

区域保护视角下北方低山丘陵地区生态空间格局构建与管控策略研究——以辽西走廊为例

Research on the Construction of Ecological Spatial Patterns and Control Strategies in the Northern Low Hilly Areas from the Perspective of Regional Protection: A Case Study of the Western Liaoning Corridor

杨婉 霍丹*
YAN Wan HUO Dan*

(大连理工大学建筑与艺术学院, 大连 116024)
(College of Architecture and Art, Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning, China, 116024)

文章编号: 1000-0283(2025)04-0067-10
DOI: 10.12193/j.laing.2025.04.0067.008
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2024-12-05
修回日期: 2025-02-14

摘要

区域生态网络是保护生态安全的基础,生态修复关键区确定及有效诊断是治理与恢复生态系统的核心。以辽西走廊为例,综合生态系统服务功能性、生态环境质量重要性和景观连通性分析,识别生态网络与生态修复关键区域,构建生态安全格局并提出治理优化策略。结果显示:(1)辽西走廊生态环境空间分布差异显著,西部较好,东部与北部较差;(2)识别出66个生态源地、111条最佳生态廊道、11处生态夹点、13处生态障碍点与8处生态断裂区,构成“三环、五区、两干、七支、一屏、多点”的生态安全格局;(3)生态修复关键区由源地、廊道、夹点、障碍点共同组成,根据空间分布特征,划分为生态保护区、生态防护区、生态恢复区、生态控制区与生态发展区,结合相关生态问题提出相应优化策略。研究结果可为辽西区域生态安全保护提供参考,助力生态高质量发展。

关键词

区域规划;生态修复关键区;生态保护;辽西走廊

Abstract

The regional ecological network serves as the foundation for ecological security protection, and the identification and effective diagnosis of key ecological restoration areas are crucial for managing and restoring ecosystems. Taking the Western Liaoning Corridor as an example, this study integrates ecosystem service functions, the importance of ecological environment quality, and landscape connectivity analysis to identify ecological networks and key ecological restoration areas, establish a sound ecological security pattern, and propose regional ecological governance and optimization strategies. The results indicate that: (1) The spatial distribution of the ecological environment in the Western Liaoning Corridor varies significantly, being better in the west and worse in the east and north; (2) 66 ecological sources, 111 optimal ecological corridors, 11 ecological pinpoints, 13 ecological obstacles, and 8 ecological fracture zones were identified, forming an ecological security pattern of “three rings, five regions, two branches, seven branches, one screen, and multiple points”; (3) The key areas for ecological restoration include source areas, corridors, pinches, and obstacle points. Based on spatial distribution characteristics, they are categorized into ecological protection areas, ecological restoration areas, ecological control areas, and ecological development areas, with corresponding optimization strategies proposed to address relevant ecological issues. The research results can serve as a reference for ecological security protection in Western Liaoning and assist in high-quality ecological development.

Keywords

regional planning; key area for ecological restoration; ecological protection; Western Liaoning Corridor

杨婉

1997年生/女/江苏宿迁人/在读硕士研究生/研究方向为景观规划与设计

霍丹

1983年生/女/吉林吉林人/博士/副教授/研究方向为景观规划与设计、文化遗产保护与规划

快速城市化导致景观破碎化、生物多样性丧失等生态安全问题,威胁城市人居安全与生态系统健康。生态安全格局是保障人类生产生活免受生态破坏和环境污染影响的重要手段^[1,2],国内最早系统提出生态安全格局理论与方法的学者俞孔坚强调“源—廊道—节

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: huodan@dlut.edu.cn

基金项目:
辽宁省社会科学规划基金项目“遗产廊道视角下辽西走廊文化遗产活化利用研究”(编号: L21BZS02)

点”的逻辑；早期源地基于自然斑块与专家经验选择，阻力面依赖土地类型与经验赋值确定。2006年美国科学家McRae将电路理论引入生态连通性研究，提出生态流可类比电流在电阻网络中的运动，革新了生态廊道分析方法。

当前，生态空间格局研究呈多尺度特征^[3]，但宏观格局与微观修复单元存在“尺度断层”，“县域—乡镇”尺度转换研究不足。研究对象多聚焦典型生态区，例如长三角城市群、黄土高原等，对辽西走廊等农牧交错带关注欠缺。研究范式以“源点选择—阻力面生成—廊道构建”为主^[4]；源点选择分为直接提取与综合评价选择，方法上综合生态敏感性评价、生态系统服务、生态景观质量、形态学空间格局分析等多种技术；阻力面因子围绕自然生境条件或者人为活动条件选择，以高程、土地利用、景观类型、与水系距离、与道路距离等单因子选择为主^[5-9]。遥感技术和GIS在生态安全格局研究中应用广泛，但当前研究侧重单一技术，对生态关键区域识别较为笼统。由于生态系统复杂且动态变化，这使得生态安全格局构建分析难度大，需深入理解其内部机制与外部影响因素，以准确评估生态系统服务功能和安全状况。

本研究以辽西走廊为研究对象，充分考虑生态要素流动性、生态系统完整性和生态空间联动性^[9]，创新地运用“源地—廊道—夹点—障碍点”四维诊断框架。研究方法上，较以往单一技术的片面性，融合遥感生态指数(Risk-Screening Environmental Indicators, RSEI)、生态系统服务与权衡的综合评估模型(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs, InVEST)、形态学空间格局分析(Morphological Spatial Pattern Analysis, MSPA)和电路理论等技术，构建全面系统的评估框架，更能反映区域生态环境的复杂动态，为生态安全格局的

构建提供科学依据。本研究通过对辽西生态关键区域的精确识别，构建针对性强、完整度高的生态空间规划，识别生态关键点并提出治理策略，从生态安全角度出发，打磨生态重点区域，筑牢辽西生态安全屏障，助力区域生态安全建设。

1 区域概况与数据来源

1.1 区域概况

辽西走廊地处辽宁西部，包括葫芦岛、锦州、朝阳、阜新、沈阳和辽阳等城市的周边地区，由山地、丘陵、滨海平原组成，研究区域面积约73 400 km²。作为生态环境脆弱区和严重缺水区，受自然与人为因素叠加影响，水土流失与荒漠化加剧，植被退化显著。叠加北部干旱化、东部海岸污染等复合性生态胁迫，虽实施生态修复工程，但系统性调控不足。本研究通过构建生态安全格局，旨在破解该过渡带生态治理的协同难题^[10-14]。

1.2 数据来源与预处理

本研究采用的数字高程模型、交通、水系等数据来源于Bigemap GIS Office V30.0.0.0。遥感Landsat8 OI1数据选自地理空间数据云(<https://www.gscloud.cn/>)。土地利用数据来自中国科学院资源环境科学数据中心(<https://www.resdc.cn/>)，2022年降雨量来源于地球资源数据云(<http://www.gis5g.com/home>)，蒸散量数据来自国家地球系统科学数据中心(<https://loess.geodata.cn/>)，土壤类型来自联合国世界土壤数据库(HWSD)，根系深度数据来源于开源数据集(<http://globalchange.bnu.edu.cn/research/cdtb.jsp>)，以上数据用于测算水源涵养功能、碳储量与生境质量。所有栅格像元均重采样为1 km×1 km空间分辨率，投影坐标系统一设置为WGS 1984 UTM ZONE 51N。

2 研究方法

2.1 基于功能性—重要性—连通性评估的生态源地确定

2.1.1 基于InVEST的生态系统服务功能性评估

生态系统服务是指人类在生态系统形成和维护过程中赖以生存和发展的环境条件和效用^[15-16]。目前，InVEST模型是相对稳定且运用频繁的生态系统服务评估模型^[17]。本文参考前人研究，针对辽西走廊主要生态问题，综合区域景观及生态本底条件，选择InVEST 3.14.0版本的水源涵养、碳储存、土壤保持、生境质量4个模块展开研究。其中水源涵养模块输入土地利用、降雨量、蒸散量、根系深度、植物土壤含水量等栅格数据、流域面状矢量数据与生物物理表进行计算；碳储存主要由地上生物碳、地下生物碳、土壤碳和死亡碳4个碳库计算而得；土壤保持依靠于计算降雨侵蚀、土壤侵蚀、坡度等综合而得；生境质量模块利用土地利用及外在因子的威胁敏感度计算。在ArcGIS中将4个指标归一化处理并空间叠加，获得综合生态系统服务功能结果，结果值越高，表示综合生态系统服务功能越好^[18-24]。

2.1.2 基于RSEI的生态质量重要性评估

RSEI是基于遥感影像分析，客观描述区域生态环境质量的新型指标^[25]。将反映生态问题的湿度、干度、绿度和热度通过主成分分析方法在ENVI 5.6中耦合，量化可视化生态质量^[26]。由于4个指标的描述不统一，在主成分分析前先对4个指标归一化处理，再计算RSEI值。

2.1.3 基于MSPA与景观连通性的生态斑块评估

MSPA用于识别栅格图像，解译地类要素。结合ArcGIS，以林地、草地、水体为前

景数据, 导入GuidosToolbox, 获得核心区、桥接区、边缘区等7大景观类型, 提取核心区斑块4 184块。连通阈值设为5 000 m, 概率设定为0.5, 利用Conefor软件构建可能连通性指数(PC)、整体连通性指数(IIC)。因斑块数量过大, 为使研究更具针对性, 选择面积前100斑块进一步分析, 根据分析结果, 选择PC>0.5、IIC>0.5的生态斑块为潜在生态源地^[24-29]。

2.1.4 基于InVEST—RSEI—MSPA的生态源地识别

结合生态系统服务功能性、斑块连通性与环境质量重要性确定生态源地^[25]。将功能性好、重要性高、连通性强的潜在源地在ArcGIS 10.8中叠加, 结合区域大小筛选斑块大于20 km²的潜在源地为最终生态源地。

2.2 生态阻力面构建

生态阻力面体现物种迁移和能量流动成本。以往依靠专家经验设定不同土地类型的阻力值, 无法区分同类型的内在差异。但生态功能、生态质量、生态斑块类型均基于整体生态中的微小栅格数据分析, 可有效解决上述问题^[4,27]。因此使用生态系统服务功能、生态环境指数与斑块类型的倒数分配阻力值进行阻力面构建, 其中MSPA分析的景观类型以核心区、岛状斑块、孔隙、边缘区、环岛区、桥接区、支线分别赋阻力值为1、5、7、7、3、3、9; 参考前人研究将RSEI、InVEST、MSPA分别以0.4、0.3、0.3进行加权总和生成最终阻力面^[4,27]。

2.3 基于电路理论的生态廊道识别与优化

生态廊道是生态斑块间物质能量传递的关键^[28]。电路理论能模拟物种扩散路径, 基于生态斑块与阻力面, 利用Linkage

Pathway Tool提取最小成本路径作为最终生态廊道; 利用Centrality Mapper模块计算中心度确定景观连通性的贡献程度, 优化并分级生态廊道^[28]。

2.4 生态修复关键区域识别

2.4.1 生态夹点的识别

生态夹点是电流游走形成的高密度区域, 是物种迁徙必经之地。生成生态夹点并识别所在区域的生态问题, 能有效避免因为生态退化或损失造成的生物流动阻断或连通性降低的问题, 在生态廊道建设过程中需优先考虑此类区域的保护政策。运用Pinchpoint Mapper的“all to one”模式可以遍历地表上所有生态斑块进行一系列迭代运算, 生成电流密度结果, 密度高值区即为生态夹点^[28-29]。

2.4.2 生态障碍点的识别

生态障碍点阻碍生物移动, 移除可提升连通性。通过Barrier Mapper计算对比现有与改进后的累积电流, 识别清除障碍点, 从而降低物种迁徙的阻力。选择“Maximum”模式, 设置最小搜索半径为1 000 m, 最大搜索半径为2 000 m, 以1 000 m为步长, 通过移动窗口法检测, 生成原始廊道LCD百分比与改进廊道LCD百分比结果^[29]。

3 结果与分析

3.1 功能性—重要性—连通性评估结果

3.1.1 生态系统服务功能性评估

根据辽西区域生态系统服务功能性结果, 用自然段点法分为高值区、较高值区、一般值区、较低值区与低值区5级。结果显示(图1): 高值区面积2 151 km², 占比2.93%, 分布在绥中、凌源、朝阳的松岭余脉, 以

及医巫闾山、辽阳千山余脉。较高值区面积13 792 km², 占比18.79%, 位于高值区外围, 多为林地。一般值区面积16 801 km², 占比22.89%, 在锦州、阜新等地的低山丘陵区域。较低值区面积16 977 km², 占比23.13%, 主要位于辽河, 以耕地和水域为主。低值区面积23 679 km², 占比32.26%, 分布于盘锦、阜新、北镇、兴城、绥中、沈阳等地区, 以耕地为主。

3.1.2 生态环境质量重要性评估

根据生态环境质量重要性分析结果, 运用自然段点法从高到低分为5级, 结果显示(图2): 高值区面积约4 932 km², 占总面积6.72%, 主要在凌源、朝阳一带, 以林地、水域为主。较高值区面积11 377 km², 占比15.5%, 以水域、湿地、林地为主。一般值区覆盖广泛, 用地面积占比最大, 为35.56%。较低值区与低值区分别占29.15%、13.07%, 总体分布在辽河平原阜新、沈阳境内。

3.1.3 MSPA与景观连通性评估

根据MSPA形态学空间分析结果(图3), 提取大面积斑块展开景观连通性分析。将结果分为高、中、低三级, 最终选择景观连通性较高的重要生态斑块38个, 面积约2 287 km², 占总面积3.12%。结果显示: 医巫闾山、努鲁尔虎山、辽阳千山余脉、辽西部分低山丘陵区域及葫芦岛沿海带斑块面积较大; 地类以林地为主, 生物多样性丰富, 景观连通性好, 生态价值较高。

3.1.4 生态源地识别

提取并叠加生态系统服务关键、生态环境质量高、景观连通性好的生态斑块区域, 获得7 501 km²优质生境斑块。进一步提

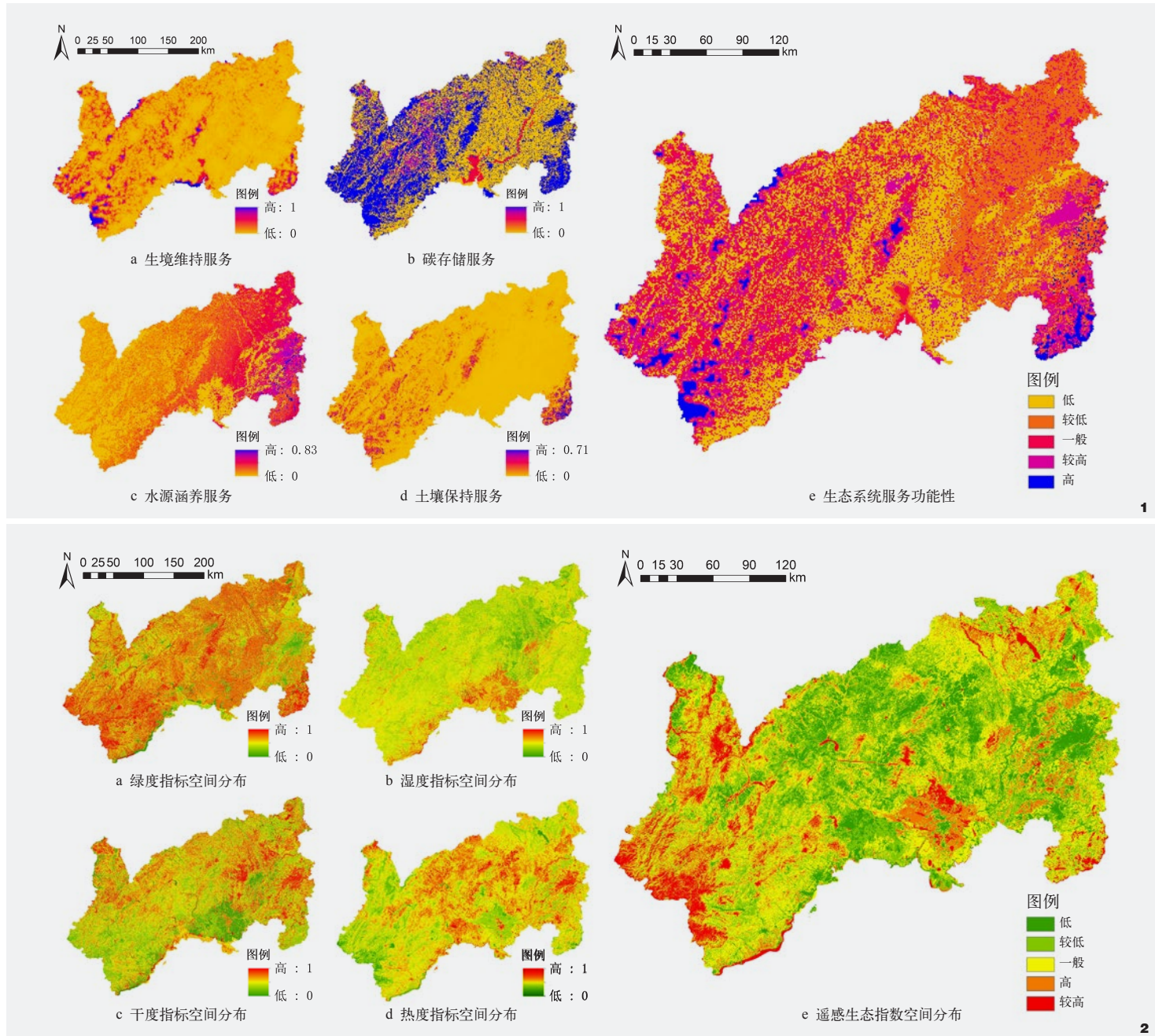


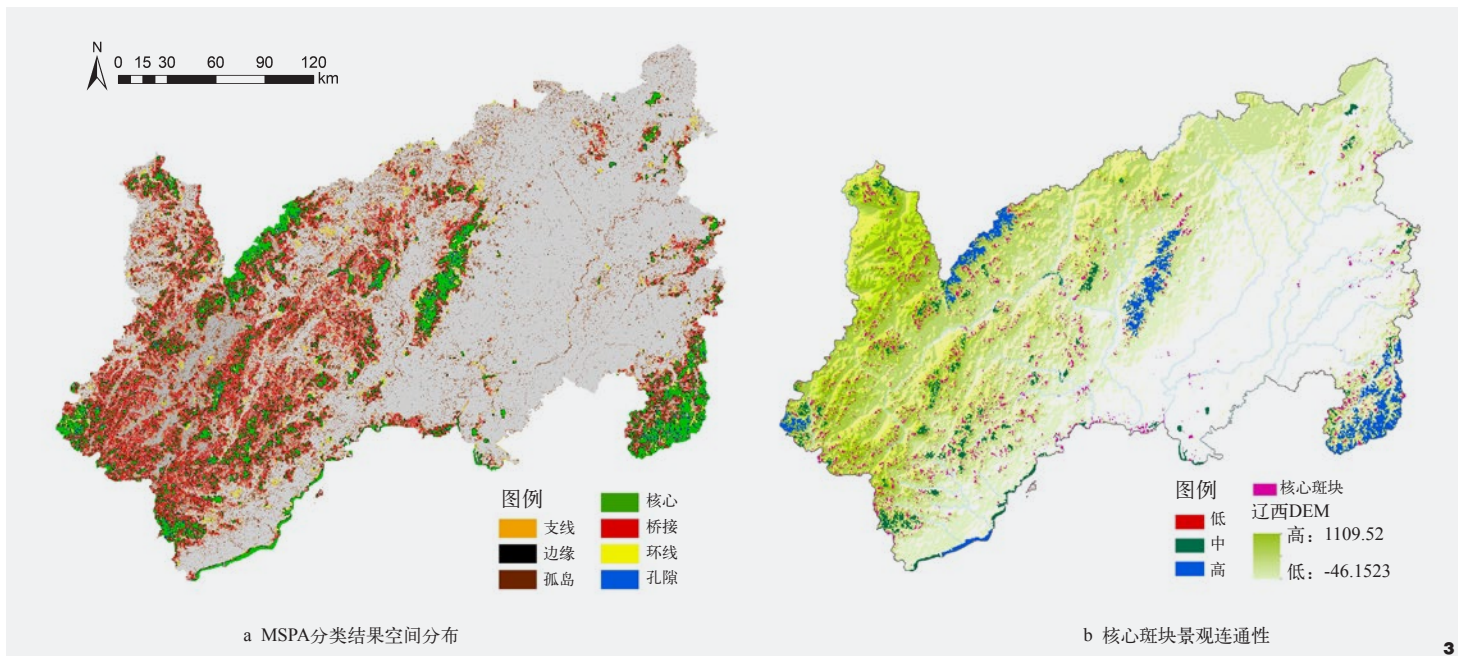
图1 生态系统服务功能性评估结果
Fig. 1 Results of the functional assessment of ecosystem services

图2 生态环境质量重要性评估结果
Fig. 2 Results of the importance assessment of ecosystem quality

取面积大于20 km²的斑块作为生态源地，共选取66处，面积4 147 km²，占研究区5.65%，借Linkage Mapper中心性评价将其按重要性分

为三级(图4)。生态源地以林地为主，面积3 246 km²，占78.27%，分布于建昌大锥山、凌源红石山、北票大黑山、北镇医巫闾山、辽

阳千山余脉等山地丘陵处。耕地629 km²，占15.17%，多开垦于山地，形成北方梯田。水域139 km²，占3.35%，由大凌河白石水库、宫



山咀水库、锦州锦凌水库、辽河三角洲湿地、葫芦岛滨海水域等组成。建筑用地与裸地共占3.21%，建筑多为农村居民点，人类活动对生态影响小。

总体来看，生态源地涵盖15处重要自然保护区，如绥中六股河、建昌楼子山、朝阳老虎洞、北票大黑山、努鲁儿虎山、医巫间山、海棠山、双河、彰武千佛山等，包含丹顶鹤、灰鹤、苍鹭、野生甲鱼等野生动植物栖息地。空间分布西多东少、南聚北散，凌源县源地面积最广，其次是朝阳县、建昌县、北镇和辽阳弓长岭区，其余县区较少。

3.2 生态廊道提取及优化

通过选取生态系统服务、生态环境质量与MSPA形态学空间分析结果的倒数构建阻力面，结果显示(图5)：阻力值西低东高，低阻力值区在辽西凌源、朝阳与建昌境内的松岭余脉与努鲁儿虎山一带，地表多为林地；

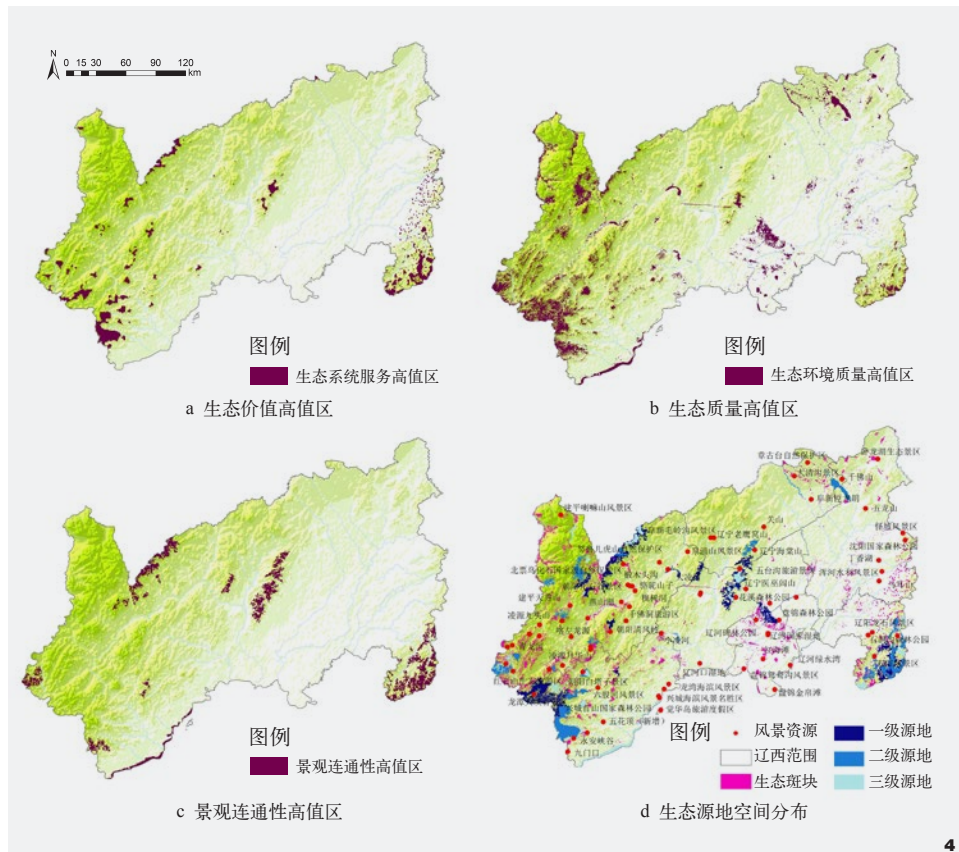


图3 MSPA与景观连通性评估结果
Fig. 3 MSPA and landscape connectivity assessment results

图4 生态源地空间分布结果
Fig. 4 Results of the spatial distribution of ecological source sites

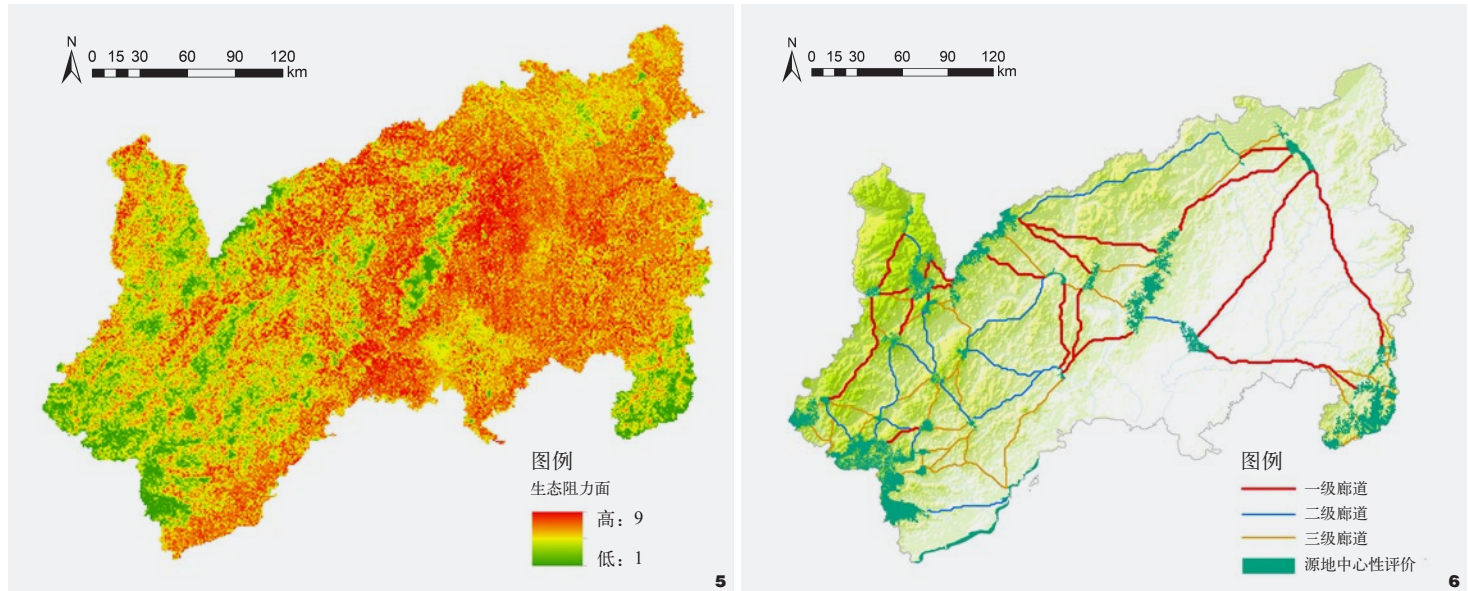


图5 生态阻力面结果
Fig. 5 Ecological resistance surface results

图6 生态廊道识别结果
Fig. 6 Ecological corridor identification results

高阻力值区在辽河平原、锦州和阜新一带，以城市建成区和退化耕地为主。

利用Linkage Mapper识别生态源地游走在阻力面中的最小累计路径为生态廊道，共识别出111条，长度1~157 km，共计2 786 km，呈东长西短、西多东少分布(图6)。运用中心性模块评价廊道重要性，获一级廊道20条，长1 164 km；二级廊道16条，长768 km；三级廊道75条，长854 km。

3.3 生态修复关键区识别

3.3.1 生态夹点识别

基于电路理论提取高电流区域为生态夹点。辽西共识别出11处(图7)，主要位于研究范围中西部，即辽河平原与医巫闾山区域，且多位于一级廊道上，辽阳夹点最多，共计三处(表1)。结合土地类型和遥感影像，夹点地类以林地、耕地、草地、水域为主，7处毗邻大凌河、浑河等河流。医巫闾山区域

的夹点多在大凌河畔，生态价值高；浑河因污染水生态退化严重，需重点维护夹点区域生态，增强物种迁徙功能。

3.3.2 生态障碍点与生态断裂区识别

运用Barrier Mapper工具分析生态廊道(图8)，辽河平原累计电流高值区集中连续分布，范围广；辽西黑山松岭区域电流以断裂点形式分布，累计电流值低。依电流分布，以面

表1 生态夹点分布情况
Tab. 1 Distribution of ecological pinch points

区域 Area	县区 County and district	数量/处 Number	分布位置 Location	土地利用类型 Land-use type
东部辽河平原区	沈阳市于洪区	2	于洪区新立屯东侧、浑河闸闸口段	耕地、水域、林地、草地
	辽阳市宏伟区	1	辽阳首山公园	林地、耕地、草地
	辽阳县	2	柳壕镇小罗套—黄套段、苗家麻线沟—青鱼湾村	水域、耕地、林地
中部医巫闾山区	阜新蒙古族自治县	2	关山一带、陈家沟—牛家沟段	林地、草地、耕地
	北镇满族自治县	1	刺菜花沟—黑鱼沟河段	水域、耕地
西部松岭区	义县	2	靠山屯细河段、石堡子—小井子段	水域、林地、耕地、草地
	北票市	1	白石水库—大沟段	水域、林地、草地

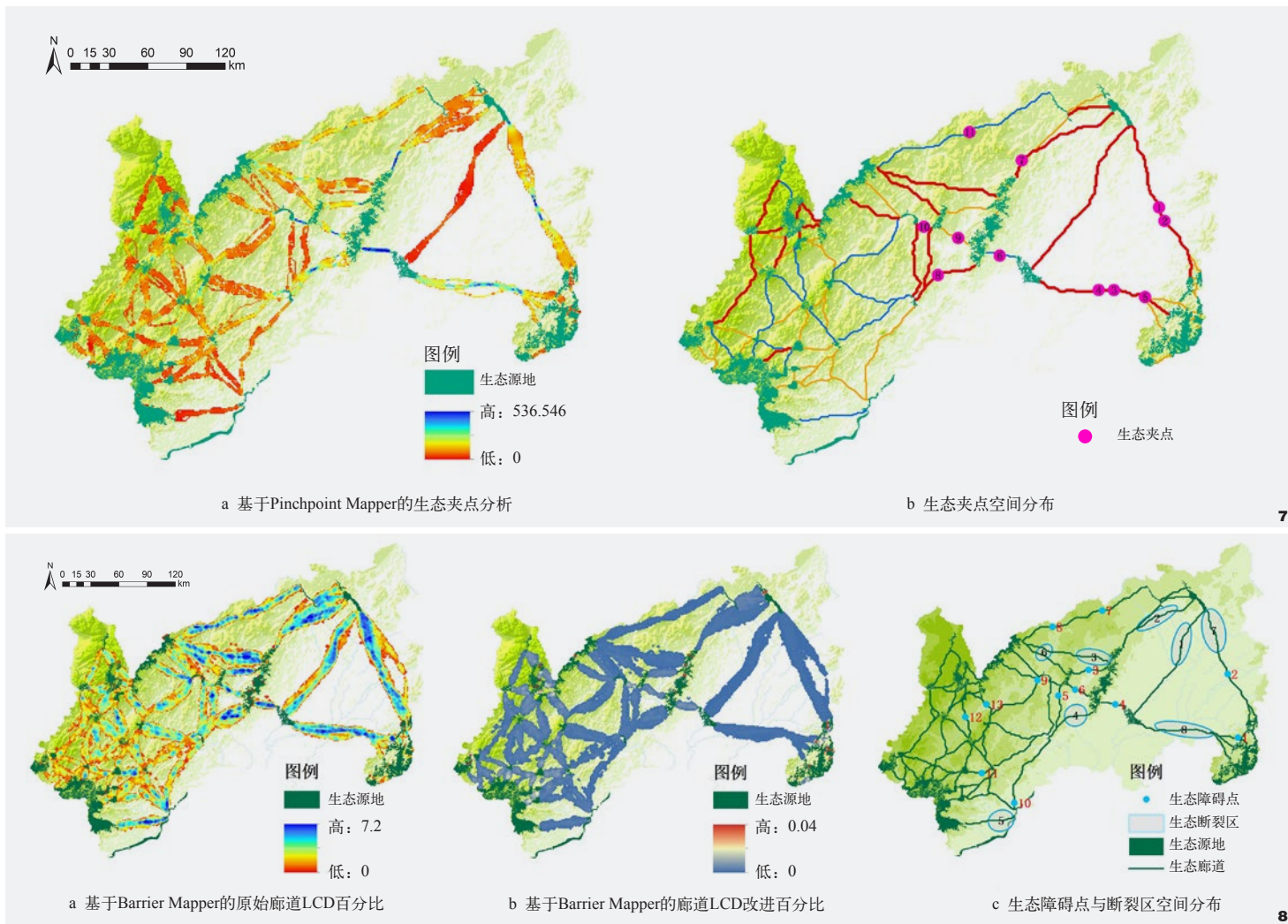


图7 生态夹点识别结果
Fig. 7 Ecological pinch point identification results

图8 生态障碍点与断裂区识别结果
Fig. 8 Results of the identification of ecological barrier sites and fracture zones

积划分为生态障碍点与生态断裂区，累计电流高且范围广的是生态断裂区，相对较高且以点状分布的为生态障碍点。辽西共识别出13处生态障碍点与8处生态断裂区。生态断裂区面积大，割裂了区域生态景观连通性，多围绕水系分布（表2）。

生态障碍点阻碍生态过程，是辽西走廊生态网络连通性重点修复区域。叠合土地类型与遥感影像，其地类以建设用地、耕地为

主，阻断区域水域及生物流通。其中，1、3、5、6主要为露天矿厂，2、10为位于沈阳与绥中的城市建设用地，4、7、8、11为农村居民点，9、12、13为大凌河畔建设用地（表3）。

3.4 生态安全空间格局与管控修复策略

3.4.1 生态安全空间格局

依据“源地—廊道—夹点—障碍点”四维诊断框架，共识别出66个生态源地、111

条生态廊道、11处生态夹点、13处生态障碍点与8处生态断裂区。以5级生态保护监测治理点、三级生态廊道及8处重点治理区为基础，结合辽西生态类型、山脉与水系特点，构建“三环、五区、两千、七支、一屏、多点”的生态安全空间格局（图9）。

“三环”指的是辽河平原、医巫闾山、松岭生态环，分别突显平原、山地、丘陵景观特征，维系区域生态安全。“五区”指位于

松岭余脉的生态发展区，地处滨海平原的生态控制区，以辽河平原为主的生态恢复区，阻断科尔沁风沙的生态防护区，以及生态价值最高的生态保护区。其中，西部生态发展区生态阻力低，森林资源丰富，斑块生境质量高，突出丘陵生态山水特色；滨海生态控制区近邻渤海，海洋资源丰富，人为活动干扰大，以海洋生态安全为主控制发展；辽河平原生态恢复区河流支干众多，耕地广，面临土地退化、水土流失、水源污染等问题，应采取植被覆盖、植物修复、水生态修复工

程等手段展开保护；北部生态防护区主要通过实施植树造林等措施，防止风沙侵蚀。“两干”指的是呈东西走向的大凌河与辽河生态廊道，是生态关键点的空间载体，保护它们有助于解决区域生态问题。“七支”是以六股河、小凌河、牯牛河、饶阳河、细河、浑河、太子河为载体的生态廊道支线，依不同区域生态难题分区分管。“一屏”指辽西森林生态屏障，由植被生态系统与山地丘陵的地貌环境共同形成京津冀与北部的生态屏障，具备过滤器、缓冲器、隔板、庇护所、美学

等多种功能。“多点”指辽阳千山山脉、努鲁儿虎山、医巫闾山自然保护区等生态源地，是生物重要栖息地和生态核心区。

3.4.2 生态分区治理与管控策略

综合考虑区域生态质量、生态夹点、障碍点、断裂区情况及辽西区域所面临的典型性生态特征与长期性生态问题等方面，形成5大生态分区(图10)，包括生态保护区、生态防护区、生态恢复区、生态控制区、生态发展区，并提出生态分区分管策略(表4)。

3.4.3 生态关键节点修复策略

生态夹点本底较好，采用自然保护为主，人为修复为辅的措施提升环境质量。针对辽河平原夹点，城市内增绿补绿，加强植被保护；在辽河、浑河水系夹点，建设水源涵养林；在医巫闾山区域夹点，恢复耕地并提高耕地生境，发展有机农业，保护农业生态环境，加强河流、水库植被建设；引入小型斑块，强调夹点处林种搭配，优化低效林树种结构，改善夹点森林质量与数量，促进林草耕生态链发展。

生态障碍点以土地退化、土壤沙化问题为主，为改善区域生态环境以及景观连通性，采取人为修复与自然恢复并重的方式。针对医巫闾山区域障碍点，通过修复退化耕地、整治农用地以提升农村居民点植被覆盖度；对于山地丘陵区域的障碍点，在规定范围内实施育林、育草；对峡谷河流、水库坑塘进行修复，及时清淤，减少生活污染，保护水源。辽西松岭区域生态障碍点的重点在于优化居民点结构与景观格局，增加植被覆盖度，保护大凌河水资源健康发展。针对北部辽河平原区城市范围内的障碍点，推进内部蓝绿空间建设，营造绿色空间以缓解热岛效应，

表2 生态断裂区分布情况
Tab. 2 Distribution of ecological fracture zones

区域 Area	市域 City	数量 / 处 Number	分布位置 Location	土地利用类型 Land-use type
东部辽河平原区	沈阳	2	罗家窝堡—秀水河子镇(辽河)、三合村—彰武台门村(柳河)	耕地、水域、草地、建设用地
	辽阳	1	新开河村—辽阳县(辽河、太子河)	耕地、水域、草地、林地、建设用地
中部医巫闾山区	阜新	2	彰武县—桃花(柳河、饶阳河)、清河村—新民镇	耕地、水域、草地、林地、建设用地
	锦州	1	二甸子—八角台(大凌河)	耕地、水域、草地、林地、建设用地
西部松岭区	朝阳	1	四万贯村—蒙古营镇	林地、耕地、建设用地、裸地
	葫芦岛	1	六股河绥中段(六股河)	耕地、水域、建设用地

表3 生态障碍点分布情况
Tab. 3 Distribution of ecological barrier sites

区域 Area	县区 County and district	编号 No.	分布位置 Location	土地利用类型 Land use type
东部辽河平原区	沈阳苏家屯区	2	吉祥屯村(北沙河)北部	建设用地、耕地、水域
	辽阳弓长岭区	1	安平段(汤河)	建设用地、水域、林地
	阜新清河门区	3	艾友营子村北部	建设用地、耕地
中部医巫闾山区	阜新蒙古族自治县	7, 8	旧庙镇西侧、赵家沟段(牯牛河)	建设用地、耕地、水域
	义县	5, 6	杨家沟北侧(大凌河)、青年沟西侧	建设用地、水域、耕地
	北镇	4	大亮甲村段	建设用地、水域、耕地
	北票市南部	9	北票火车站(白石水库)	建设用地
西部松岭区	朝阳县	13	大平房火车站北侧(大凌河)	建设用地、耕地
	喀喇沁左翼蒙古族自治县	12	水泉镇西北侧(大凌河)	建设用地、耕地
	建昌县	11	药王庙镇(六股河)	建设用地
	绥中县	10	薛家屯	建设用地、耕地

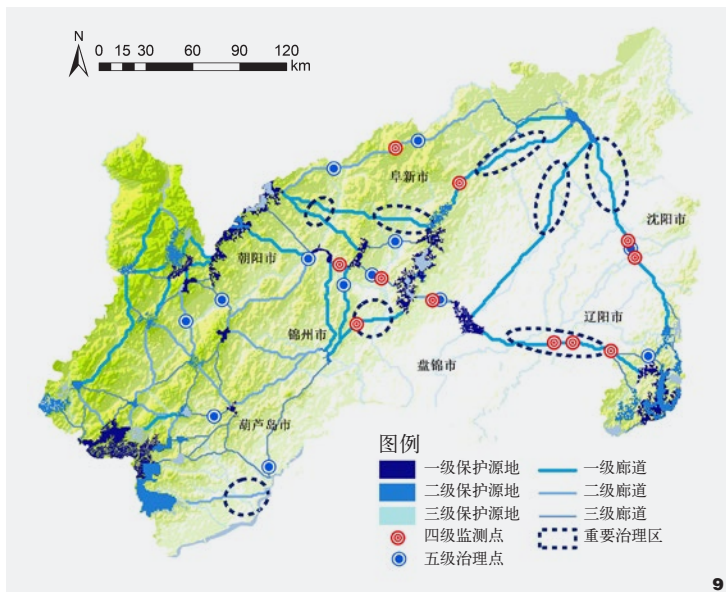


图9 生态安全空间格局
Fig. 9 Spatial planning for ecological security

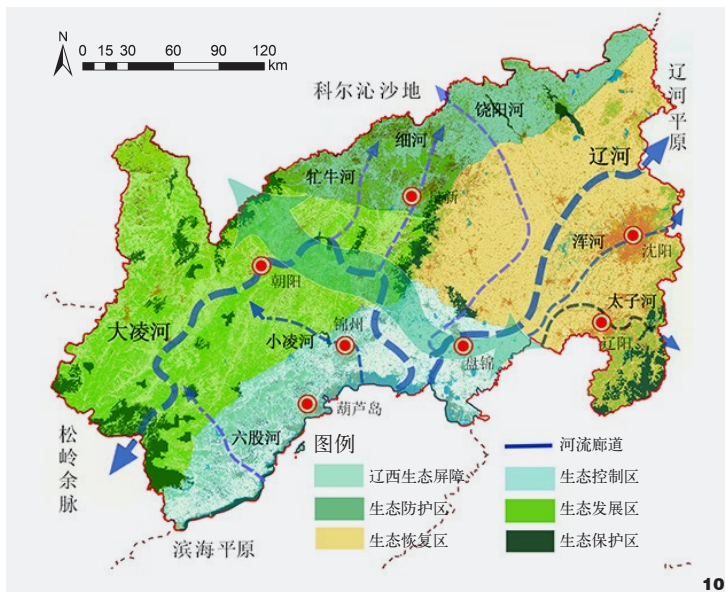


图10 生态空间区划
Fig. 10 Ecospatial zoning

表4 生态分区管控策略
Tab. 4 Ecological zoning control strategies

管控空间分区 Controlled space zoning		管控要素 Control element		
		林地	水域	其他生态要素 (耕、草、建设、裸地)
生态保护区	占比 /%	77	3	20
	管控策略	禁止违法毁林伐木, 制定林业法规管理条例	禁止取用或截断湿地水源, 以及排放污水等破坏水域行为	禁止从事采土、采砂、采石等作业活动, 不得随意开垦养畜、采挖植物等破坏行为
生态防护区	占比 /%	19	4	77
	管控策略	建设边界防护林和生态型经济林, 进行防风治沙固土活动	建设水土保持林, 拦截微径流、治理侵蚀沟, 改善柳河流域沿岸水土流失、沙化、碱化等情况	建设农田防护林治沙固土, 兴修土坎梯田和改造坡耕地, 人工补播牧草、退牧还草、草地修复, 对露天矿、废弃矿坑等进行综合治理、改造利用, 发展矿文化 IP
生态恢复区	占比 /%	15	3	82
	管控策略	开展浑河、辽河、太子河沿岸造林绿化工程, 进行生态恢复	对辽河、浑河、太子河等多流域协调治理工业污染、水土流失、干旱等问题, 构建人工缓冲带, 进行河流景观生态修复, 构建河流生态廊道	修复退化耕地, 实行绿色农业、林农混作, 提升城市与农村居民点植被覆盖度
生态控制区	占比 /%	25	6	69
	管控策略	在不降低生态系统功能的前提下, 根据林木类型与实际情况限额采伐	盘锦湿地区域采取等同于保护区的水域管制措施, 葫芦岛沿海岸水域进行适度开发与水质检测等活动, 内陆水域如六股河在生态稳定的前提下适度利用	对草地、裸地进行分批改良, 开展适度的草地保护工程建设
生态发展区	占比 /%	45	2	53
	管控策略	适度开展森林游憩等非木质资源开发与利用活动, 科学发展森林经济	在符合生态保护规划的前提下, 允许渔业养殖、旅游、运输等项目, 结合生态保护构建山水游憩廊道	裸地实施植树种草及生态复绿等工程

优化道路布局以避让生态用地；加强河流湖泊污染治理，强化湖滨湿地植被缓冲带建设，控制污水排放，提高水系生态系统活力。

4 结语

本研究通过精细化空间分析，识别辽西区域内66个生态源地、111条最佳生态廊道、11处生态夹点、13处生态障碍点和8处生态断裂区。这些生态要素的精细化识别，不仅揭示区域生态空间分布特征和风险点，还为后续的保护与修复工作提供了明确的指引和优先级，相较于以往笼统的区域划分，更能确保生态安全格局构建的针对性和有效性。通过多模型耦合构建辽西“三环五区两千七支”生态安全格局，得出核心结论：生态空间西优东劣受地形梯度与人类活动强度双重驱动；创新的“源地—廊道—夹点—障碍点”四维诊断框架，较传统“源地—廊道”二元体系提升了生态修复区定位精度，可为东北丘陵区生态网络优化提供参考，助力实现“十四五”生态安全战略目标。

本研究综合RSEI、InVEST、MSPA与电路理论，相比传统单一模型，多维度方法整合提升了生态关键区识别的系统性；叠加电流密度与廊道阻力阈值，定位8处生态断裂区，与辽西破碎化分布特征（如锦州湾沿岸工业区）相符，验证了方法的有效性。再者，本文所识别的源地与《辽宁省生态保护红线划定方案》中辽西水土保持生态功能区大部分重叠，但大凌河下游湿地等部分源地未被纳入，表明现有规划对生态网络连通性考量存在不足。本文111条廊道中70多条沿努鲁儿虎山—松岭山脉延伸，契合《辽西走廊国土空间规划（2021—2035）》的“两屏三廊”生态骨架。13处生态障碍点中8处位于朝阳市矿区与葫芦岛港口经济带，印证了矿产开发和

港口扩建对生态网络的割裂效应。生态分区方案中“生态发展区”与辽宁省“一圈一带两区”战略中的沿海经济带高度吻合，本研究还提出在阜新一朝阳交界处增设生态恢复区，因其作为科尔沁沙地南缘，防风固沙功能被长期低估。对比《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划（2021—2035）》，辽西防沙治沙工程仅覆盖研究区北部，研究表明中部农业垦殖区同样存在生态退化风险，建议扩展工程实施范围。

注：文中图表均由作者绘制。

参考文献

- [1] 傅伯杰, 于丹丹, 吕楠. 中国生物多样性与生态系统服务评估指标体系[J]. 生态学报, 2017, 37(02): 341-348.
- [2] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展[J]. 地理科学进展, 2014, 33(04): 441-446.
- [3] 杨学龙, 叶秀英, 赵小敏, 等. 基于MSPA与MCR的生态廊道构建及优化研究——以南昌市新建区为例[J]. 地域研究与开发, 2023, 42(03): 85-91.
- [4] 王悦露, 董威, 张云龙, 等. 基于生态系统服务的生态安全研究进展[J]. 生态学报, 2023, 43(19): 7821-7829.
- [5] 向爱盟, 岳启发, 赵筱青, 等. 国土空间生态修复关键区识别及修复分区——以西南喀斯特山区开远市为例[J]. 中国环境科学, 2023, 43(12): 6571-6582.
- [6] 刘瑞宽, 杨林朋, 李同昇, 等. 基于ERA和MCR模型的生态安全格局构建——以陕西沿黄地区为例[J]. 中国环境科学, 2024, 44(02): 1053-1063.
- [7] 涂婧林, 侯东瑞, 陈弋冉, 等. 国土空间生态修复关键区域系统识别与修复——以武汉市蔡甸区为例[J]. 华中农业大学学报(自然科学版), 2022, 41(03): 47-55.
- [8] 韩依纹, 胡诗琪, 万明暄, 等. 多元分析技术介入的国土生态空间规划探究——以湖北省襄阳市为例[J]. 中国园林, 2023, 39(08): 29-35.
- [9] 易浪, 孙颖, 尹少华, 等. 生态安全格局构建: 概念、框架与展望[J]. 生态环境学报, 2022, 31(04): 845-856.
- [10] 吕乐婷, 乔皓, 郑德凤, 等. 太子河流域景观格局时空演变及其对水源涵养的影响[J]. 水资源保护, 2023, 39(06): 111-120.
- [11] 代雅建, 崔健, 郭常来, 等. 辽宁锦州城区土壤环

境质量及潜在生态危害评价[J]. 地质通报, 2021, 40(10): 1671-1679.

- [12] 王传胜, 朱珊珊, 党丽娟. 辽宁海岸带重点生态空间分类研究[J]. 资源科学, 2014, 36(08): 1739-1747.
- [13] 董厚德, 韩帅. 辽宁西北地区主要生态环境问题及其整治对策[J]. 辽宁大学学报(自然科学版), 2004(04): 289-294.
- [14] 潘开文, 吴宁, 潘开忠, 等. 关于建设长江上游生态屏障的若干问题的讨论[J]. 生态学报, 2004(03): 617-629.
- [15] 应凌霄, 孔令桥, 肖焱, 等. 生态安全及其评价方法研究进展[J]. 生态学报, 2022, 42(05): 1679-1692.
- [16] 刘浩, 舒昶, 周婷婷, 等. 阿勒泰地区基于土地覆被变化的生态系统服务协同与权衡关系及驱动力分析(英文)[J]. Journal of Resources and Ecology, 2021, 12(06): 777-790.
- [17] 黄从红, 杨军, 张文娟. 生态系统服务功能评估模型研究进展[J]. 生态学杂志, 2013, 32(12): 3360-3367.
- [18] 冉璇, 李渊, 郭宇龙, 等. 基于InVEST模型的钱江源国家公园生态系统服务评估及权衡协同关系研究[J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32(09): 1932-1948.
- [19] 王诚煜, 李玉超, 关旭, 等. 辽宁西部沿海地区土壤碳库构成及变化规律研究[J]. 地质与资源, 2021, 30(02): 173-185.
- [20] 王耕, 冯妍. 辽宁太子河流域生态系统服务权衡/协同关系时空变化与情景预测[J]. 生态学报, 2024, 44(01): 96-106.
- [21] 张哲, 时振钦, 朱文博, 等. 基于InVEST模型的伏牛山地区生态系统碳储量时空变化模拟[J]. 环境科学, 2024, 45(04): 2332-2341.
- [22] 章文波, 谢云, 刘宝元. 利用日雨量计算降雨侵蚀力的方法研究[J]. 地理科学, 2002(06): 705-711.
- [23] 谢云, 刘宝元, 章文波. 侵蚀性降雨标准研究[J]. 水土保持学报, 2000(04): 6-11.
- [24] 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.
- [25] 艾婧文. 平潭岛复合绿道网络构建研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2023.
- [26] 王丽霞, 赵蕊, 刘招, 等. 基于RSEI的延河流域生态环境质量监测与预估[J]. 干旱区研究, 2022, 39(03): 943-954.
- [27] 赵宇豪, 罗宇航, 易腾云, 等. 基于生态系统服务供需匹配的深圳市生态安全格局构建[J]. 应用生态学报, 2022, 33(09): 2475-2484.
- [28] 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(02): 809-820.
- [29] 廖剑威, 闫淑君, 叶佳伟, 等. 基于MSPA-Linkage Mapper的福州滨海长乐区生态网络构建与优化[J]. 西北林学院学报, 2023, 38(05): 243-251.