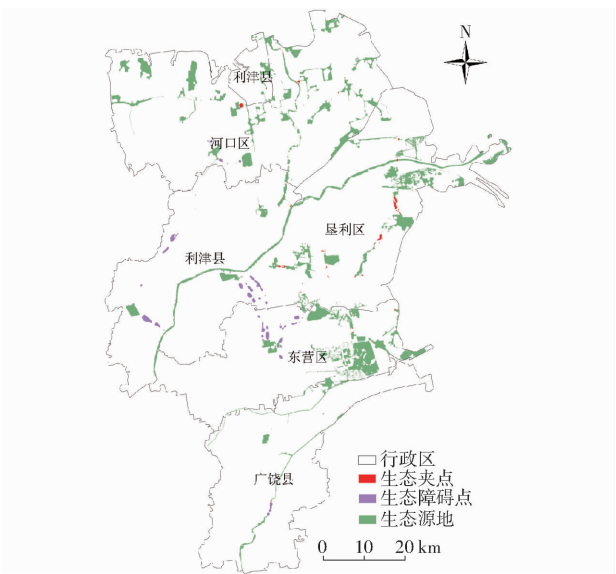


图 6 生态夹点和生态障碍点分布图

Fig. 6 Distribution map of ecological pinch points and ecological barrier points

关。河口区临近渤海,拥有黄河故道、孤北水库、蓬莱公园等重要生态资源,加强这些区域的生态夹点保护和管理对于促进沿海与内陆生态系统的相互联系与物质能量交换,以及保持生态系统整体性具有重要意义。垦利区与东营区东部的内陆生态夹点在串联河流、湖泊、水库和自然风景区等方面起到连接作用,只有妥善保护这些生态夹点,才能进一步增强与滩涂生态系统的连通性,有力推动滨海城市自然生态系统的健康发展,特别是加强“陆-河-滩-海”生态连通网络的构建。广饶县境内的 3 个生态夹点均位于重要河流廊道沿线,这些自然形成的通道蕴藏着极高的生态价值。然而,近年来,受填河造田、大规模开发、废水排放和污染物堆积等问题影响,部分河道正面临着严峻的生态威胁。因此,在这些生态敏感的河流廊道关键地段,有必要加强河流修复与整治力度,包括进行污染净化处理、清除淤泥等,并设立河道保护区,严禁任何破坏河流生态环境的行为。

3.4.2 生态障碍点

共识别出 54 个生态障碍点(图 6),总面积为 19.59 km²。这些障碍点主要散布在东营区、垦利区和利津县。其中,41 个障碍点集中分布在连接东营区耿井水库附近生态源地的 6 条廊道,以及连接利津县西部生态源地与黄河、河口区西部生态源地的 2 条廊道上,占有生态障碍点面积的 89.64%,即 17.56 km²。通过叠加分析生态障碍点与土地覆盖类型的关系,发现这些生态障碍点大多分布在耕地和建设用地上。由于这 2 类土地覆盖类型受到人类活动的高度干预,其生态阻力较大,对生态连通性的负面影响尤为显著。为实现区域可持续发展,除了

充分利用耕地和建设用地的生产效能外,还需抓住修复生态障碍点的契机,科学规划东营市国土空间布局,力求在社会经济进步与生态保护之间达成平衡。特别是,东营区和垦利县的建设用地靠近河湖和风景名胜区,限制了各生态源地之间的物质能量循环;利津县作为胜利油田主要产区,长期的地下油气开采活动严重改变了当地生态环境,对生物流动产生了明显的阻滞效应。上述地区的生态障碍点对跨区域生物迁徙有较大影响,亟需修复以增强东营市的景观连通性。在广饶县,生态障碍点主要集中在河流周边区域,应加强耕地与建设用地附近水域的生态修复和污染防治,以提升生态环境质量与安全性。河口区南部的建成区发现了 6 处生态障碍点,伴随城市化和工业化加快,生态保护与城市扩张矛盾日益尖锐,需优化建成区的植被覆盖及结构配置,发挥蓝绿基础设施在生态保护与环境调节方面的积极作用。此外,东营市北部和东部的生态源地集中连续分布,物种迁移路径较短且通道多样化,一定程度上缓解了迁移障碍,因此这些区域内的生态障碍点相对较少。

3.5 关键区域生态修复对策

东营市凭借其独特的滨海地理优势,拥有包括河湖、湿地、滩涂以及风景名胜区在内的丰富生态源地。在管理和开发这些宝贵生态源地的过程中,必须将生态环境保护放在首位,减少人为干扰,仅限于开展规模适中对环境影响较小的科普教育、观光体验等活动,坚决避免追求商业利益而过度开发,以保障生态源地的自然特性和生态功能的长期保持与延续。滨海城市的生态廊道体系,较好诠释了陆地、河流、滩涂与海洋之间生态网络的有机联系,其中廊道与天然河流的相互交织和共生尤为常见。因此,加强主要廊道与河流廊道保护,对于维护滨海区域生态系统的连通性和完整性至关重要。生态夹点作为生态物质传输过程中的关键节点,一旦受损,将对整个生态系统的稳定性造成深远影响。为此,在对生态夹点区域的人类活动进行管控的同时,还应根据不同夹点的特性,实施有针对性的科学土地管理措施。例如,对河流廊道的生态夹点,应着重开展河道修复和污染防控;对于嵌入耕地上的生态夹点,则应增强耕地的生态保育功能,提升其生态效益。生态障碍点主要出现在耕地和建设用地上,这些区域的高强度人类活动造成了较大的生态阻力,显著影响了生态连通性。面对生态障碍点问题,应审慎规划,调整耕地与建设用地布局,提高土地使用的集约化和绿色化水平,不断扩展生态空间,以坚实稳固的生态环境为基础,推动区域可持续发展进程。

4 讨论

本研究采用生态敏感性评价提取了生态源地,并依据滩涂、河流、自然保护区等滨海关键生态要素的空间分布规律,对生态源地进行了归并分区。从初始生态源地和生态源地片区 2 个角度构建“面(生态源地)-线(生态廊道)-点(生态夹点、生态障碍点)”生态安全格局,识别滨海地区生态保护与修复关键区域。在确定生态源地与阻力面时,不仅考虑了地形、植被等常规的生态环境因素,还特别关注了滨海地区的自然特点与生态基础,将滩涂、湿地、河湖、水产养殖区、盐田等多种水体生态单元纳入到生态安全格局构建中。这一方面突出了滨海地区水资源丰富、水体多样且生态价值不同的特点;另一方面,所建立的评价指标体系与权重分配对其他滨海地区生态文明建设提供了重要参考。此外,本研究依据陆、河、滩等关键生态要素的分布特征对初始生态源地进行了归并分区,并在此基础上构建了一个全面的“面-线-点”生态安全格局架构。全面识别了滨海资源型城市在生态保护和修复的重点区域,并从多个角度提出了区域生态保护与修复策略,为巩固和发展滨海地区“河-陆-滩-海”整体生态安全屏障奠定了坚实的基础。

本研究将滨海城市独有的生态特征融入生态源地识别和生态阻力面构建的评估框架中。通过深入分析关键水体生态要素,确定生态源地,重点探究滨海地区陆海、陆河生态廊道的连通性,全面系统地识别生态保护和修复关键区域,并提出针对性策略。但在确定关键区域修复优先级、侧重点及预期成效等方面还有待进一步探索。未来研究可以考虑利用高分辨率多源数据,对关键区域的生态服务功能进行深入的量化评估,以便科学权衡修复工作的紧迫性与重要性,从而在多个维度上探讨生态修复优先顺序与核心任务,以提升滨海地区生态保护与修复的综合效益,促进区域生态安全与社会经济可持续发展。此外,虽然本研究对生态源地进行了初步划分,但对各个生态源地片区内部的具体情况尚未进行详尽阐述。例如,基于不同生态要素的组合,生态

源地可以进一步细分为滩涂生态源地区、河湖陆地交汇生态源地区、河流主导生态源地区等不同类别。未来研究可通过应用更高精度的遥感影像,对每个生态源地片区内部待修复的关键区域进行精细剖析,实现精准的空间定位,为国土空间保护和修复策略制定提供理论依据。

5 结论

(1)通过对研究区的深入探究,共识别出 49 处生态源地,占总面积的 5.72%。这些源地主要由滩涂、河流、湿地、水库、自然保护区等构成,集中分布在东营市北部和东部低海拔滨海湿地区域。这不仅明确展示出滨海城市的典型生态特征,同时也证实了所构建的生态源地识别指标选择与评价体系的合理性及有效性。此外,通过对陆地、河流、滩涂等滨海地区关键生态要素的分析,进一步将生态源地归并成 17 个生态源地片区。

(2)从初始生态源地入手,确定 84 条生态廊道和 42 条潜在生态廊道;而基于生态源地片区分析,识别出 24 条生态廊道和 14 条潜在生态廊道。2 种策略下识别的重叠生态廊道,主要承担连接孤立生态源地与主要生态源地片区的关键作用,对于加强滨海城市在“陆-河-滩-海”各生态系统间的整体生态连通性具有极其重要意义。

(3)通过综合考虑 2 种生态廊道识别策略,应用电流模型,共识别出 72 处生态夹点,这些夹点集中分布在河口区与垦利区,尤其是河流廊道上的生态夹点成为重点维护与管理对象。同时,还识别出 54 处生态障碍点,这些障碍点主要分布在东营区、垦利区和利津县,与当地的经济活动和生态基底特征密切相关。

(4)针对待修复关键区域的空间分布特征和土地利用现状,提出了一系列针对“生态源地(面)-生态廊道(线)-生态夹点和生态障碍点(点)”不同修复策略。这些策略增强现有生态系统稳定性,改善生态环境质量,加强生态系统连通性,从而构建与优化滨海城市生态安全格局,为区域可持续发展奠定坚实基础。

参 考 文 献

[1] ROMANELLI P J, FUJIMOTO T J, FERREIRA D M, et al. Assessing ecological restoration as a research topic using bibliometric indicators[J]. Ecological Engineering, 2018, 120:311 - 320.

[2] 韩博,金晓斌,项晓敏,等. 基于“要素-景观-系统”框架的江苏省长江沿线生态修复格局分析与对策[J]. 自然资源学报, 2020,35(1):141 - 161.

HAN Bo, JIN Xiaobin, XIANG Xiaomin, et al. Exploration of ecological restoration pattern and countermeasure along the Yangtze River in Jiangsu Province based on the “element - landscape - system” framework[J]. Journal of Natural Resources, 2020,35(1):141 - 161. (in Chinese)

[3] 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 Xiwu, JIA Tianchao. 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. (in Chinese)

[4] 方莹,王静,黄隆杨,等. 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[J]. 自然资源学报,2020,35(1):190 - 203.

FANG Ying, WANG Jing, HUANG Longyang, et al. Determining and identifying key areas of ecosystem preservation and restoration for territorial spatial planning based on ecological security patterns: a case study of Yantai City[J]. Journal of Natural Resources,2020,35(1):190 - 203. (in Chinese)

[5] 吴一洲,姚申益,吴思琴,等. 海岛城市生态安全格局构建与优化策略研究——以舟山本岛为例[J]. 长江流域资源与环境,2022,31(12):2693 - 2705.

WU Yizhou, YAO Shenyi, WU Siqin, et al. Construction and optimization strategy of ecological security pattern in the island city: a case study of Zhoushan Island[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2022,31(12):2693 - 2705. (in Chinese)

[6] 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.

PENG Jian, ZHAO Huijuan, LIU Yanxu, et al. Research progress and prospect on regional ecological security pattern construction[J]. Geographical Research,2017,36(3):407 - 419. (in Chinese)

[7] 杨凯,曹银贵,冯喆,等. 基于最小累积阻力模型的生态安全格局构建研究进展[J]. 生态与农村环境学报,2021,37(5): 555 - 565.

YANG Kai, CAO Yingui, FENG Zhe, et al. Research progress of ecological security pattern construction based on minimum cumulative resistance model[J]. Journal of Ecology and Rural Environment,2021,37(5):555 - 565. (in Chinese)

[8] 刘壮壮,吴未,刘文锋,等. 基于“源地-廊道”生态安全格局构建逻辑范式的建设用地减量化研究[J]. 生态学报,2020, 40(22):8230 - 8238.

LIU Zhuangzhuang, WU Wei, LIU Wenfeng, et al. Research on the reduction of construction land based on the logical paradigm of “source - corridor” ecological security pattern[J]. Acta Ecologica Sinica,2020,40(22):8230 - 8238. (in Chinese)

[9] 彭建,李慧蕾,刘焱序,等. 雄安新区生态安全格局识别与优化策略[J]. 地理学报,2018,73(4):701 - 710.

PENG Jian, LI Huilei, LIU Yanxu, et al. Identification and optimization of ecological security pattern in Xiong'an New Area [J]. Acta Geographica Sinica,2018,73(4):701 - 710. (in Chinese)

[10] 刘学,杨春艳,高艳妮,等. 厦门市生态安全格局识别与生态管控区分级管控[J]. 生态学报,2023,43(13):5357 - 5369.

LIU Xue, YANG Chunyan, GAO Yanni, et al. Identification of ecological security pattern and hierarchical management of ecological control area in Xiamen[J]. Acta Ecologica Sinica,2023,43(13):5357 - 5369. (in Chinese)

[11] 魏家星,倪雨淳,寿田园,等. 基于水-陆耦合生态系统服务的生态安全格局构建研究——以长三角生态绿色一体化发展示范区为例[J]. 生态学报,2023,43(13):5305 - 5319.

WEI Jiaxing, NI Yuchun, SHOU Tianyuan, et al. Construction of ecological security pattern based on land - water coupling ecosystem services: a case study of Yangtze River Delta Ecological Greening Development Demonstration Area[J]. Acta Ecologica Sinica,2023,43(13):5305 - 5319. (in Chinese)

[12] 陈元鹏,周旭,陈妍,等. 融合时序遥感分析的国土空间生态保护修复关键区识别[J]. 农业机械学报,2023,54(10): 161 - 170.

CHEN Yuanpeng, ZHOU Xun, CHEN Yan, et al. Identification of key areas for ecological protection and restoration in national land space by integrating time-series remote sensing analysis[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2023,54(10):161 - 170. (in Chinese)

[13] 翟香,兰安军,廖艳梅,等. 基于生态安全格局的国土空间生态修复关键区域定量识别——以贵州省为例[J]. 水土保持研究,2022,29(6):322 - 329,343.

ZHAI Xiang, LAN Anjun, LIAO Yanmei, et al. Quantitative identification of key areas of land space ecological restoration based on the ecological security pattern: a case study of Guizhou Province[J]. Research of Soil and Water Conservation,2022, 29(6):322 - 329,343. (in Chinese)

[14] 付凤杰,刘珍环,刘海. 基于生态安全格局的国土空间生态修复关键区域识别——以贺州市为例[J]. 生态学报,2021, 41(9):3406 - 3414.

FU Fengjie, LIU Zhenhuan, LIU Hai. Identifying key areas of ecosystem restoration for territorial space based on ecological security pattern: a case study in Hezhou City[J]. Acta Ecologica Sinica,2021,41(9):3406 - 3414. (in Chinese)

[15] 曹秀凤,刘兆顺,李淑杰,等. 基于生态安全格局的国土空间生态修复关键区域识别——以吉林省松原市为例[J]. 中国环境科学,2022,42(6):2779 - 2787.

CAO Xiufeng, LIU Zhaoshun, LI Shujie, et al. Identification of key areas of ecological protection and restoration based on the pattern of ecological security: a case of Songyuan City, Jilin Province[J]. China Environmental Science,2022,42(6):2779 - 2787. (in Chinese)

[16] 倪庆琳,侯湖平,丁忠义,等. 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[J]. 自然资源学报,2020,35(1):204 - 216.

NI Qinglin, HOU Huping, DING Zhongyi, et al. Ecological remediation zoning of territory based on the ecological security pattern recognition: taking Jiawang District of Xuzhou City as an example[J]. Journal of Natural Resources,2020,35(1): 204 - 216. (in Chinese)

[17] 张美丽,李智,张益琛,等. 基于生态安全格局的国土空间生态修复关键区域识别——以河北省阜平县为例[J]. 水土保持研究,2021,28(3):299 - 307.

ZHANG Meili, LI Zhi, ZHANG Yichen, et al. Identification of key areas of ecological restoration of land and space based on ecological security pattern—taking Fuping County of Hebei Province as an example [J]. Research of Soil and Water Conservation,2021,28(3):299 - 307. (in Chinese)

[18] RAN Yuju, LEI Dongmei, LI Jie, et al. Identification of crucial areas of territorial ecological restoration based on ecological security pattern: a case study of the central Yunnan urban agglomeration, China[J]. Ecological Indicators,2022,143:109318.

- [19] 彭洁,蔡海生,张学玲,等. 基于主导生态功能的抚河流域国土空间生态安全格局分析[J]. 生态学报,2022,42(18): 7430–7444.
PENG Jie, CAI Haisheng, ZHANG Xueling, et al. Spatial pattern analysis of ecological security in Fuhe River Basin based on dominant ecological function[J]. Acta Ecologica Sinica,2022,42(18):7430–7444. (in Chinese)
- [20] 王秀明,赵鹏,龙颖贤,等. 基于生态安全格局的粤港澳地区陆域空间生态保护修复重点区域识别[J]. 生态学报,2022,42(2):450–461.
WANG Xiuming, ZHAO Peng, LONG Yingxian, et al. Identification of key areas of land space ecological protection and restoration based on the pattern of ecological security in Guangdong, Hong Kong and Macau[J]. Acta Ecologica Sinica,2022,42(2):450–461. (in Chinese)
- [21] LI Chen, WU Yingmei, GAO Binpin, et al. Construction of ecological security pattern of national ecological barriers for ecosystem health maintenance[J]. Ecological Indicators,2023,146:109801.
- [22] 郭家新,胡振琪,李海霞,等. 基于MCR模型的市域生态空间网络构建[J]. 农业机械学报,2021,52(3):275–284.
GUO Jiaxin, HU Zhenqi, LI Haixia, et al. Construction of municipal ecological space network based on MCR model[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2021,52(3):275–284. (in Chinese)
- [23] 闫玉玉,孙彦伟,刘敏. 基于生态安全格局的上海国土空间生态修复关键区域识别与修复策略[J]. 应用生态学报,2022,33(12):3369–3378.
YAN Yuyu, SUN Yanwei, LIU Min. Identification and restoration strategy of key areas for territorial space ecological restoration in Shanghai, China based on ecological security pattern[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2022,33(12):3369–3378. (in Chinese)
- [24] 周璟,王宏卫,谈波,等. 开都河流域生态安全格局构建与生态修复分区识别[J]. 生态学报,2022,42(24):10127–10137.
ZHOU Jing, WANG Hongwei, TAN Bo, et al. Construction of ecological security pattern and identification of ecological rehabilitation zones in Kaidu River Basin[J]. Acta Ecologica Sinica,2022,42(24):10127–10137. (in Chinese)
- [25] QIAN Wenqi, ZHAO Ye, LI Xiaoyu. Construction of ecological security pattern in coastal urban areas: a case study in Qingdao, China[J]. Ecological Indicators,2023,154:110754.
- [26] 温雪静,周智,张美丽,等. 太行山区国土空间生态修复关键区域识别——以唐县为例[J]. 中国生态农业学报(中英文),2021,29(12):2093–2106.
WEN Xuejing, ZHOU Zhi, ZHANG Meili, et al. Identification of key areas of territorial ecological restoration in Taihang Mountains—a case study of Tang County[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2021,29(12):2093–2106. (in Chinese)
- [27] 屠越,刘敏,高婵婵,等. 大都市区生态源地识别体系构建及国土空间生态修复关键区诊断[J]. 生态学报,2022,42(17):7056–7067.
TU Yue, LIU Min, GAO Chanchan, et al. Construction of ecological sources identification system for metropolitan areas and diagnosis of key areas for ecological restoration in nationally spatial areas[J]. Acta Ecologica Sinica,2022,42(17):7056–7067. (in Chinese)
- [28] 杨蕴雪,张艳芳. 基于空间距离指数的延河流域生态敏感性时空演变特征[J]. 自然资源遥感,2021,33(3):229–237.
YANG Yunxue, ZHANG Yanfang. Temporal-spatial evolutionary characteristics of ecological sensitivity in Yanhe River Basin based on spatial distance index[J]. Remote Sensing for Natural Resources,2021,33(3):229–237. (in Chinese)
- [29] 朱东国,谢炳庚,陈永林. 基于生态敏感性评价的山地旅游城市旅游用地策略——以张家界市为例[J]. 经济地理,2015,35(6):184–189.
ZHU Dongguo, XIE Binggeng, CHEN Yonglin. The strategy of tourism land in mountain tourism city based on evaluation of ecological sensitivity—a case study of Zhangjiajie City[J]. Economic Geography,2015,35(6):184–189. (in Chinese)
- [30] 张璨,方世明. 山水资源型城镇的生态安全格局构建研究——以武汉市黄陂区为例[J]. 长江流域资源与环境,2020,29(8):1835–1845.
ZHANG Can, FANG Shiming. A study on the construction of ecological security pattern of towns rich in mountain and water resources: taking Huangpi District of Wuhan City as an example[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2020,29(8):1835–1845. (in Chinese)
- [31] 马剑,李淑杰,高振君,等. 基于生态安全格局的国土生态保护修复重点区域研究:以长春市九台区为例[J]. 中国矿业,2023,32(3):55–59.
MA Jian, LI Shujie, GAO Zhenjun, et al. Identification of key areas of ecological protection based on the pattern of ecological security: a case of Jiutai District in Changchun City[J]. China Mining Magazine,2023,32(3):55–59. (in Chinese)
- [32] 陈相标,丁文荣. 基于生态安全格局的国土空间生态修复关键区域识别——以滇中五大高原湖泊流域为例[J]. 环境工程技术学报,2023,13(6):2248–2260.
CHEN Xiangbiao, DING Wenrong. Identification of key areas for ecological restoration of territorial space based on ecological security pattern: a case of five plateau lake basins in central Yunnan[J]. Journal of Environmental Engineering Technology,2023,13(6):2248–2260. (in Chinese)
- [33] 李彤,贾宝全,刘文瑞,等. 宜昌市生态安全网络要素时空动态及其影响因素[J]. 生态学报,2023,43(15):6154–6169.
LI Tong, JIA Baoquan, LIU Wenrui, et al. Spatio-temporal dynamics and influencing factors of ecological security network elements in Yichang, Hubei Province[J]. Acta Ecologica Sinica,2023,43(15):6154–6169. (in Chinese)
- [34] 宋宏利,王悦悦,张启斌,等. 邯郸西部生态空间网络结构时空演变及其与固碳功能相关性研究[J]. 农业机械学报,2024,55(9):226–237,248.
SONG Hongli, WANG Yueyue, ZHANG Qibin, et al. Spatialtemporal evolution of ecological spatial network structure in Western Handan Region and its correlation with carbon sequestration function[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2024,55(9):226–237,248. (in Chinese)
- [35] 杨立焜,周婧楠,孙道成,等. 基于面向未来生态保护的全域生态安全格局构建——以开封为例[J]. 城市发展研究,2022,29(9):33–39.
YANG Likun, ZHOU Jingnan, SUN Daocheng, et al. The construction of a regional ecological security pattern based on future-oriented ecological protection: Kaifeng City as an example[J]. Urban Development Studies,2022,29(9):33–39. (in Chinese)