

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2025.01.017; CSTR:32311.14.rswc.2025.01.017.

蔡雨池, 李红, 刘兆顺. 基于海陆生态安全格局的生态修复关键区域识别:以辽西地区为例[J].水土保持研究, 2025, 32(1):285-293.

Cai Yuchi, Li Hong, Liu Zhaoshun. Identification of key areas of ecological restoration based on ecological security pattern of sea-land: taking western Liaoning province as an example[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2025, 32(1):285-293.

基于海陆生态安全格局的生态修复关键区域识别

——以辽西地区为例

蔡雨池, 李红, 刘兆顺

(吉林大学 地球科学学院, 长春 130012)

摘要: [目的] 识别出生态敏感性极高的辽西地区生态修复关键区域, 为该地区国土空间生态修复工作提供科学参考。[方法] 综合运用 MSPA 分析、景观连通性评价和电路理论等研究方法, 尝试将陆域生态安全格局与海域生态安全格局相连接, 识别辽西地区国土空间生态修复关键区域。[结果] (1) 辽西地区共识别生态源地 42 个, 面积为 11 619.75 km², 生态源地多呈东北至西南的条带状分布, 以林地及草地等土地利用类型为主。(2) 生态廊道 95 条, 其中一级廊道 9 条, 二级廊道 26 条, 三级廊道 60 条, 全长 778.30 km。(3) 国土空间生态修复关键区域 196 处, 其中生态夹点 93 处, 生态障碍点 103 处。[结论] 生态修复关键区域识别是国土空间生态修复的重要基础与依据。在综合分析生态修复关键区域空间分布和土地利用现状特征基础上, 提出了辽西地区针对性的国土空间生态修复策略。

关键词: 生态修复关键区; 生态安全格局; 国土空间生态修复; MSPA; 电路理论

中图分类号: X171.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2025)01-0285-09

Identification of key areas of ecological restoration based on ecological security pattern of sea-land —taking western Liaoning province as an example

Cai Yuchi, Li Hong, Liu Zhaoshun

(College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: [Objective] The aims of this study are to identify the key areas of ecological restoration in western Liaoning with high ecological sensitivity, and to provide a scientific reference for the territorial ecological restoration work in the region. [Methods] The research methods such as morphological spatial pattern analysis (MSPA), landscape connectivity evaluation, circuit theory and other research methods were applied to attempt to connect the land ecological security pattern with the sea ecological security pattern, and to identify key areas for ecological restoration in the western Liaoning region. [Results] (1) Total of 42 ecological sources covering an area of 11 619.75 km² had been identified in the western Liaoning region. The ecological sources were mainly distributed in a band from northeast to southwest, with woodland and grassland as the main land use types. (2) There were 95 ecological corridors, including 9 primary corridors, 26 secondary corridors, and 60 tertiary corridors, with a total length of 778.30 km. (3) There were 196 key areas for ecological restoration in territorial space, with 93 total ecological pinch points and 103 ecological barrier points. [Conclusion] The identification of key ecological restoration areas is an important foundation and basis for the ecological restoration of territorial space. Based on a comprehensive analysis of the spatial

收稿日期: 2024-03-03

修回日期: 2024-03-29

资助项目: 国家自然科学基金(42071255); 吉林省哲学社会科学智库资助项目(2023JLSKZKZB066); 吉林大学东北振兴发展专项研究课题(23dbzx10)

第一作者: 蔡雨池(2001—), 女(满族), 辽宁锦州人, 硕士研究生, 研究方向为区域生态。E-mail: Cyc1901019936@163.com

通信作者: 李红(1979—), 女, 吉林白城人, 博士, 教授, 主要从事土地资源可持续利用等方面的研究。E-mail: h_li@jlu.edu.cn

<http://stbcyj.paperonce.org>

distribution and current characteristics of land use in the key areas of ecological restoration, the targeted ecological restoration strategies of western Liaoning are proposed.

Keywords: key areas of ecological restoration; ecological security pattern; territorial space ecological restoration; MSPA; circuit theory

20 世纪 80 年代以来,我国城镇化、工业化进程持续加快,不合理的资源开发和土地利用方式导致植被破坏^[1]、水土流失^[2]、水体污染^[3]、湿地萎缩等^[4]生态退化和受损现象不时涌现,生态系统结构完整性和功能稳定性遭到破坏,一些地方陆续开展了包括矿山生态修复^[5]、水土流失治理^[6]、土壤污染防治等^[7]生态环境治理工程,但多针对小范围、单一或特定生态功能的恢复与重建^[8]。全域国土空间生态修复从生态文明的视角,更加关注生态修复的整体性、系统性和科学性,而构建国土空间生态安全格局并进行关键修复区域识别是开展国土空间生态修复的基础。

目前,生态安全格局构建已经形成“生态源地识别—阻力面构建—廊道提取—节点识别”的基本研究范式^[9],并被广泛应用于省域^[10]、市域^[11]、县域等^[12]不同尺度和湿地^[13]、山区^[14]、流域等^[15]不同类型的研究中,生态源地的识别方法主要可分为 3 类:一是直接选取自然保护区、森林公园、湿地公园等生态价值较高区域作为生态源地,操作简单,但主观性较强,没有考虑空间结构的连通性。二是通过生态系统服务重要性、生态敏感性、景观连通性以及多角度结合的评估方法选取生态源地,但涉及的基础数据较多,计算方法复杂。三是近年来被较多国内外学者采纳的形态学空间格局分析方法(MSPA, Morphological Spatial Pattern Analysis)^[16-17]。形态学空间格局分析(MSPA)基于数学形态学原理对栅格进行度量和分割,在空间形态上更强调结构连通性、在原理上更强调生态过程和生态网络,增强生态源地选取的科学性^[18]。阻力面的构建则通常采用指标体系法,即基于土地利用类型和生态本底特征选取阻力因子^[10]。目前对生态廊道的提取应用最广泛的是最小累积阻力模型,该模型可以快速地指出生态流的最优路径,但该方法忽略了潜在的替代路径,并且不能明确廊道的具体范围和关键节点^[19]。结合了随机迁移理论和图论的电路理论则在一定程度上解决了最小累积阻力模型的局限性,可用于识别生态廊道和关键生态节点^[20],有助于国土空间生态修复关键区域的识别。

辽宁西部地区位于东北地区陆海生态要冲,对于稳定和调节渤海生态环境、维护国家生态安全和保障国家生态稳定性均具有重要意义,但辽宁西部地区的生态本底较为脆弱,生态系统抗干扰能力弱,水

土流失、土地沙化及各类自然灾害易发,锦州湾等海洋生态系统仍处于亚健康状态,亟需开展陆海统筹的国土空间生态修复,探索生态保护优先的高质量发展模式。因此,本文以辽西地区作为研究区域,通过 MSPA 方法和斑块重要性指数识别并选取生态源地,构建陆海综合阻力面,基于电路理论进行生态廊道、生态夹点和生态障碍点的识别,从而构成辽西地区生态安全格局,明确辽西地区国土空间生态修复的关键区域,并有针对性地提出修复措施,以期辽西地区国土空间生态修复工作提供参考。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

辽宁西部地区(40°16′—42°51′N, 118°50′—122°58′E)位于中国东北部,北接蒙古高原,南濒渤海,下辖朝阳、阜新、锦州、葫芦岛 4 个主要地市,主要由辽宁西部低山丘陵区、辽河西岸平原以及辽宁西南部沿海组成,总面积约 5.1 万 km²,约占辽宁省总面积的 1/3。属于温带大陆性季风气候区。土地覆被以耕地、草地、林地为主,主要水系为大凌河,年平均降水量不足 500 mm,处于东北森林带、北方防沙带、海岸带重点修复区域内,生态本底较为脆弱,承担着辽宁省生态安全屏障和农产品供给的双重角色。

1.2 数据来源

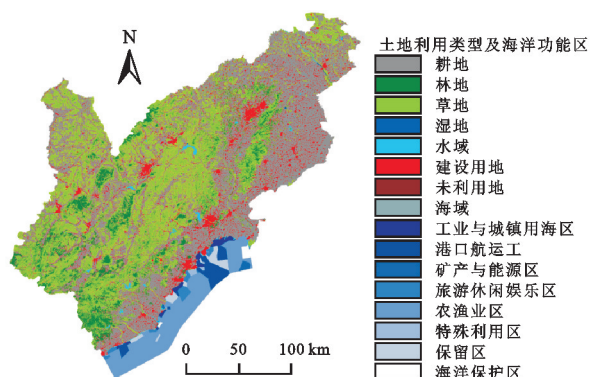
本文采用的 2020 年辽西地区土地利用数据,来源于 GlobeLand30 全球地理信息公共产品(<http://www.globallandcover.com/>)。数字高程数据(DEM)来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)的 ASTER GDEM 数据,空间分辨率为 30 m,通过地理信息处理软件 ArcGIS 计算得到坡度和地形起伏度。遥感影像数据选取地理空间数据云中 2020 年 5—7 月的 Landsat8 影像,空间分辨率为 30 m,通过 ENVI 软件计算辽西地区的植被覆盖度。道路数据来源于 Open Street Map 网站,利用 ArcGIS 软件计算距道路距离。通过 ArcGIS 软件对《辽宁省海洋功能区划》中的区划图进行了矢量化空间处理分析(图 1)。

2 研究方法

2.1 生态源地识别—MSPA 方法

形态学空间格局分析(MSPA)可以定量识别生

态源地,主要通过图像方法对生态源地进行识别和分类^[21]。将辽西地区的土地利用类型划分为耕地、林地、湿地、水域、草地、海域、建设用地和未利用地等 8 种土地利用类型,并划分 MSPA 分析的前景(林地、草地、水域、湿地、海域)和背景(耕地、建设用地、未利用地)。在将其转化为 GeoTIFF 二值图后,通过 Guidos 软件分类识别前景自然生态要素,设置参数为八邻域 30 m 边缘宽度,得到核心区、孤岛区、孔隙区、边缘区、环岛区、桥接区和支线 7 种景观类型。



注:该图基于标准地图服务系统下载的审图号为 GS(2020)4619 号的标准地图制作,底图未做修改,下同。

图 1 辽西地区土地利用类型及海洋功能区划分

Fig. 1 Land use types and marine functional zones

核心区斑块即为可供选择的生态源地。为保证选择源地的科学性,对核心区斑块做进一步处理。首先,剔除因面积较小而无法为物种生存和扩散提供有利条件的斑块,选择面积最大的 50 个核心区作为可供选择的初步生态源地。其次,利用 Conefor 2.6 软件,综合考虑辽西地区的大鸨、金雕和东方白鹳等国家重点保护野生动物的迁徙和繁殖范围,设置生态源地连通距离阈值为 5 000 m,源地连通概率为 0.5,计算基于拓扑空间的整体连通度指数(integral index of connectivity, IIC)^[22]和可能连通度指数(probability of connectivity, PC)^[23-24],均分权重得到斑块重要性指数,评估辽西地区生态源地和源地间维持景观连通的相对重要性,将重要性指数 >0.5 的斑块作为生态源地。

2.2 生态阻力面构建

物种在迁移过程中可能受到自然因素和人类活动等方面不同程度的干扰与阻碍,综合考虑研究区的自然环境条件和社会经济特点,参考已有相关研究^[25-27]进行海陆阻力因子的选取和赋值。陆域选取土地利用类型、MSPA 景观类型、植被覆盖度、坡度、地形起伏度和距道路距离作为阻力因子,并设置权重。根据自然间断点分级法,将植被覆盖度范围在 0~0.15,0.15~0.40,0.40~0.60,0.60~0.80,0.80~

1.00 的阻力值分别设置为 800,500,300,100,10,将距道路距离范围在 0,0~1 724,1 724~3 491,3 491~5 552,5 552~10 726 m 的阻力值分别设置为 1 000,500,200,100,10,将坡度范围在 $0^{\circ}\sim 3.81^{\circ}$, $3.81^{\circ}\sim 8.71^{\circ}$, $8.71^{\circ}\sim 14.98^{\circ}$, $14.98^{\circ}\sim 23.16^{\circ}$, $23.16^{\circ}\sim 69.47^{\circ}$ 的阻力值分别设置为 10,100,200,500,1 000,将地形起伏度范围在 $0\sim 30^{\circ}$, $30^{\circ}\sim 61^{\circ}$, $61^{\circ}\sim 101^{\circ}$, $101^{\circ}\sim 154^{\circ}$, $154^{\circ}\sim 436^{\circ}$ 的阻力值分别设置为 10,100,200,300,500。未利用地中盐碱地、沙地、裸土地、裸岩石砾地的生态功能显然较弱,对于物种扩散、物质流通、生物多样性保护等不具有积极意义,并参考已有相关研究^[27],将其阻力值设置为较大数值。湿地、水域、海域是重要的生态区域,对于物质与能量交流的阻碍作用较小,因此将其阻力值设置为较低的不同数值。而耕地的阻力值设置始终存在争议,考虑到 2020 年的研究区耕地生态功能相对较强,对于物种扩散、物质流通、生物多样性保护的阻碍作用相对较小,阻力赋值不应过高,并参考相关研究,将湿地、水域、海域、耕地赋予相同的阻力值。

海域依据《辽宁省海洋功能区划》中不同功能区及其利用强度进行阻力赋值,其中,海洋保护区和保留区是人类干扰最少、阻力最小的区域;特殊利用区和农渔业区存在海底管线铺设、路桥建设、海水养殖、捕捞生产等活动,阻力有所增大;旅游休闲娱乐区开展的旅游景区开发和海上文体娱乐活动对于物质能量流通造成的阻碍作用进一步增强;矿产与能源区开发利用油气、固体矿产和可再生能源,易破坏重要水产种质资源,污染海洋生态环境,阻力较大;随着葫芦岛市绥中县港区 LNG 接收站配套码头的建设,锦州笔架山、葫芦岛柳条沟等成熟港区进港航道等级的提高,港口航运区的人类活动日益频繁,物种迁移扩散所受的阻力极大;工业与城镇用海区是人类干扰最多、阻力最大的区域,锦州市龙栖湾、锦州湾和葫芦岛市北港、曹庄、刘台子等区域发展临海工业与滨海城镇,切割自然生境,严重威胁物种迁移。最后将海域与陆域相结合,得到研究区陆海统筹的生态阻力面。

2.3 廊道提取和节点识别—电路理论

2.3.1 生态廊道提取 景观生态学中的电路理论是将动植物的运动和基因流类比为电流,将阻力面定义为电阻面;电子(动植物的运动)在电路(源地间的路径)中的移动受电阻(阻力面)的干扰,低电阻区域电子移动通畅,则该区域累积电流值越高,电路网络连通性较好;反之亦然。根据电子(动植物的运动)在电路中随机游走的特性使用不同计算方式,评估多种分散路径在网络中的表现^[17]。

利用 ArcGIS 软件 Circuitscape 插件中的 Linkage Mapper 模块识别研究区的最优生态廊道,再通过 Centrality Mapper tool 计算流量中心度进而划分生态廊道等级。Centrality Mapper 将每个生态源地视为一个节点,将任意两个核心区之间的最小成本路径视为一个电阻(电阻等于对应最小成本路径的成本加权距离),将 1 A 的电流输入一个核心区,将另一个核心区接地,然后进行成对迭代运算,最后将通过每个连接(最小成本路径)的电流进行加和得到一个累积电流值,电流值越大,表明该连接(最小成本路径)对保持整个生态安全网络的整体连通性越重要^[28]。

2.3.2 生态夹点识别 Circuitscape 生成的电流密度在景观生态学中可定义为物种通过某一像元要素的频率或某一像元要素所经物种的丰富度,其值与物种通过该区域内的可能性与选择频率成正比,可以用来识别生态网络中的夹点地带^[28]。利用 Pinchpoint Mapper 工具,设置为“all-to-one”模式,识别研究区整体景观的生态夹点,经多次试验后,设置廊道成本加权距离为 100 000 m,将所得结果中的电流密度高值区域(大于 1.63)作为初步的生态夹点,剔除面积过小而不会影响其周围能量流通的斑块后,得到最终的生态夹点。

2.3.3 生态障碍点识别 利用 Barrier Mapper 模块识别研究区的生态障碍点,设置为“Maximum”模式,搜索半径的最小值和最大值分别为 100 m 和 500 m,以 100 m 为步长,通过移动窗口法搜索检测。经过反复阈值迭代计算,选取 100 m 梯度作为合理的迭代半径。不勾选“Calculate percent improvement scores relative to corridor least-cost distance”选项,即可得到最大改进分数,当分数越高时,修复此区域将会对研究区整体的景观连通性的贡献越大,这种模式旨在找出影响区域内生态流运行的障碍点,通过对障碍点进行修复来增强区域内的景观连通性^[29]。

3 结果与分析

3.1 生态源地识别结果

辽西地区共识别生态源地 42 个,面积为 11 619.75 km²,其中草地面积 7 188.36 km²,林地面积 4 042.22 km²,海域面积 208.07 km²,水域面积 173.51 km²,湿地面积 7.60 km²。其中林地和草地分别占总面积的 61.86%和 34.79%,为生态源地的主要类型。辽西地区生态源地多沿山脉和海滨呈东北—西南带状分布。其中,东北部以医巫闾山为主要生态源地,东南部以海岸带为生态源地,其他区域则大致沿努鲁儿虎山、松岭、黑山、大虹螺山、凤凰山等分布。

将生态源地的斑块重要性指数按照自然断点法

分三级,其中,一级生态源地 1 个,是位于研究区南部面积最大的黑山生态源地,面积占比为 24.46%;二级生态源地 8 个,主要分布在大凌河西支、努鲁儿虎山东北部、凤凰山、锥子山、平顶山等河流山脉附近,面积占比为 41.53%;三级生态源地 33 个,主要分布在青龙河、努鲁儿虎山西南部、楼子山、医巫闾山、锦凌水库、矿湖等地,面积占比为 34.01%。

3.2 生态阻力面识别结果

阻力值的大小表征了物种和能量在不同区域间运动和转移的难易程度(表 1),辽西地区的综合阻力值空间分布较为零散(图 2),将综合阻力值按照自然断点法分为 3 级,低值区域的面积为 20 927.17 km²,占全域面积的 38.07%,陆域主要为草地和林地,海域为海洋保护区、保留区、特殊利用区和农渔业区。中值区域的面积最大,为 29 357.64 km²,占全域面积的 53.40%,陆域主要为耕地和草地,海域为旅游休闲娱乐区。高值区域的面积为 4 691.21 km²,为全域面积的 8.53%,高值区域多分布于人为干扰强度较大的建设用地和海域矿产与能源区、港口航运区和工业与城镇用海区。

3.3 生态廊道识别结果

基于电路理论识别出活跃与非活跃两种生态廊道,在剔除非活跃生态廊道后,得到研究区共 95 条生态廊道(图 3),总长度为 778.30 km,其中努鲁儿虎山源地与平顶山源地之间的生态廊道最长,为 44.03 km,最短的生态廊道位于朝阳市朝阳县北部,仅为 72 m。其中,陆域生态廊道多集中于中部区域,东北部数量较少,西部廊道较短且分布密集,中部廊道长短不一,多为山脉间的连接地带。海陆生态廊道位于东南部,共 4 条,长度和空间分布较均匀,分别连接了面积最大的黑山源地与狗河口保留区源地、笔架山源地与沙后所保留区源地、笔架山源地与兴城海滨旅游休闲娱乐区源地、大一小虹螺山源地与连山湾特殊利用区源地。由于海域生态源地数量较少且连接紧密,因此生态廊道中仅有 1 条海域廊道,位于葫芦岛市曹庄工业与城镇用海区。

将廊道的中心度分析结果按照自然断点法划分为 3 级。从数量特征来看,一级生态廊道共 9 条,总长度 8.90 km;二级生态廊道共 26 条,总长度为 44.91 km;三级生态廊道共 60 条,总长度为 724.47 km,长度占比为 93.08%,分布范围最广。从区域特征来看,朝阳市北票市廊道分布最多,共计 254.06 km,占总长度的 32.64%,葫芦岛市建昌县一级廊道分布最长,占其廊道类型的 57.91%,充分表明了两区域在国土空间格局优化与自然资源要素流动中的重要地位,理应加强廊道的保护与修复,保障要素间的自然连通和顺畅流动。

表 1 陆—海生态系统阻力赋值				
Table 1 Resistance assignment of land-sea ecosystems				
陆域阻力因子	亚类	阻力值	海洋功能区	阻力值
土地利用类型	林地	10	海洋保护区	100
	草地	30		
	水域、耕地、湿地、海域	100	保留区	100
	未利用地	700		
	建设用地	1000		
MSPA 景观类型	核心区	10	特殊利用区	200
	桥接区	100		
	环岛区	300		
	支线	400	农渔业区	200
	孤岛区	500		
	边缘区	600	旅游休闲娱乐区	400
	孔隙区	700		
植被覆盖度	背景	1000	矿产与能源区	600
距道路距离	自然断点法五级	10,100,300,500,800	港口航运区	800
坡度	自然断点法五级	10,100,200,500,1000		
地形起伏度	自然断点法五级	10,100,200,300,500	工业城镇用海区	1000

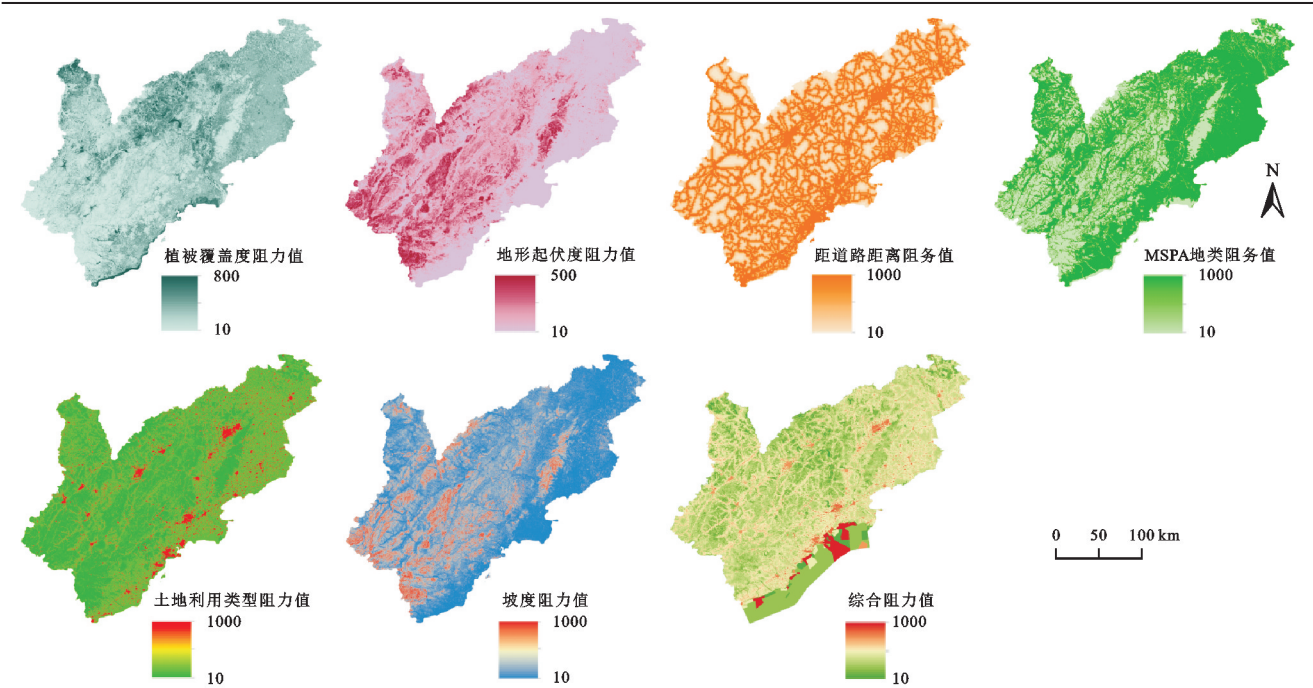


图 2 辽西地区生态阻力面

Fig. 2 Ecological resistance surfaces in western Liaoning

3.4 生态夹点识别结果

生态景观安全格局中的电流密度高值区域即为生态夹点,辽西地区共识别生态夹点 93 处(图 4),总面积 160.33 km²,其中最大的夹点面积为 12.39 km²,最小的夹点面积为 0.22 km²。空间分布上看,夹点多集中于中部和西部地区生态廊道的起始点或重要转折点,一级生态廊道上均分布着夹点,表明中心连通性突出的廊道上存在着高质量的生境连接处,是提升生态系统质量与稳

定性的关键区域。夹点分布面积最广的区域为朝阳市喀喇沁左翼蒙古族自治县大凌河东西两侧(表 2),数量最多的是朝阳市北票市黑城子河、蒙古营子河、凉水河与白石水库附近。叠合综合阻力面可知,生态夹点的平均阻力值为 258,表明物种和能量经过夹点区域时受到的阻碍作用较小。叠合土地利用数据可知,夹点处的土地利用类型主要为草地、耕地、林地为主,分别占总面积的 47.62%,37.89%和 10.28%。

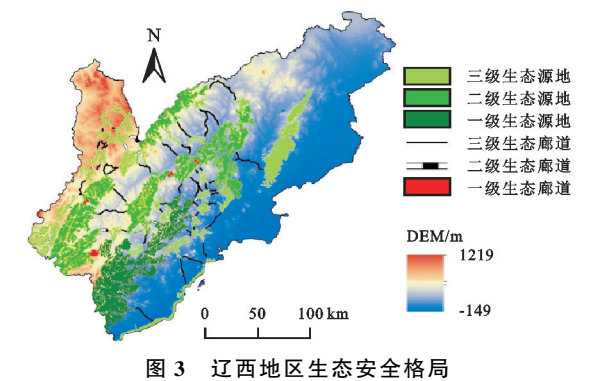


图 3 辽西地区生态安全格局

Fig. 3 Ecological security pattern in western Liaoning

3.5 生态障碍点识别结果

生态景观安全格局中的累积电流恢复高值区域即为生态障碍点,辽西地区共识别生态障碍点 103 处(图 5),障碍点总面积 148.40 km²,其中最大的障碍点面积为 17.26 km²,最小的障碍点面积为 0.20 km²。空间分布上看,障碍点多位于研究区中部,东北部和西南部分布极少,其中葫芦岛市南票区女儿河、金星河附近的障碍点面积最大,朝阳市建平县楼子山、深井河、二道河附近的障碍点数量最多(表 2)。叠合综合阻力面可知,障碍点的平均阻力值为 473,是物种迁徙扩散、信息交互的较大阻力区域。在海洋功能区阻力面中存在一处面积为 1.00 km²的工业与城镇用海区障碍点,阻力值为 1 000,对于两个海域生态源地之

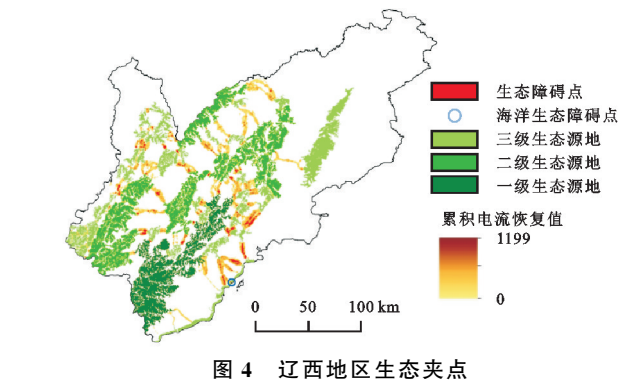


图 4 辽西地区生态夹点

Fig. 4 Ecological pinch-points in western Liaoning

间的连通造成极大阻碍作用。叠合土地利用数据可知,耕地是障碍点的主要土地利用类型,面积占比为 75.18%,其次为建设用地。

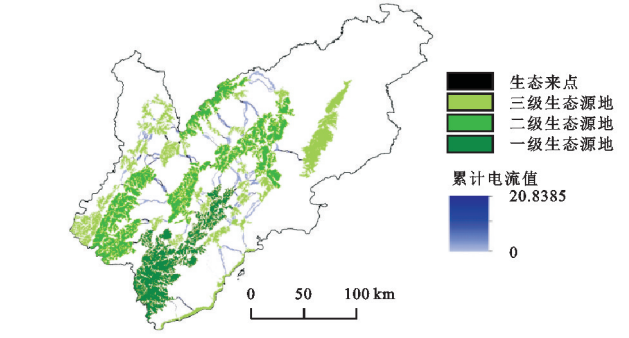


图 5 辽西地区生态障碍点

Fig. 5 Ecological barriers in western Liaoning

表 2 辽西地区生态夹点和生态障碍点统计

地市		夹点			障碍点		
		数量	面积/km ²	土地利用类型	数量	面积/km ²	土地利用类型
朝阳市	建平县	15	25.41	草地、耕地、林地	22	19.28	耕地、建设用地
	北票市	19	16.99	草地、耕地、林地	5	4.59	耕地、建设用地、草地
	凌源市	6	4.14	耕地、草地、林地、水域	8	9.52	耕地、建设用地
	喀喇沁左翼蒙古族	13	29.69	耕地、林地、草地、水域	9	17.03	耕地、建设用地
	朝阳县	9	12.69	耕地、草地、林地	14	14.22	耕地、建设用地、草地
	龙城区	4	13.34	草地、耕地、林地	5	3.37	耕地、建设用地
	双塔区	1	2.76	草地、耕地	1	0.45	耕地、建设用地
	建昌县	2	8.32	林地、草地、耕地	7	6.46	耕地、建设用地、草地
	绥中县	2	14.51	草地、耕地、水域	—	—	—
	兴城市	3	2.38	耕地、草地、林地	10	19.28	耕地、建设用地、草地、水域
葫芦岛市	连山区	1	0.69	水域、建设用地	5	18.46	耕地、建设用地
	南票区	4	3.26	耕地、草地、建设用地	6	25.97	耕地、建设用地、草地
	龙岗区	—	—	—	1	4.23	建设用地、耕地、水域
	凌海市	8	4.78	草地、耕地	5	1.24	耕地、建设用地
锦州市	太和区	—	—	—	2	2.56	耕地、建设用地、林地、草地
	义县	4	20.69	草地、林地、耕地	2	0.62	耕地、建设用地
阜新市	阜新蒙古族自治县	2	0.61	耕地、草地	1	1.21	耕地、建设用地

4 讨论与结论

4.1 讨论

(1) 生态夹点修复策略。对于辽西地区的林草

交错带,应增加抗逆性强、低耗水的灌草等植被,扩大林草面积,并通过对中幼龄林的保护,持续增加天然林资源总量,修复辽西地区以天然针阔混交林为主的生态夹点;对于辽西地区分布较集中的坡耕地,应设

置合理宽度的农田林带,恢复耕地生态链,提升耕地生态系统健康程度与稳定性,辽西地区是我国重要的农业基地,应发展有机农业,推广生态农业技术,统筹生产和生态,减少对物种迁徙的影响;对于建设用地,一方面是要遏制城镇用地的过度扩张进一步压缩生态空间的现象,加强城市内部的绿廊和绿心建设。另一方面是提升农村居民点和道路两侧的植被多样性,利用乡土树种进行绿化建设,降低其阻隔作用,打通生态断点;对于水域,应加强水生态环境监测,开展流域工业污染源治理,积极推进辽西地区白石水库等重点湖库的生态缓冲带建设,实现“江—河—湖—库—海”的水系连通循环,提高水生态系统活力。

(2) 生态障碍点修复策略。对于耕地,辽西地区存在重用轻养的情况,应加强地力培肥和水土保持等配套设施建设,形成用地养地相结合、生产生态相结合的制度,恢复耕地半自然生境,降低耕地作为物种迁徙和能量流通的高频区域所产生的阻碍作用;对于建设用地,可通过修建涵洞式、树桥式、天桥式等供野生动物迁徙的通道以打通因道路交通等造成间断的生态廊道,并进行农村集体建设用地的整理和优化布局,适时整理修复空心村,在充分考虑村民意愿和其他客观条件允许的情况下开展村庄包围等方式,以减弱人类活动对自然生态的影响;对于草地和林地,应积极开展石质山和低质草场封育,加强阜新市彰武草原生态恢复示范区的建设,进行封山育林以精准提升医巫闾山等森林质量,促进森林草原生态系统恢复,并积极推进大黑山国家森林公园等发挥重要生态作用区域的建设;对于水域,在城市地区加强河道的生态防护,避免人类的污染物进入水域空间,在农村地区打造农田与河湖水系间的隔离带,减轻可能造成的面源污染。加强辽西地区自然河岸的保护,从大凌河、小凌河等入海河流、排污口等源头控制污染物的排放,恢复水陆界面生物栖息地与迁徙路径。

对于曹庄工业与城镇用海区的障碍点,在整体空间布局方面,应突出集约用海原则,合理控制规模,优化空间布局,提高海域空间资源的整体使用效能。障碍点区域主要位于输配电产业基地,输配电设备作为电能传输的载体,涉及产品众多,在原材料和生产工艺方面需考虑生态问题,以变压器为例,可将低碳、清洁、可再生的植物油作为变压器绝缘液,代替高碳的矿物油,推动产业绿色发展。

(3) 已有研究多将陆域和海域分割为两个不同的生态空间分别构建生态安全格局,缺乏统筹修复意识,本文通过对陆海源地—廊道—夹点—障碍点的提取与分析,有效识别出了辽西地区生态修复的关键区

域,有助于统筹推进陆海生态系统的保护和修复,避免了陆域和海域生态安全格局的割裂,并提出修复策略以供参考。但在结合海洋功能区进行海域生态阻力赋值时,因数据获取的有限性等导致海域阻力因素结构相对简单,在未来的研究中将结合更多海域生态衡量指标搭建阻力层,进一步完善陆海统筹阻力面的构建,提高陆海生态修复关键区域识别的准确性。

4.2 结论

(1) 辽西地区共识别生态源地 42 个,其中陆域生态源地 40 个,海域生态源地 2 个,面积共计 11 619.75 km²。以黑山、医巫闾山、努鲁儿虎山、海岸带等为主要生态源地,现状地类主要为生境质量较高的草地和林地,其次为海域、水域、湿地,其中一级、二级、三级源地的数量分别为 1 个、8 个、33 个;生态廊道 95 条,其中陆域生态廊道 90 条,海陆生态廊道 4 条,海域生态廊道 1 条,共计 778.30 km。其中一级、二级、三级廊道的数量分别为 9 条、26 条、60 条。空间分布上,海、陆生态源地多沿山脉和海滨呈东北—西南带状分布,生态廊道多集中于中部区域,东北部分布极少。

(2) 辽西地区识别待修复的生态夹点 93 个,涉及区域面积共计 160.33 km²,现状地类主要为草地、耕地、林地,分布面积最广的区域为朝阳市喀喇沁左翼蒙古族自治县大凌河东西两侧,数量最多的区域是朝阳市北票市黑城子河、蒙古营子河、凉水河与白石水库附近。生态障碍点 103 个,涉及区域面积 148.40 km²,现状地类主要为耕地和建设用地,分布面积最广的区域为葫芦岛市南票区女儿河、金星河附近,数量最多的区域是朝阳市建平县楼子山、深井河、二道河附近。生态夹点与生态障碍点重叠面积为 23.04 km²。结合辽西地区两类待修复区域的地类现状和修复潜力,分别提出其生态修复的主攻方向,据此开展差别化的系统性国土空间生态修复。

(3) 辽西地区东南部共 4 条海—陆生态廊道,其中连通陆域大—小虹螺山源地与海域连山湾特殊利用区源地的廊道上存在 1 个夹点和 2 个障碍点,连通陆域笔架山源地与海域兴城海滨旅游休闲娱乐区、沙后所保留区源地的 2 条廊道上存在 3 个夹点与障碍点重叠区域,最南端连通陆域面积最大的黑山源地与海域狗河口保留区源地的廊道上存在 1 个夹点,无障碍点。海陆生态廊道承担着海陆生态系统信息交互与能量流通的重要作用,是辽西地区海陆生态安全格局的关键组成部分,修复其中的夹点和障碍点区域是提高海陆连通性的关键所在。

参考文献(References):

[1] 贝耀平,汪锡彪,鲁健,等.安徽省低山丘陵区风电场生

- 态环境问题及植被恢复技术探讨[J].中国水土保持, 2021(11):23-25.
- Bei Y P, Wang X B, Lu J, et al. Discussion on ecological environment problems and vegetation restoration technology of wind farm in low hilly area of Anhui Province[J]. Soil and Water Conservation in China, 2021(11):23-25.
- [2] 宫晨, 吴文瑾, 段怡如, 等. 基于遥感 RMMF 模型的喀斯特地区水土保持功能评价[J]. 生态学报, 2022, 42(11): 4389-4400.
- Gong C, Wu W J, Duan Y R, et al. Evaluation of soil and water conservation function in Karst Region based on Remote Sensing RMMF Model[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(11):4389-4400.
- [3] 王燕, 刘彦斌, 赵红雪, 等. 宁夏沙湖水水质评价及水污染特征[J]. 湿地科学, 2020, 18(3):362-367.
- Wang Y, Liu Y B, Zhao H X, et al. Water quality assessment and characteristics of water pollution of sand lake in Ningxia[J]. Wetland Science, 2020, 18(3):362-367.
- [4] 汪雪格, 刘洪超, 吕军. 嫩江流域湿地变化特征分析[J]. 中国水土保持, 2020(4):59-62.
- Wang X G, Liu H C, Lyu J. Analysis of wetland change characteristics in Nenjiang river basin [J]. Soil and Water Conservation in China, 2020(4):59-62.
- [5] 于昊辰, 卞正富, 陈浮. 矿山土地生态动态恢复机制: 基于 LDN 框架的分析[J]. 中国土地科学, 2020, 34(9):86-95.
- Yu H C, Bian Z F, Chen F. Dynamic mechanism of land ecological restoration in mining area: based on Land Degradation Neutrality (LDN) framework [J]. China Land Science, 2020, 34(9):86-95.
- [6] 李宗善, 杨磊, 王国梁, 等. 黄土高原水土流失治理现状、问题及对策[J]. 生态学报, 2019, 39(20):7398-7409.
- Li Z S, Yang L, Wang G L, et al. The management of soil and water conservation in the Loess Plateau of China: present situations, problems, and counter-solutions [J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(20):7398-7409.
- [7] 赵慈, 宋晓聪, 沈鹏, 等. 我国土壤污染防治现状分析及未来路径研究[J]. 环境保护, 2021, 49(20):42-45.
- Zhao C, Song X C, Shen P, et al. Analysis of the current situation of soil pollution prevention and study on the future path in China [J]. Environmental Protection, 2021, 49(20):42-45.
- [8] 刘新卫, 黎明, 吴悠, 等. 国土空间生态修复规划: 内涵体系、编制逻辑与实施路径[J]. 中国土地科学, 2023, 37(3):11-19.
- Liu X W, Li M, Wu Y, et al. Territorial ecological restoration planning: connotation system, compilation logic and implementation path[J]. China Land Science, 2023, 37(3):11-19.
- [9] 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 Y, Liu M, Gao C C, 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.
- [10] 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 X, Lan A J, Liao Y M, 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.
- [11] 覃彬桂, 林伊琳, 赵俊三, 等. 基于 InVEST 模型和电路理论的昆明市国土空间生态修复关键区域识别[J]. 中国环境科学, 2023, 43(2):809-820.
- Qin B G, Lin Y L, Zhao J S, et al. Identification of key areas for the ecological restoration of territorial space in Kunming based on the InVEST model and circuit theory[J]. China Environmental Science, 2023, 43(2):809-820.
- [12] 黄丽萍, 向芳芳, 陈荣清. 基于生态安全格局的县域国土空间生态保护修复关键区域识别: 以抚州市宜黄县为例[J]. 环境工程技术学报, 2023, 13(4):1334-1344.
- Huang L P, Xiang F F, Chen R Q. Identification of key areas for ecological protection and restoration of county territorial space based on ecological security pattern: a case study in Yihuang county of Fuzhou city [J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2023, 13(4):1334-1344.
- [13] 陈丽华, 马源. 佛山市湿地景观生态安全格局构建及修复研究[J]. 环境科学与技术, 2023, 46(6):174-186.
- Chen L H, Ma Y. Study on wetland landscape ecological security pattern construction and wetland landscape restoration in Foshan city[J]. Environmental Science & Technology, 2023, 46(6):174-186.
- [14] 苏冲, 董建权, 马志刚, 等. 基于生态安全格局的山水林田湖草生态保护修复优先区识别: 以四川省华蓥山区为例[J]. 生态学报, 2019, 39(23):8948-8956.
- Su C, Dong J Q, Ma Z G, et al. Identifying priority areas for ecological protection and restoration of mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands based on ecological security patterns: a case study in Huaying mountain, Sichuan province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(23):8948-8956.
- [15] 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 X B, Ding W R. 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.
- [16] 汉瑞英, 赵志平, 肖能文. 生物多样性保护优先区生态网络构建与优化: 以太行山片区为例[J]. *西北林学院学报*, 2021, 36(2): 61-67.
- Han R Y, Zhao Z P, Xiao N W. The eco-network construction and optimization in biodiversity conservation priority area: a case study of the Taihang mountain area[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2021, 36(2): 61-67.
- [17] 汪勇政, 李久林, 顾康康, 等. 基于形态学空间格局分析法的城市绿色基础设施网络格局优化: 以合肥市为例[J]. *生态学报*, 2022, 42(5): 2022-2032.
- Wang Y Z, Li J L, Gu K K, et al. Optimization of urban green infrastructure network layout based on MSPA-CIRCUIT: case of Hefei[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(5): 2022-2032.
- [18] 祁强强, 徐占军. 生态安全格局时空演变分析: 以太原城市群为例[J]. *中国环境科学*, 2023, 43(11): 5987-5997.
- Qi Q Q, Xu Z J. Analysis on the spatio-temporal evolution of ecological security patterns: a case study over Taiyuan Urban Agglomeration[J]. *China Environmental Science*, 2023, 43(11): 5987-5997.
- [19] 毛诚瑞, 代力民, 齐麟, 等. 基于生态系统服务的流域生态安全格局构建: 以辽宁省辽河流域为例[J]. *生态学报*, 2020, 40(18): 6486-6494.
- Mao C R, Dai L M, Qi L, et al. Constructing ecological security pattern based on ecosystem services: a case study in Liaohe river basin, Liaoning Province, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(18): 6486-6494.
- [20] 潘竞虎, 王云. 基于 CVOR 和电路理论的讨赖河流域生态安全评价及生态格局优化[J]. *生态学报*, 2021, 41(7): 2582-2595.
- Pan J H, Wang Y. Ecological security evaluation and ecological pattern optimization in Taolai River Basin based on CVOR and circuit theory[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(7): 2582-2595.
- [21] Xiao L, Cui L, Jiang Q O, et al. Spatial structure of a potential ecological network in Nanping, China, based on ecosystem service functions[J]. *Land*, 2020, 9(10): 376-382.
- [22] Qian W Q, Zhao Y, Li X Y, et al. Construction of ecological security pattern in coastal urban areas: a case study in Qingdao, China[J]. *Ecological Indicators*, 2023, 154: 110754.
- [23] Wang C X, Yu C Y, Chen T Q, et al. Can the establishment of ecological security patterns improve ecological protection? An example of Nanchang, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 740: 140051.
- [24] Ward M, Saura S, Williams B, et al. Just ten percent of the global terrestrial protected area network is structurally connected via intact land[J]. *Nature Communications*, 2020, 11(1): 4563.
- [25] 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 X F, Liu Z S, Li S J, 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.
- [26] 沈振, 高阳, 刘悦忻, 等. 基于生态安全格局的国土综合整治关键区识别与策略研究: 以辽宁省庄河市为例[J]. *中国土地科学*, 2022, 36(11): 24-35.
- Shen Z, Gao Y, Liu Y X, et al. Research on the identification and strategies of key areas for integrated territorial consolidation based on ecological security pattern: a case study of Zhuanghe city, Liaoning Province[J]. *China Land Science*, 2022, 36(11): 24-35.
- [27] 殷炳超, 何书言, 李艺, 等. 基于陆海统筹的海岸带城市群生态网络构建方法及应用研究[J]. *生态学报*, 2018, 38(12): 4373-4382.
- Yin B C, He S Y, Li Y, et al. Development and application of an ecological network model for a coastal megalopolis based on land-sea integration[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(12): 4373-4382.
- [28] 宋利利, 秦明周. 整合电路理论的生态廊道及其重要性识别[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(10): 3344-3352.
- Song L L, Qin M Z. Identification of ecological corridors and its importance by integrating circuit theory[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(10): 3344-3352.
- [29] 张美丽, 齐跃普, 张利, 等. 基于 Linkage Mapper 与粒度反推法的太行山中北段生态节点识别与分析: 以河北省阜平县为例[J]. *生态与农村环境学报*, 2020, 36(12): 1569-1578.
- Zhang M L, Qi Y P, Zhang L, et al. Identification and analysis of ecological nodes based on linkage mapper and granularity inverse method in the middle and northern sections of Taihang Mountain: a case study of Fuping county, Hebei province[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2020, 36(12): 1569-1578.