DOI: 10.20103/j.stxb.202209052521
陈月娇,李祥,王月健,姚秀秀,邹业弘,徐蓓蕾.尺度整合视角下伊犁河谷地区生态安全格局构建——以昭苏县为例.生态学报,2023,43(19):8181-8192.
Chen Y J, Li X, Wang Y J, Yao X X, Zou Y H, Xu B L.Construction of ecological security pattern in Ili River Valley from the perspective of scale integration: A case study of Zhaosu County.Acta Ecologica Sinica,2023,43(19):8181-8192.

尺度整合视角下伊犁河谷地区生态安全格局构建
——以昭苏县为例

陈月娇[1,2,3],李 祥[2,*],王月健[2,3],姚秀秀[2],邹业弘[2],徐蓓蕾[2]
1 华中科技大学公共管理学院, 武汉 430074
2 石河子大学理学院, 石河子 832000
3 绿洲城镇与山盆系统生态兵团重点实验室, 石河子 832000

摘要:构建生态安全格局是一种协调区域生态保护与经济发展关系的有效途径。由于生态系统服务供需差异,不同等级的行政区在生态安全格局构建中出现了空间结构错位脱节的问题。从整合视角出发,尝试整合伊犁河谷地区州级和县级两级尺度构建昭苏县生态安全格局。首先基于生态系统服务评价确定生态源地,再构建综合阻力面并采用电路理论模型识别生态廊道。研究结果显示,整合州级和县级两级尺度昭苏县共确定了 24 个生态源地,面积 2504.47km^2,主要分布于昭苏中部盆地以及北部、南部山区,土地利用类型主要为耕地、草地和林地;识别生态廊道 50 条,总长度 200.17km。与单一尺度下生态安全格局构建相比,整合不同尺度构建生态安全格局能显著改善区域生境破碎化的问题,提高区域景观连通性。本研究提供了一种整合不同尺度下生态安全格局构建的技术框架,研究结果可为伊犁河谷地区国土空间格局优化提供有效参考。

关键词:生态安全格局;生态源地;生态廊道;整合视角;伊犁河谷;昭苏县

Construction of ecological security pattern in Ili River Valley from the perspective of scale integration: A case study of Zhaosu County

CHEN Yuejiao[1,2,3], LI Xiang[2,*], WANG Yuejian[2,3], YAO Xiuxiu[2], ZOU Yehong[2], XU Beilei[2]
1 *College of Public Administration, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan* 430074, *China*
2 *College of Science, Shihezi University, Shihezi* 832000, *China*
3 *Xinjiang Production and Construction Corps Key Laboratory of Oasis Town and Mountain-basin System Ecology, Shihezi* 832000, *China*

Abstract: Construction of the ecological security pattern is an effective way to coordinate the relationship between regionally ecological protection and economic development. Due to the differences in the supply and demand of ecosystem services, different levels of administrative districts have the misalignment and disconnection of spatial structures in the construction of ecological security patterns. From an integration perspective, this study attempts to integrate the state and county scales in the Ili Valley region to construct an ecological security pattern for Zhaosu County. Firstly, the ecological source sites were identified based on ecosystem service evaluation, and the integrated resistance surfaces were constructed and ecological corridors were identified using circuit theory model. The results showed that a total of 24 ecological source sites with an area of 2504.47 km^2 were identified in Zhaosu County, mainly in the central basin, northern and southern mountainous areas of

基金项目:国家自然科学基金(41661040);石河子大学青年创新培育人才计划项目(CXPYSK201905);石河子大学青年创新人才计划项目(KX00300302);石河子大学创新发展专项项目(CXFZSK202105)
收稿日期:2022-09-05; **网络出版日期**:2023-02-26
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: lixiangori@163.com

Zhaosu. The land use types were mainly arable land, grassland and forest land. 50 ecological corridors with a total length of 200.17 km were identified. Compared with the construction of ecological safety pattern at single scale, the integration of different scales can significantly improve the fragmentation of regional habitats and enhance regional landscape connectivity. This study provides a technical framework for integrating ecological safety patterns at different scales, and the results can provide an effective reference for optimizing the spatial pattern of the land in the Ili Valley.

Key Words: ecological security pattern; ecological source sites; ecological corridors; integrated perspective; Ili River Valley; Zhaosu County

国土空间生态修复是我国新时期推进生态文明建设的重要举措[1]。新时期的国土空间生态修复本质上是景观尺度的生态保护修复[2],强调整体性、系统性、综合性[3—4],强调生态保护修复与社会经济发展的耦合[5]。源于景观生态学的生态安全格局为国土空间生态修复提供理论和实践指导[6—7],成为协调经济发展与生态保护之间矛盾的重要途径[8]。生态安全格局是一种通过选择生态源地和生态廊道将生态过程与功能联系起来[9],以维持区域生态安全的空间配置方案[10],目前已经形成“生态源地识别-阻力面创建-生态廊道提取”的基本研究范式[11]。

生态安全格局作为一种管理手段,在行政等级尺度上的研究较多[12]。目前生态安全格局的研究尺度在不同行政等级上都有涉及,如县级[13—15]、市级[16—17]、城市群[18]等。但其研究视角多为单一尺度,忽视了不同尺度上生态安全格局构建存在空间结构错位脱节的问题。究其原因,主要是不同尺度上生态系统服务供需差异造成的。不同尺度下的景观格局和过程对生态安全格局构建提出了不同的需求[19]。生态源地作为维持区域生态安全的关键斑块[20],在不同行政等级尺度上考虑到不同区域范围的生态系统服务供需,得到的范围不会完全重合。此外,由于不同行政等级的生态源地存在差异,继而在构建生态廊道过程中这种差异会被延续。这导致生态源地割裂、生境破碎化、廊道冗余,以至于相关的管理措施和工程措施难以落实。因此,本研究提出一种整合不同行政等级尺度构建生态安全格局的技术框架,这可为解决不同行政等级尺度下生态安全格局空间结构错位的问题提供一种技术思路,对于各级政府如何更加科学合理的落实生态安全战略具有重要的现实意义。

本文所选案例地区——伊犁哈萨克自治州,位于中国西北边境,地处伊犁河流域,是丝绸之路经济带核心区,也是中国 17 个优先保护的生物多样性关键地区之一,其所辖的昭苏县是我国首批全域旅游示范区和生态文明建设示范县,拥有天然的生态屏障和丰富的珍稀野生动植物资源。近年来,伊犁哈萨克自治州大力发展旅游业,这也使得经济发展与生态保护之间的冲突不断增强。因此,伊犁哈萨克自治州积极开展国土空间生态修复项目,而多数生态修复工程项目需要跨县域联合开展。本研究在州级和县级两级尺度下构建生态安全格局,并与单一尺度下生态安全格局的构建进行比较。研究结果可为伊犁河谷地区协调经济发展与生态保护之间的关系、优化国土空间格局提供建议,并为其他地区解决不同尺度下生态安全格局构建的问题提供思路和参考。

1 研究框架

不同尺度下的生态安全格局空间结构不同。根据生态安全格局的理念,生态安全格局是满足区域社会经济发展需求的最小生态用地[8]。单一尺度下的生态系统服务可能难以维持更高或更低尺度下的需求[21]。此外,不同尺度上的需求和生态系统服务是互动的,不同尺度上的需求会促进不同行政等级管理部门采取相应生态保护修复措施提供生态系统服务[22]。而不同尺度下空间结构的错位脱节会导致生态保护修复管理和工程措施难以实施。因此,尺度整合视角下构建生态安全格局能够在满足不同尺度的需求的同时,也利于开展生态保护修复工作。

整合州级和县级两级尺度构建生态安全格局,以维持生态系统的完整性和管理实施的可操作性为原则。伊犁河谷地区作为西北干旱区的湿岛,水资源充沛、森林覆盖度高、生物多样性丰富,具有较好的食物生产、水源涵养、美学景观等生态系统服务能力。由于生态系统服务是生态系统提供的满足人类需求和发展的产品和

服务,是重要的资源与环境基础[23],所以本研究采用生态系统服务评价确定生态源地。同时,为了满足自身以及上级行政区的需求,本研究将县级以及州级识别的生态源地取并集作为尺度整合视角下县级的生态源地。对于跨县级行政区的生态源地整体作为县级生态源地以保留生态系统的完整性,避免生态源地因为行政边界而被割裂。考虑到伊犁河谷地区自然本底和经济发展特点,伊犁河谷地处独特的山盆系统,山地崎岖寒冷不适宜生态流动,而人类的社会经济活动也主要集中于平原地带,这两种因素都易形成阻力。因此,综合自然和社会经济因素构建阻力面更适合伊犁河谷地区。本文拟从自然因素和社会经济因素 2 个方面选取 7 个指标构建综合阻力面。由于识别的生态源地可能跨县级行政区,所以县级的阻力面可能无法满足提取生态廊道的需要。所以生态廊道应在州级阻力面下提取。最终,基于整合州、县两级尺度下确定的生态源地和州级尺度的阻力面,运用电路理论模型识别生态廊道,最终构建尺度整合视角下的生态安全格局(图 1)。

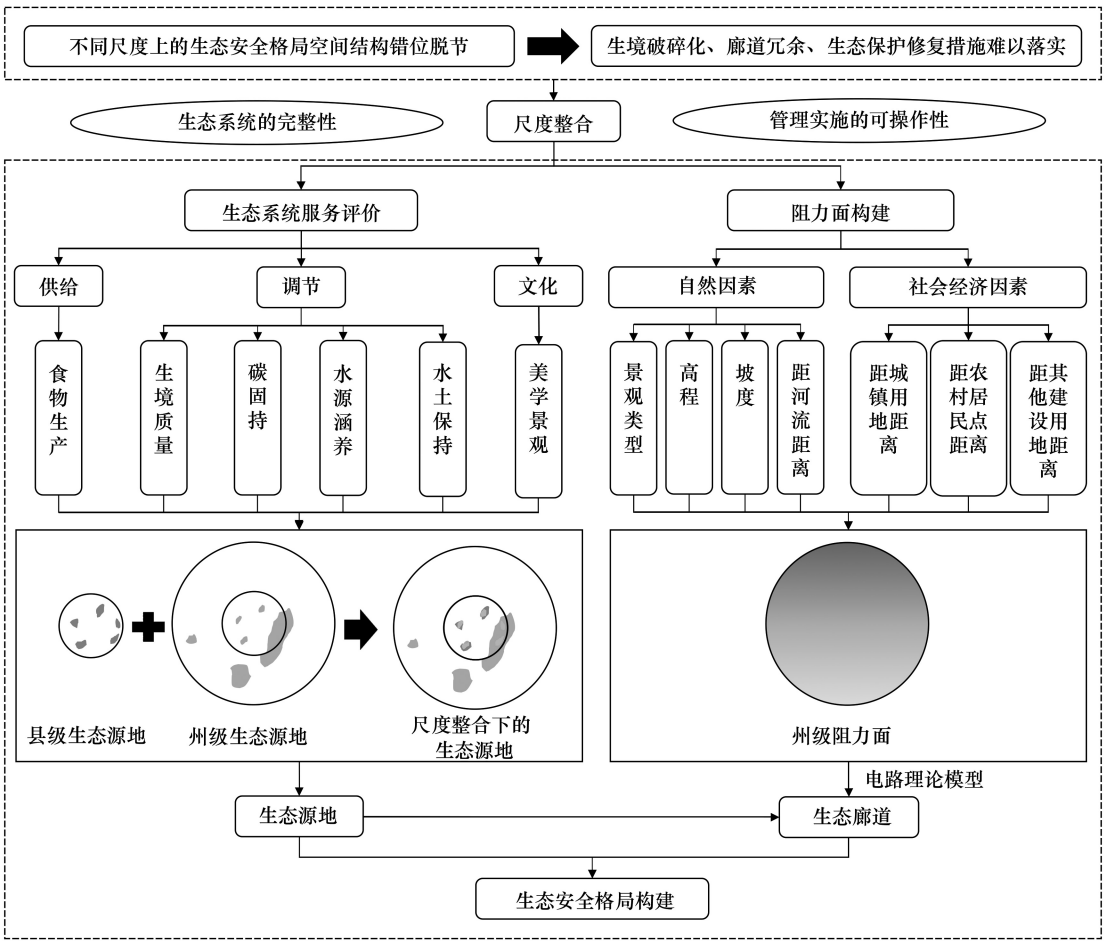

图 1　研究框架图

Fig.1　Research Framework Diagram

2　研究区概况

伊犁河谷地区(80°16′—84°95′E、42°26′—44°84′N)位于新疆西北角,总面积约为 55778.47 km^2,北、东、南三面环山,山系之间为喀什河谷地、伊犁—巩乃斯谷地、特克斯—昭苏盆地,总体呈“三山两谷夹一盆”的地理格局(图 2)。行政区划主要包括伊犁哈萨克自治州和兵团第四师。伊犁哈萨克自治州直属所辖的行政区包括 8 县 3 市,其中由于奎屯市为伊犁河谷地区以外的一块“飞地”,因而本研究不予考虑。昭苏县(80°16′—81°86′E、42°26′—43°40′N)位于伊犁河谷西南部,总面积 10488.97 km^2,为中亚内陆腹地的一个群山环抱的高位山间盆地,北部为乌孙山、南部是天山山脉,特克斯河从中部盆地穿过,西与哈萨克斯坦接壤,南邻阿克苏地

区,东接特克斯县,北依察布查尔锡伯自治县。昭苏县地方管辖的区域包括 12 个乡镇(场),第四师的 74 团、75 团、76 团、77 团以插花的方式分布于昭苏县境内。

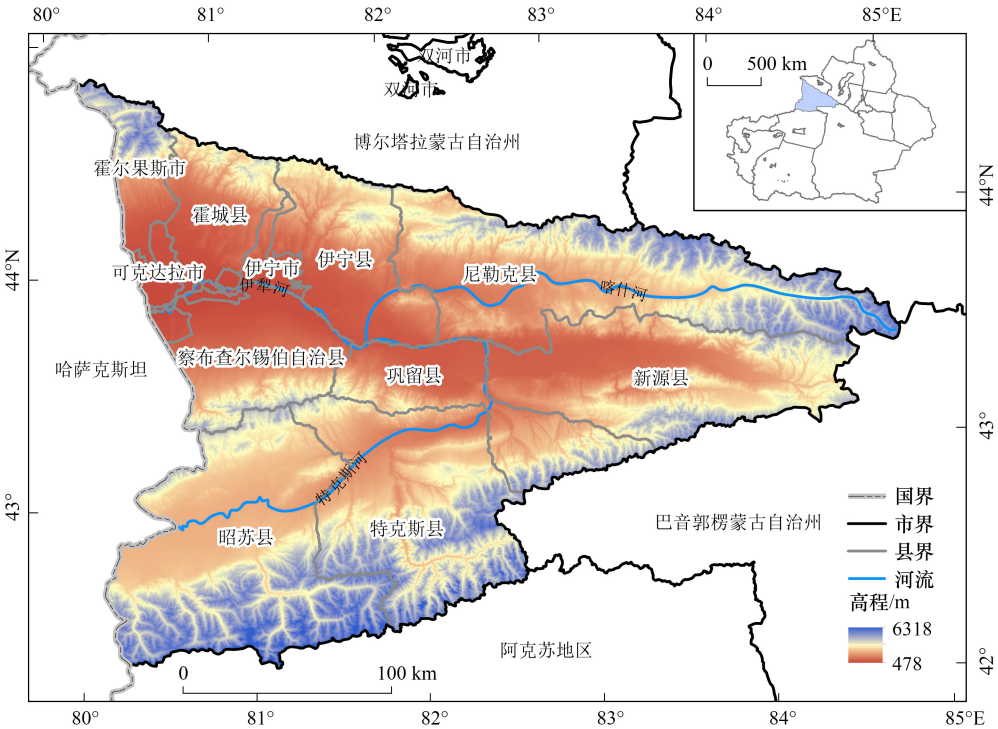

图 2 伊犁河谷地区概况图

Fig.2 Overview map of the Ili Valley region

3 数据与方法

3.1 数据来源

本研究涉及数据包括土地利用数据、数字高程模型数据、气象数据、NPP、土壤数据和社会经济统计数据(表 1)。为了便于处理,本研究将所有数据统一成 30m 分辨率的栅格单元 。考虑到生态系统的完整性,伊犁州和昭苏县的数据均包含其行政区划范围内的兵团土地。

表 1 数据来源与说明

Table 1 Data sources and description

数据类型 Type of data	说明 Introduction	数据来源 Data source
土地利用数据 Land use data	2018 年 30m 分辨率,该数据将伊犁河谷地区的地类划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地 6 大类,共 20 小类	中国科学院资源环境科学与数据中心(https://www.resdc.cn/)
数字高程模型数据 Digital elevation model	30m 分辨率	地理空间数据云(http://www.gscloud.cn/)
气象数据 Meteorological data	多年平均降水量,500m 分辨率	中国科学院资源环境科学与数据中心(https://www.resdc.cn/)
净初级生产力数据 Net primary productivity	1km 分辨率	中国科学院资源环境科学与数据中心(https://www.resdc.cn/)
土壤数据 Soil data	基于世界土壤数据库(HWSD)土壤数据集(v1.2)	国家青藏高原科学数据中心(http://data.tpdc.ac.cn)
社会经济统计数据 Socio-economic statistics	2018 年农林牧渔业产值、主要粮食作物单产、播种面积、主要粮食价格	《新疆统计年鉴》、《中国农产品价格调查年鉴》、《新疆生产建设兵团第四师可克达拉市统计年鉴》

3.2　研究方法

3.2.1　生态源地识别

本研究通过生态系统服务确定生态源地。参照相关研究[16,24],结合伊犁河谷实际情况,按照千年生态系统服务评估(MA)的分类方式,从供给、调节和文化服务 3 个方面选择食物生产、生境质量、碳固持、水源涵养、水土保持、美学景观 6 项重要的生态系统服务(表 2)。

表 2　生态系统服务评价指标体系

Table 2　Ecosystem service evaluation index system

服务类型 Service Type	生态系统服务 Ecosystem services	方法 Methods	基本原理 Basic principle
供给服务 Supply services	食物生产	基于市场的估值	$ESF_i = V \times \frac{S}{S_i}$;式中,$ESF_i$为第 i 类土地利用栅格的年食物生产服务价值;V 为区域农、林、牧、渔业的产值;S 为 1 个栅格单元的面积;S_i为第 i 类土地利用栅格的总面积。
调节服务 Conditioning services	生境质量	Invest 模型	$D_{xj} = \sum_{r=1}^{R}\sum_{y=1}^{Y_r}\left(w_r/\sum_{r=1}^{R} w_r\right) r_y\, i_{rxy}\, \beta_x\, S_{jr}$;$i_{rxy} = 1-\left(\frac{d_{xy}}{d_{r\max}}\right)$(线性衰退);$i_{rxy} = \exp\left(-\left(\frac{2.99}{d_{r\max}}\right) d_{xy}\right)$(指数衰退);$Q_{xy} = H_j\left(1-\left(\frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z + k^z}\right)\right)$;式中,$Q_{xj}$为第 j 类土地利用类型栅格 x 的生境质量,取值 0—1;H_j为第 j 类土地利用类型的生境适合性;D_{xj}为生境退化程度;k 为半饱和系数,一般取 D_{xj}最大值的一半;R 为胁迫因子个数;y 为胁迫因子栅格图层的栅格数;Y_r为胁迫因子所占栅格数;w_r为胁迫因子 r 的权重,表明某一胁迫因子对所有生境的相对破坏力,取值 0—1;r_y为每个栅格上胁迫因子的个数;i_{rxy}为栅格 y 的胁迫因子值 r 对栅格 x 的影响;β_x为栅格 x 的可达性水平;S_{jr}为第 j 类土地利用类型对胁迫因子 r 的敏感性,取值 0—1;d_{xy}为栅格 x 与栅格 y 之间的直线距离;$d_{r\max}$为胁迫因子 r 的最大影响距离。
	碳固持	Invest 模型	$C_{total} = C_{above} + C_{below} + C_{soil} + C_{dead}$;式中,$C_{total}$为总碳储量(t/hm^2);$C_{above}$、$C_{below}$、$C_{soil}$、$C_{dead}$分别为地上生物碳储量(t/hm^2)、地下生物碳储量(t/hm^2)、土壤碳储量(t/hm^2)、死亡有机质碳储量(t/hm^2)。碳密度数据参照相关研究[25]。
	水源涵养	水源涵养服务能力指数	$WR = NPP_{mean} \times F_{sic} \times F_{pre} \times (1-F_{slo})$;式中,$WR$ 为水源涵养服务能力指数;NPP_{mean}为多年植被净初级生产力平均值;F_{sic}为土壤渗流因子;F_{pre}为多年平均降水量因子;F_{slo}为坡度因子。
	水土保持	水土保持服务能力指数	$S_{pro} = NPP_{mean} \times (1-K) \times (1-F_{slo})$;$K = (-0.01383+0.51575\, K_{EPIC}) \times 0.1317$;$K_{EPIC} = \{0.2+0.3\exp[-0.0256\, m_s(1-m_{silt}/100)]\} \times [m_{silt}/(m_c+m_{silt})]^{0.3} \times \{1-0.25\mathrm{org}C/[\mathrm{org}C+\exp(3.72-2.95\mathrm{org}C)]\} \times \{1-0.7(1-m_s/100)/\{(1-m_s/100)+\exp[-5.51+22.9(1-m_s/100)]\}\}$;式中,$S_{pro}$为水土保持服务能力指数;$NPP_{mean}$为多年植被净初级生产力平均值;$K$ 为土壤可蚀性因子;F_{slo}为坡度因子;K_{EPIC}为修正前的土壤可蚀性因子;m_c为土壤粘粒百分比含量(%);m_{silt}为土壤粉粒百分比含量(%);m_s为土壤砂粒百分比含量(%);org$C$ 为土壤有机碳百分比含量(%)。
文化服务 Cultural services	美学景观	生态因子当量法	$E = \frac{1}{7}\sum_{j=1}^{n}\frac{m_j\, p_j\, q_j}{M}$;$P_i = E \times F_i$;式中,$E$ 为 1 个标准当量因子的美学景观价值量(元/hm^2),参考相关研究[26],确定单位面积美学景观价值当量因子;j 为粮食作物种类;m_j为第 j 类粮食作物的播种面积(hm^2);p_j为第 j 类粮食作物的价格(元/kg);q_j为第 j 类粮食作物的单位面积产量(kg/hm^2);M 为 n 种粮食作物的总播种面积(hm^2);F_i第 i 类土地利用类型美学景观价值的当量因子。P_i为第 i 类土地利用类型单位面积的美学景观价值(元/hm^2)。

将综合生态系统服务最高的区域作为生态源地。具体而言,对各个生态系统服务归一化处理,以消除维度影响。然后对 6 项生态系统服务等权叠加,并利用分位数分级的方法对其划分成“高”、“较高”、“中等”、“较低”、“低”5 个等级。将“高”等级的斑块初筛为生态源地备选区。然后根据斑块数量与面积确定斑块的

阈值范围,剔除面积较小的斑块,其余的作为生态源地。

3.2.2 阻力面构建

综合考虑自然因素和社会经济因素,选取景观类型、高程、坡度、距河流距离、距城镇用地距离、距农村居民点距离、距其他建设用地距离 7 个指标构建阻力面(表 3)。阻力值的划分参考相关研究[27—29],各因子权重采用层次分析法(AHP)计算并通过一致性检验。最终通过加权求和法得到综合阻力面。

表 3 阻力因子及阻力值

Table 3 Resistance factor and resistance value

阻力类型 Resistance type	阻力因子 Resistance factors	阻力值 Resistance value					权重 Weight
		1	2	3	4	5	
自然因素	景观类型	林地、水域	草地	耕地	未利用地	建设用地	0.276
Natural factors	高程/m	≤1261	1261—1966	1966—2636	2636—3343	>3343	0.090
	坡度/(°)	≤7	7—15	15—25	25—35	>35	0.196
	距河流距离/km	≤0.1	0.1—0.5	0.5—1	1—1.5	>1.5	0.105
社会经济因素	距城镇用地距离/km	>10	5—10	3—5	1—3	≤1	0.198
Socio-economic factors	距农村居民点距离/km	>5	3—5	1—3	0.5—1	≤0.5	0.052
	距其他建设用地距离/km	>2	1.5—2	1.5—1	0.5—1	≤0.5	0.083

3.2.3 生态廊道提取

生态廊道是生态系统中物质、能源和信息交流的重要路径,对于维持生态过程具有重要意义[30]。本研究通过电路理论模型识别生态廊道,并根据累积阻力阈值确定廊道范围[31]。

4 结果与分析

4.1 尺度整合下的生态源地

食物生产高值区主要集中在昭苏县中部盆地,特克斯河两侧,这里有大片连续的耕地(图 3)。生境质量

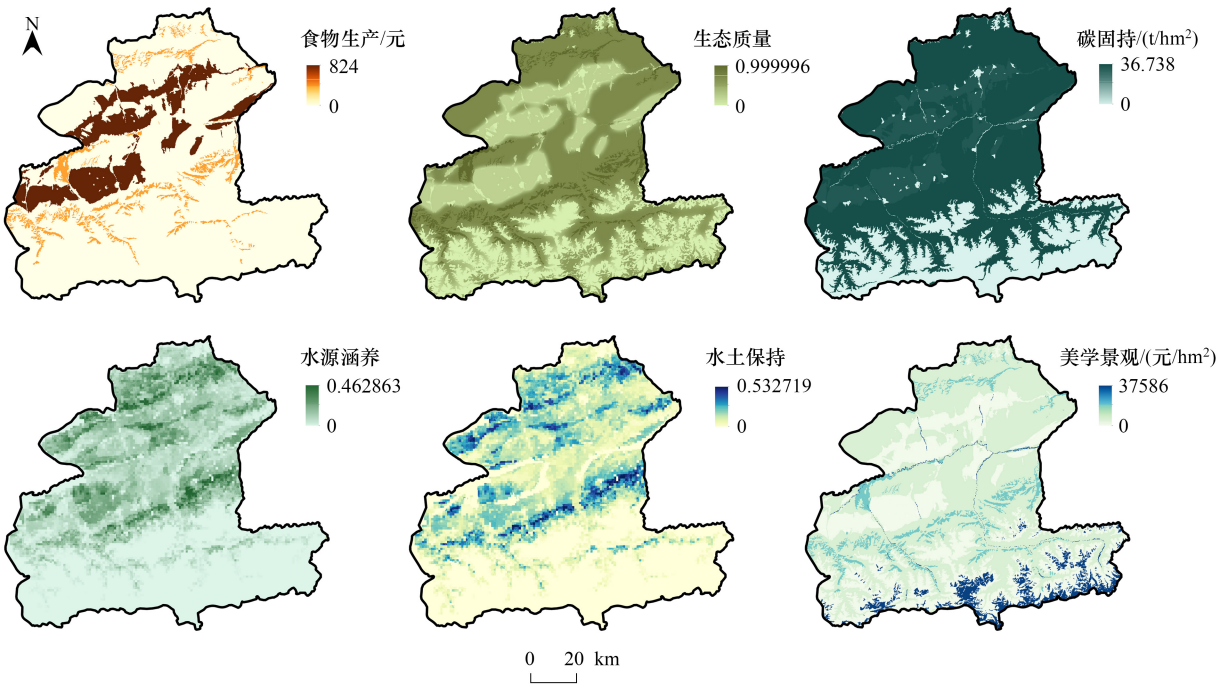

图 3 生态系统服务评价

Fig.3 Ecosystem services assessment

方面,昭苏县平均生境质量指数为 0.53,整体生境质量较好。生境质量高值区主要集中在昭苏县北部和南部林地和草地,中部的耕地生境质量值较低。碳固持方面,昭苏县 2018 年单位面积碳储量为 16.16 t/hm^2,最大地区达到 36.74 t/hm^2。整体而言,昭苏县碳固持能力高值区分布范围较大,低值区主要集中于南部山区,主要是冰川和未利用地。水源涵养功能高值区主要分布在山前林地,其次是草地。水土保持功能的空间格局与水源涵养功能较为类似。美学景观高值区主要集中在南部天山山脉冰川和中部特克斯河附近,低值区集中在中部的耕地和建设用地。

县级尺度下昭苏县生态斑块总数为 4271 个,总面积为 2075.94km^2。随着生态斑块的面积阈值从 3 km^{2}增加到 30 km^2,面积小于阈值的生态斑块数量从 4207 个增加到 4259 个,这些生态斑块的总面积从 302.02km^{2}增加到 754.32km^2(图 4)。在 9km^{2}阈值处时,生态斑块数为 4242 个,占 99.32%,面积为 484.03km^2,占 23.32%。也就是说,大多数生态斑块的面积不到 9km^2,但这些斑块的面积比例很小,可以消除。同样,在 9km^{2}阈值处时,伊犁州生态斑块数为 37778 个,占比 99.73%,面积为 2614.31km^2,占比 23.47%(图 4)。因此,将生态源地斑块的面积阈值设定为 9km^2。两级尺度下,生态源地重叠部分面积达 1586.04 km^2。

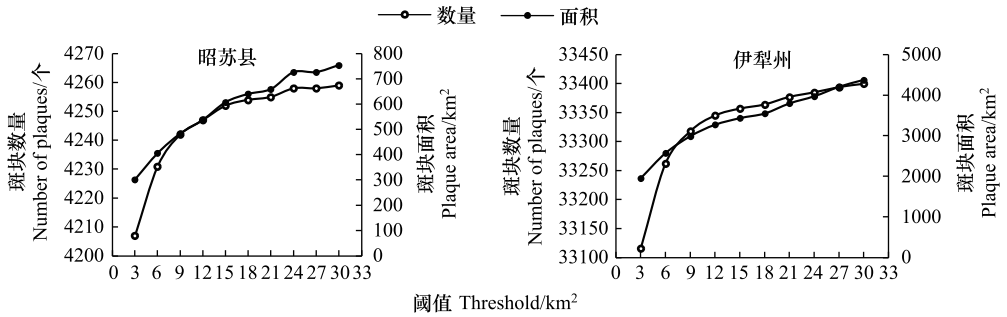

图 4　面积小于等于阈值的斑块数量与面积变化

Fig.4　Number of patches with an area less than or equal to the threshold and change in area

县级尺度下,昭苏县生态源地斑块数为 29 个,面积最小为 10.00km^2,面积最大为 266.82km^2。而州级尺度下,落在昭苏县境内的生态源地斑块数为 24 个,面积最小、最大的斑块面积分别为 9.67km^2、652.06km^2。将县级、州级不同尺度下的生态源地取并集,识别昭苏县生态源地斑块数为 24 个。其中,生态源地斑块面积最小为 9.67km^2,面积最大为 652.40km^2。这表明尺度整合可以减少零散的生态源地斑块(图 5)。整合县级和州级双尺度,昭苏县生态源地 24 个,面积 2504.47km^2,落入昭苏县境内的面积 2215.87km^2,占昭苏县总面积 21.13%。从空间上看,生态源地主要分布于中部盆地以及北部、南部山区,土地利用类型主要为耕地、草地和林地。这里人类活动干扰少,生态系统服务强。在相邻行政区空间范围中,昭苏县存在连绵的跨行政区的生态源地。这些生态源地斑块蔓延至东部的特克斯县、北部的察布查尔锡伯自治县,主要是连续分布的林地和草地。

4.2　阻力面与生态廊道

通过 7 类阻力因子,构建综合阻力面(图 6)。由于自然阻力因子与社会经济阻力因子之间的空间分异差别较大,两者相互补充能更准确地反映生态过程所受的阻碍程度。伊犁河谷的高程和坡度在南北两个谷地和盆地都较低。由于这样的地形特点,人类活动的干扰也集中于此。但是,由于伊犁河谷地广人稀,各类建设用地的干扰范围之间存在着间隙,而间隙间的阻力值较小,给生态过程流动提供可能。各类因子叠加后,喀什河谷地和伊犁—巩乃斯谷地的高阻值区明显多于特克斯—昭苏盆地,这是由于喀什河谷地、伊犁—巩乃斯谷地社会经济活动更密集。

随着阻力阈值的增加,昭苏县生态安全格局面积的比例相应增加(图 7)。参照相关研究[32],结合伊犁河谷地区地广人稀的自然本底特点,考虑到地方经济发展需求,假设生态用地占比不超过区域总面积的 30%,

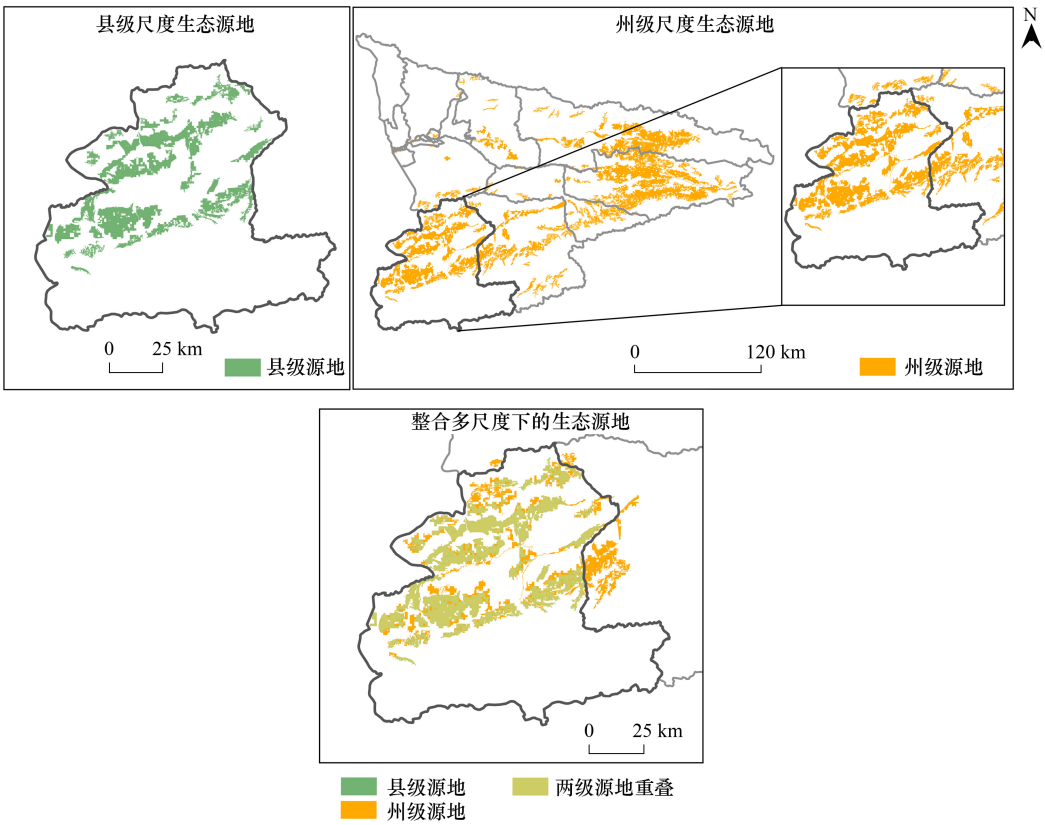

图 5 不同尺度下昭苏县生态源地分布图

Fig.5 Ecological source sites in Zhaosu County at multiple scales

选取 2000 阈值确定廊道的空间范围。共识别出 51 条生态廊道,其中有 1 条廊道位于昭苏县行政区划外不予考虑,确定昭苏县境内共 50 条生态廊道。生态廊道总长度 200.17km,平均长度 4.00km,廊道长度在 0.04—16.97km 之间。生态廊道所覆盖的土地利用类型以草地、耕地和林地为主。

4.3 生态安全格局

本研究将昭苏县行政边界包含或相交的 24 个生态源地斑块和 50 条生态廊道组成不同尺度整合视角下昭苏县生态安全格局(图 8)。整体来看,昭苏县中部盆地和北部乌孙山生态网络密集。昭苏盆地位于《新疆生态功能区划》中的昭苏盆地—特克斯谷地草原牧业生态功能区,它是西部天山草原牧业、针叶林水源涵养及河谷绿洲农业的核心功能区,为区域提供重要的生态系统服务。而乌孙山珍稀物种丰富,拥有各种野生动植物最原始的基因库。此外,乌孙山和天山西北部的生态廊道密度大,表明乌孙山、天山与其周围的生态源地连通性好。而天山东南部生态网络稀疏,与其他区域连通性差,生态网络有待完善。具体而言,除了完全位于昭苏县境内的生态源地斑块, 17 个生态源地斑块与特克斯县相交,主要是连续的林地和特克斯河。1 个生态斑块与察布查尔锡伯自治县相交,是位于乌孙山的连续林地,虽然该生态斑块大面积位于察布查尔锡伯自治县,但其有 3 条生态廊道与县域内其他生态源地斑块相通。这说明该生态斑块与县域其他生态斑块间联系密切。此外,48 条生态廊道完全位于昭苏县县域内,2 条生态廊道经过察布查尔锡伯自治县。

对比不同尺度下的生态安全格局(图 9),州级尺度下生态源地主要分布于喀什河谷地和伊犁—巩乃斯谷地的东部、特克斯—昭苏盆地,喀什河谷地和伊犁—巩乃斯谷地西部由于社会经济活动剧烈,生态源地较少。这表明,喀什河谷地和伊犁—巩乃斯谷地东部和特克斯—昭苏盆地对整个伊犁河谷的生态安全贡献很大。这也使得昭苏县与伊犁河谷其他区域,尤其是喀什河谷地和伊犁—巩乃斯谷地西部的生态交流密切。

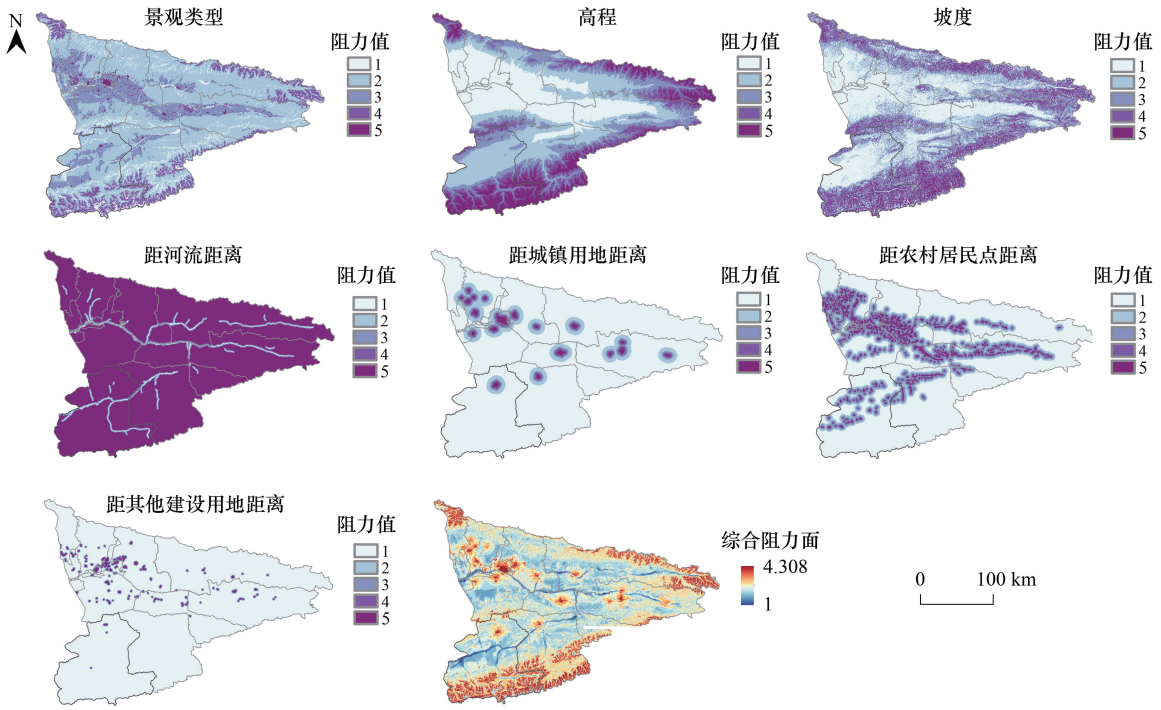

图 6　阻力面

Fig.6　Resistance surface

4.4　生态保护修复策略

建议昭苏县以生态安全格局为基础,识别重要的生态保护修复区域。生态源地具有较强的生态系统服务能力,为区域生态安全发挥着举足轻重的作用。而生态廊道作为沟通生态源地间物种、能量与信息传递的生态要素,以提高景观连通性。因此,生态源地是重要的生态保护区域,而生态廊道由于易受干扰是重要的生态修复区域。此外,公路、铁路等各种线性公共设施与生态源地和生态廊道交汇的区域会割裂生态源地和生态廊道,影响生态要素流通,是重要的生态修复节点,建议及时建设一些人工绿道和绿楔等加以修复。对于跨区域的生态源地,应与特克斯县和察布查尔锡伯自治县积极协调,妥善处理好跨区域生态源地斑块保护与生态廊道建设维护。

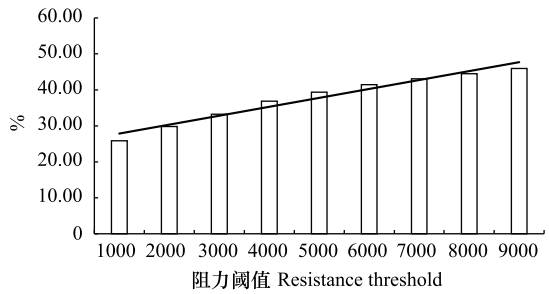

图 7　不同阻力阈值下昭苏县生态安全格局面积百分比

Fig.7　Percentage area of ecological security pattern in Zhaosu County under different resistance thresholds

5　讨论

不同尺度下生态安全格局空间幅度的错位与主体结构的脱节导致生态安全格局难以落实。空间幅度的错位造成生态源地的割裂,主体结构的脱节造成生态系统内在机制不畅。一方面,这影响生态安全格局的系统性,不利于发挥其作用;另一方面,也影响生态安全格局路径优化的合理性[33]。而造成这种问题的原因是因为不同等级的区域范围内生态系统服务供需不均衡。此外,从构建方法的角度来看,由于生态斑块在不同等级行政区上重要性等级的不同也会导致生态源地选择有所差异。本研究通过整合不同尺度的生态源地及生态廊道构建昭苏县生态安全格局,旨在解决不同行政等级尺度下的生态安全格局构建出现的空间结构错位脱节问题。

参考相关研究[12],采用生态源地斑块数、平均斑块面积、最大斑块面积、生态廊道数量、生态廊道平均长度5个指标,将整合不同尺度下的生态安全格局与单一尺度下生态安全格局的构建进行比较(表4)。经对比分析,在昭苏县县级尺度下通过开展生态系统服务功能评价得到的生态源地数量比伊犁州尺度下多5个,但平均斑块面积和最大斑块面积分别要小49.22km^{2}和385.24km^2。而整合州、县两级尺度后,昭苏县共确定生态源地24个,平均斑块面积104.35km^2,最大斑块面积652.40km^2。整合不同尺度的生态源地斑块数量更少,面积更大。这是由于州级尺度的生态源地与县级尺度的生态源地合并导致的。此外,在昭苏县县级尺度下运用电路理论模型共确定生态廊道60条,平均长度5.30km。而伊犁州州级尺度下生态廊道比县级更精简,落在昭苏县的生态廊道56条,平均长度5.19km。整合这两级尺度共构建生态廊道50条,比州级的少了6条,平均长度比州级的少了1.19km,数量和长度都减少了,这说明该方法避免了不同尺度下生态廊道的冗余。由此可见,整合视角下构建昭苏县生态安全格局能显著改善生境破碎化,提高景观连通性。

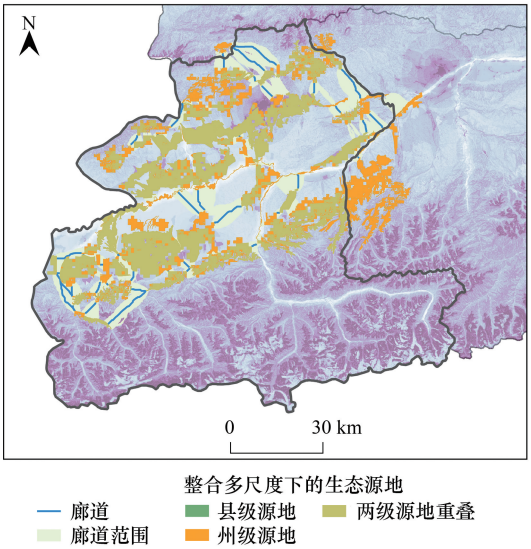

图8 整合不同尺度的昭苏县生态安全格局图

Fig.8 Integrating a multi-scale ecological security pattern in Zhaosu County

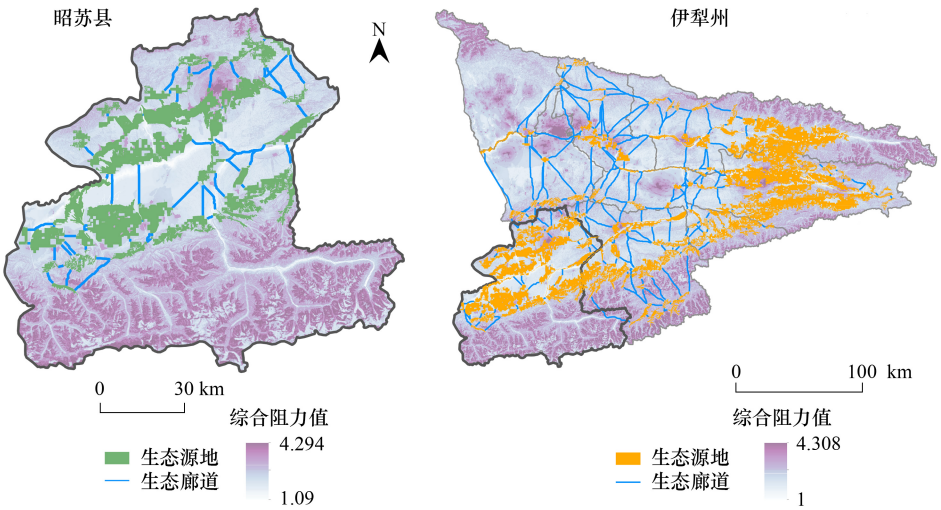

图9 不同尺度下的生态安全格局图

Fig.9 Map of ecological security patterns at different scales

表4 不同尺度下生态安全格局的景观指标

Table 4 Landscape indicators of ecological safety patterns at different scales

指标 Landscape metrics	整合不同尺度 Integrating multiple scales	县级尺度 County scale	州级尺度 State Scales
生态源地斑块数 Number of patches in ecological source areas	24	29	24
平均斑块面积 Average plaque area /km^2	104.35	54.89	104.11
最大斑块面积 Maximum plaque area /km^2	652.40	266.82	652.06
生态廊道数量 Number of ecological corridors	50	60	56
生态廊道平均长度 Average length of ecological corridors /km	4.00	5.30	5.19

整合不同尺度下的生态安全格局构建比单一尺度下在生态源地的识别和生态廊道的提取上都具有优势(表 5)。此外,在具体实践管理中,尺度整合视角下的生态安全格局构建能更好的落地实施。县级及以上行政区划等级的生态需求最终都要落在县级的建设管理上。同时,也避免了生态源地保护的割裂和生态廊道建设的冗余。

表 5　不同尺度下生态安全格局对比

Table 5　Comparing patterns of ecological security at different scales

对比内容 Comparison	单一尺度 Single scale	整合不同尺度 Integrating multiple scales
生态源地 Ecological source	空间性:仅能满足单一尺度下生态需求 数量形态:小而散	空间性:可以满足不同尺度的生态需求 数量形态:大且少
生态廊道 Ecological corridor	空间性:不同行政区划等级的生态廊道相互错杂 连通性:与其他地区相近的生态源地无交流	空间性:整合不同尺度下生态廊道更少 连通性:加强了不同行政区划等级下生态源地的连通性
生态安全格局 Ecological security pattern	制度建设:两级生态保护空间范围不一致,难以协调其他空间的规划 工程措施:两级廊道不重叠,建设难以落地	制度建设:明确了生态保护空间范围 工程措施:明确了廊道建设范围

6　结论

通过整合伊犁州州级和昭苏县县级两级行政区划尺度,构建昭苏县生态安全格局。并探讨了不同行政等级下昭苏县生态安全格局变化情况,及其与整合不同尺度视角下昭苏县生态安全格局的对比。本研究通过食物生产、生境质量、碳固持、水源涵养、水土保持、美学景观 6 项重要的生态系统服务评价,在两级行政区划整合视角下,共确定了 24 个生态源地斑块,并通过电路理论模型识别了 50 条生态廊道。与单一尺度下生态安全格局构建相比,尺度整合视角下生态安全格局构建可以避免区域间生态源地的不连续,并且能够更有效的确定生态廊道,避免生态廊道冗余。本研究在一定程度上揭示尺度差异下生态安全格局的变化,并寻求构建多行政区划尺度下最优生态安全格局的途径。

不同行政区划等级下的生态安全格局构建存在差异。本研究以生态系统服务评价确定生态源地,构建综合阻力面并采用电路理论模型识别生态廊道,整合县级和州级两级尺度构建昭苏县生态安全格局。但仍然存在一些不足。首先,本研究仅考虑了生态系统服务供给的尺度变化,而不同等级的行政区域内和区域间的生态需求也不相同,但由于数据获取原因本文并未考虑生态系统服务的需求侧,这将是后续改进和完善的研究方向。此外,本研究仅仅关注行政区划尺度的变化,能否将自然边界尺度纳入研究也值得考虑。

参考文献(References):

[1] 叶玉瑶, 张虹鸥, 任庆昌, 宫清华, 吕丹娜, 刘郑倩, 李升发. 省级国土空间生态修复规划编制的思路与方法——以广东省为例. 热带地理, 2021, 41(4): 657-667.

[2] 周妍, 陈妍, 应凌霄, 杨崇曜. 山水林田湖草生态保护修复技术框架研究. 地学前缘, 2021, 28(4): 14-24.

[3] 王志芳, 高世昌, 苗利梅, 罗明, 张禹锡, 徐敏. 国土空间生态保护修复范式研究. 中国土地科学, 2020, 34(3): 1-8.

[4] 傅伯杰. 国土空间生态修复亟待把握的几个要点. 中国科学院院刊, 2021, 36(1): 64-69.

[5] 彭建, 吕丹娜, 董建权, 刘焱序, 刘前媛, 李冰. 过程耦合与空间集成: 国土空间生态修复的景观生态学认知. 自然资源学报, 2020, 35(1): 3-13.

[6] Gao M W, Hu Y C, Bai Y P. Construction of ecological security pattern in national land space from the perspective of the community of life in mountain, water, forest, field, lake and grass: a case study in Guangxi Hechi, China. Ecological Indicators, 2022, 139: 108867.

[7] 张漾文, 苏腾, 张富刚, 李凯, 刘烜赫. 新时期我国国土空间生态修复理念与模式探讨. 应用生态学报, 2021, 32(5): 1573-1580.

[8] 彭建, 赵会娟, 刘焱序, 吴健生. 区域生态安全格局构建研究进展与展望. 地理研究, 2017, 36(3): 407-419.

[9] Guo M, Cong X, Zheng H, Zhang M J, Wang L J, Gong J W, Ma S. Integrating the ordered weighted averaging method to establish an ecological

security pattern for the Jianghuai ecological economic zone in China: Synergistic intraregional development. Ecological Indicators, 2022, 135: 108543.

[10] 方莹, 王静, 黄隆杨, 翟天林. 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. 自然资源学报, 2020, 35(1): 190-203.

[11] 张豆, 渠丽萍, 张桀滈. 基于生态供需视角的生态安全格局构建与优化——以长三角地区为例. 生态学报, 2019, 39(20): 7525-7537.

[12] Dong J Q, Peng J, Xu Z H, Liu Y X, Wang X Y, Li B. Integrating regional and interregional approaches to identify ecological security patterns. Landscape Ecology, 2021, 36(7): 2151-2164.

[13] 倪庆琳, 丁忠义, 侯湖平, 贾宁凤, 王慧. 基于电路理论的生态格局识别与保护研究——以宁武县为例. 干旱区资源与环境, 2019, 33(5): 67-73.

[14] 陈影, 哈凯, 贺文龙, 王志涛, 冯菲, 门明新, 丁庆龙. 冀西北间山盆地区景观格局变化及优化研究——以河北省怀来县为例. 自然资源学报, 2016, 31(4): 556-569.

[15] 王正伟, 王宏卫, 杨胜天, 刘勤, 高一薄, 衡嘉尧, 张惠婷. 基于生态系统服务功能的新疆绿洲生态安全格局识别及优化策略——以拜城县为例. 生态学报, 2022, 42(1): 91-104.

[16] 孙枫, 章锦河, 王培家, 魏国恩, 储光, 曹禹. 城市生态安全格局构建与评价研究: 以苏州市区为例. 地理研究, 2021, 40(9): 2476-2493.

[17] 李久林, 徐建刚, 储金龙. 基于 Circuit 理论的城市生态安全格局研究——以安庆市为例. 长江流域资源与环境, 2020, 29(8): 1812-1824.

[18] 马世发, 劳春华, 江海燕. 基于生态安全格局理论的国土空间生态修复分区模拟——以粤港澳大湾区为例. 生态学报, 2021, 41(9): 3441-3448.

[19] Shen Z, Wu W, Tian S Q, Wang J. A multi-scale analysis framework of different methods used in establishing ecological networks. Landscape and Urban Planning, 2022, 228: 104579.

[20] 毛诚瑞, 代力民, 齐麟, 王炎, 周旺明, 周莉, 于大炮, 赵福强. 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. 生态学报, 2020, 40(18): 6486-6494.

[21] Yu H R, Wang Y Z, Chan E M, Fan X, Rong Y J, Zhang Q, Liang Z. Construction of ecological network based on multi-scale conversion and nesting. Water, 2021, 13(9): 1278.

[22] 荣月静, 严岩, 赵春黎, 朱婕缘, 郑天晨, 王辰星, 卢慧婷, 章文. 基于生态系统服务供需的景感尺度特征分析和应用. 生态学报, 2020, 40(22): 8034-8043.

[23] 马琳, 刘浩, 彭建, 吴健生. 生态系统服务供给和需求研究进展. 地理学报, 2017, 72(7): 1277-1289.

[24] Jiang H, Peng J, Dong J Q, Zhang Z M, Xu Z H, Meersmans J. Linking ecological background and demand to identify ecological security patterns across the Guangdong- Hong Kong - Macao Greater Bay Area in China. Landscape Ecology, 2021, 36(7): 2135-2150.

[25] 刘洋, 张军, 周冬梅, 马静, 党锐, 马靖靖, 朱小燕. 基于 InVEST 模型的疏勒河流域碳储量时空变化研究. 生态学报, 2021, 41(10): 4052-4065.

[26] Li P H, Zhang R Q, Xu L P. Three-dimensional ecological footprint based on ecosystem service value and their drivers: a case study of Urumqi. Ecological Indicators, 2021, 131: 108117.

[27] Han Y, Yu C Y, Feng Z, Du H C, Huang C S, Wu K N. Construction and optimization of ecological security pattern based on spatial syntax classification—taking Ningbo, China, as an example. Land, 2021, 10(4): 380.

[28] Dai L, Liu Y B, Luo X Y. Integrating the MCR and DOI models to construct an ecological security network for the urban agglomeration around Poyang Lake, China. Science of the Total Environment, 2021, 754: 141868.

[29] Wei S M, Pan J H, Liu X. Landscape ecological safety assessment and landscape pattern optimization in arid inland river basin: take Ganzhou District as an example. Human and Ecological Risk Assessment: an International Journal, 2020, 26(3): 782-806.

[30] Huang J M, Hu Y C, Zheng F Y. Research on recognition and protection of ecological security patterns based on circuit theory: a case study of Jinan City. Environmental Science and Pollution Research, 2020, 27(11): 12414-12427.

[31] Peng J, Yang Y, Liu Y X, Hu Y N, Du Y Y, Meersmans J, Qiu S J. Linking ecosystem services and circuit theory to identify ecological security patterns. Science of the Total Environment, 2018, 644: 781-790.

[32] 袁媛, 白中科, 师学义, 赵雪娇, 张嘉楠, 杨博宇. 基于生态安全格局的国土空间生态保护修复优先区确定——以河北省遵化市为例. 生态学杂志, 2022, 41(4): 750-759.

[33] 朱捷, 苏杰, 尹海伟, 孔繁花. 基于源地综合识别与多尺度嵌套的徐州生态网络构建. 自然资源学报, 2020, 35(8): 1986-2001.