

国土空间生态修复分区研究进展

蒲 惠

西南民族大学公共管理学院, 四川 成都

收稿日期: 2023年3月8日; 录用日期: 2023年4月20日; 发布日期: 2023年4月29日

摘 要

研究目的: 通过对国土空间生态修复分区方面相关研究的梳理, 可以为生态系统保护、修复和可持续发展提供理论支持和科学依据。**研究方法:** 文献梳理法、对比研究法和归纳演绎法。**研究结果:** 国土空间生态修复分区的研究主要分为三方面, 即生态安全格局、生态系统服务以及综合指标体系。生态安全格局构建为源地识别、阻力构建和廊道提取, 生态系统服务从供需角度和重要性、脆弱性角度评价, 综合指标体系主要有VORS模型、“自然立地条件-主导生态功能-生态胁迫问题”框架和适应性循环模型等。**研究结论:** 国土空间生态修复分区指标的选择应更具全面性, 使用多源数据全面评价生态系统, 从定性和定量结合的角度, 诊断生态系统存在的问题, 实现跨区域生态系统保护修复。

关键词

国土空间, 生态修复分区, 生态安全格局, 生态系统服务, 综述

Research Progress in Ecological Restoration Zoning of Territorial Space

Hui Pu

School of Public Management, Southwest Minzu University, Chengdu Sichuan

Received: Mar. 8th, 2023; accepted: Apr. 20th, 2023; published: Apr. 29th, 2023

Abstract

Research Purpose: Through sorting out the relevant research on ecological restoration zoning of land space, it can provide theoretical support and scientific basis for ecosystem protection, restoration and sustainable development. **Research Methods:** Literature review, comparative research and induction and deduction. **Research Results:** The research on ecological restoration zoning of land space is mainly divided into three aspects, namely ecological security pattern, ecosystem services and comprehensive indicator system. The construction of ecological security pattern in-

cludes source identification, resistance construction and corridor extraction. The ecosystem services are evaluated from the perspective of supply and demand, importance and vulnerability. The comprehensive indicator system mainly includes VORS model, the framework of “natural site conditions-dominant ecological functions-ecological stress problems” and the adaptive cycle model. **Research Conclusion:** The selection of regional indicators for ecological restoration in territorial space should be more comprehensive, and multi-source data should be used to comprehensively evaluate the ecosystem, diagnose the problems of the ecosystem from the perspective of qualitative and quantitative combination, and achieve cross-regional ecosystem protection and restoration.

Keywords

Territorial Space, Ecological Restoration Zoning, Ecological Security Pattern, Ecosystem Services, Overview

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

新中国成立以来,我国在经济飞速发展的同时,对生态问题的重视程度也不断在提升。从上世纪开始,我国便进行了生态重建,通过对三北防护林[1]的建设以防止沙漠化,积极推行退耕还林治理水土流失[2]等。但是对于国土空间的开发,不同区域实行不同的策略,部分区域虽生态环境不断向好,但仍有大部分国土空间存在开发强度过大的问题,当地生态安全问题迫在眉睫。特别是这个快速城市化的阶段,城市土地面积不断增加,生态空间的面积不断被压缩。

生态修复领域相关的研究最早由国外开始,工业革命后,国外学者更聚焦于对于生态系统的研究[3]。生态分区方案最先由美国学者 Bailey 提出[4],后由 Omernik 进行完善[5]。21 世纪初,大自然保护协会(TNC)与世界野生动物基金会(WWF)联合发布的全球陆地生态区划方案[6],更是对生态修复分区进行了规范。我国相关研究起步较晚,初期的分区更多基于地理自然生态系统[7],之后的研究也更多关注在单一生态系统的修复,例如矿山生态修复和水土保持生态修复等等。国外对于生态修复分区的研究更多关注于人与自然的关系以及全球气候的变换[8],我国受欧美研究的影响,将生态修复分区的理念与我国国土实际情况相结合进行研究,生态修复分区的类型从特征转为地理,进而变成功能[6],方法逐步趋于成熟。

生态系统长期存在的问题对社会经济的影响不可忽视,国土空间生态修复分区有助于全方位地促进区域协同治理,更好地解决人地矛盾,治理生态系统。2020 年印发的《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021~2035 年)》[9],正式表明了目前我国对于生态修复整体性、系统性、综合性的重视。国土空间生态修复分区统筹协调各类生态修复工程实现有机结合,对响应生态文明战略、推动国土空间生态修复具有较强的理论和实践参考价值[10]。国土空间生态修复分区是进行国土空间生态保护和修复的首要前提。

目前对于国土空间生态修复的研究仍有不足,对于生态修复分区方法的研究非常多样,不同方法的侧重点也有所不同,而相关研究则更多使用单一方法。因此,本文通过对国内外相关文献进行梳理,从三个方面对国土空间生态修复分区的研究进行梳理和对比,即生态安全格局、生态系统服务以及综合指标体系,分析不同分区方法之间的优劣,从而更有助于针对性地选择适合的分区方法,提出未来国土空

间生态修复分区的研究趋势，为国土空间生态修复相关研究提供参考。

2. 生态安全格局构建

作为国土空间修复的主要手段，生态安全格局的研究较为成熟。首先识别出生态源地，其次构建出生态阻力面，最后提取出生态廊道，主要采用土地利用现状类型数据等[11]。

2.1. 源地识别

在国土空间生态修复分区的研究中，对于生态源地的识别应是科学的、严谨的，识别的精准程度直接决定了分区结果的准确性。基于生态安全格局的源地识别方法通常有综合评价法[12]、直接识别法[13]。其中，粒度反推法可利用高精度数据分析连通性，从而识别出生态源地[14]。

对于国土空间生态修复分区的研究，通常还可以结合景观结构进行分析。形态学空间格局分析方法(MSPA)和 InVEST 模型结合的研究，具有明显地域性，能更好地维护对应城市的生态安全，促进区域内人与自然是和谐共生。MSPA 以数学形态学原理为基础[15] [16] [17]，近年来得到广泛应用[14] [18]。InVEST 模型以景观功能属性为基础，对生态系统的生境质量和固储碳等服务功能进行定量评估。二者相结合，从景观结构和生态系统服务功能两方面进行生态源地识别[19]。

MSPA 将土地利用栅格图像分为七类互斥的景观要素，将林地、水域作为前景要素，使用 Guidos Toolbox 八邻域分析法，得到核心区，即潜在生态源地，使用生境质量评估修正潜在生态源地[16]。以连通性指数(PC)和斑块重要性指数(dPC)为基础，分析斑块重要性，对已修正的生态源地斑块进行优先级划分[20]，具体划分为三类，即核心生态源地、重要生态源地和一般生态源地。MSPA 获得景观连通性，计算各斑块重要性 dPC 进行生境质量评估[21]。生态系统服务价值采用中国生态系统服务价值当量因子表[22]，从供给、调节、支持和文化服务四个方面[23]测算。

生态修复研究多关注微观层面[24] [25] [26]，在宏观层面中，生态源地的识别从景观连通性、生态保护重要性等入手[27]。还可由人类足迹得出，评估基于人类足迹的人类对生态系统的干扰，从而构建生态源地斑块[28]。

2.2. 阻力构建

阻力的大小受人类和自然的影响，阻力越大，物种流动性越差，对生态系统有负面影响。生态阻力面的构建可采用源地扩展阻力评价指标体系，选取地形、土地、生物格局以及区域交通四类因子，指标均各自分为五级[29]。使用修正最小累积阻力模型[30]得到生态源地的最小累积阻力值。

生境质量的反比辅以夜间灯光数据亦可构建阻力面[16]，据斑块土地利用类型，赋以阻力系数，使用 MCR 模型得出生态源地间的最小成本路径[31]，表示可能存在有路径耗费成本最小，使用电路理论获取阻力面[24]。从人类足迹的角度来说，人类足迹指数的高低同样可以反映生态系统的健康程度[32]，从而构建出生态阻力面。

2.3. 廊道提取

生态廊道的主要功能在于可以连接斑块，将分散的源地连接起来可以有效增强物种的流动性，对生态系统功能大有裨益。对于生态廊道的提取，研究普遍采用电路理论。电阻较小的路径即生态廊道，使用 Linkage Pathways Tool 识别，或可利用电荷随机游走特性识别[18] [25]。在景观结构的视角，使用单位距离连通性得出生态廊道，将生态廊道划分为三类[24]，即关键生态廊道、重要生态廊道、一般生态廊道。

生态“夹点”是生态廊道中电流密度较高的区域[33]，说明该地区是国土空间生态修复的重点区域，

是区域景观连通的关键节点,防止生态源地退化。根据电流的高低使用自然断点法获得,或由 Pinchpoint Mapper 模块识别。消除生态障碍点,增加生态源地间的流通性[34],通过 Barrier Mappergi 工具和自然断点法获得。生态断裂点是廊道上非连续处的间隙点[35],一般为交通线路或者矿山等[18]。

基于生态安全格局的国土空间生态修复分区,一般结合以上三个阶段逐步判定,不同区域的分类标准各有不同。生态修复关键区域可以分为极重要生态修复区以及重要生态修复区[16]。也可建立生态修复分区评价指标,从人口密度、森林覆盖率等方面,运用 Yaahp 结合层次分析法(AHP)计算权重,通过 GIS 计算国土空间生态修复综合指数,从而划定生态修复区、控制区、提升区以及保育区[24]。生态保育区一般为生态源地及其他生态用地,部分研究的分区增加了生态改善区,并分为三类,即高级、中级和低级改善区[18]。不仅限于对生态源地进行分区,还可对生态廊道以及生态夹点划定修复优先区,修复优先区[25]。

3. 生态系统服务评价

生态系统服务是指人类从生态系统中获取的可以惠及自身的利益,可以有效连接生态系统功能与人类的福利,它能直观反应生态系统功能的重要程度。

3.1. 生态系统服务供需视角

从生态系统服务供需视角切入研究国土空间生态修复的分区,纳入人类活动的影响,更好地解决人地矛盾。这种分区方法能够表现出生态系统服务在不同区域内的特征,有利于提高生态修复的针对性和实效性。在生态系统服务供给指标方面,选取水源涵养、土壤保持、固碳、台风灾害防护服务,需求指标选取人口密度、经济水平、土地开发程度综合表达[36]。

通过象限划分方法分析生态系统服务供给与需求空间匹配情况,划分出四种供需匹配状态象限:高供给高需求,即生态预防治理区;低供给高需求,即生态重点修复区;低供给低需求,即生态综合提升区;高供给低需求,即生态重点保育区[33]。生态系统服务供需匹配情况为空间错位型、空间匹配型,能反映人类生活与生态环境之间的匹配程度,即自然与社会系统间的关系。

3.2. 生态系统服务“重要性-脆弱性”框架

对于国土空间生态保护与修复的研究,通常的研究方法主要聚焦于生态保护或者生态修复单方面,较少考虑生态保护与生态修复结合进行分析,使得二者存在一定的割裂,然而实际情况中,生态保护与生态修复既有联系也有所不同,但生态保护与生态修复同样重要,构建基于“重要性-脆弱性”的国土空间生态保护修复分析框架,不仅保护生态极脆弱的生态系统,保障生态系统空间局面上的连续性,而且治理受到破坏的生态系统,保障生态系统的有效恢复和稳定[37]。将生态系统服务的评估与生态脆弱性合并研究,能更好地从整体性、系统性出发研究生态系统功能的重要性与生态脆弱性的格局。

生态系统服务价值评价即 ESV 评价,以供给、调节、支持和文化服务四个方面进行阐释。随后进行生态脆弱性评价及障碍因子诊断。在 VSD 脆弱性评估框架的基础上,从敏感性、暴露性和适应性三个准则层对生态脆弱性进行评判,使用层次分析法确定 22 个指标的权重。准则层的得分使用多因素综合评价模型[38]求取,通过暴露性与敏感性的总和减去适应性得出的即为生态脆弱性的综合得分。使用“偏离度”(P_i)和“障碍度”(A_{ij})模型进行障碍因子的诊断和评估。最后使用 GIS 进行空间分析,结合前期进行的生态系统服务价值、生态脆弱性分布以及障碍因子的分析,将生态保护重点区域与生态修复重点区域的空间进行集成与综合分区,最终分为五类,即源地保护区、自然修复区、人工修复区、生态重建区和适度发展区[37]。

4. 综合性指标体系评价

国土空间生态修复对象从单一转变为全局，修复尺度也从微观转向宏观，对于国土空间生态修复分区而言，要更加注重生态系统和景观格局双重属性的宏观把控，从整体出发系统地建立框架体系。

4.1. “生态系统活力 - 生态系统组织力 - 生态系统弹性 - 生态系统服务力”模型

建立“生态系统活力 - 生态系统组织力 - 生态系统弹性 - 生态系统服务力”(VORS)模型，构建生态系统健康评价指标体系[10]。使用景观格局数据，测算生态系统健康值来判断每个网格中的生态系统是否需要修复以及修复的程度和方向。利用自然断点法对生态系统健康值断点，从而得到初步分区结果，进行适当的边缘润滑处理，自下而上地通过聚类方法形成国土空间生态修复的分区结果，形成空间上较为集聚的修复分区。

运用 TOPSIS 计算生态系统健康指数(EHI)，值越大生态系统越健康，反之则越需进行生态修复。最终将国土空间生态修复区域划分为五类，即生态系统保育区、生态系统提升区、生态系统缓冲圈、生态系统改良圈和生态系统重塑圈[10]。VORS 模型可实现跨行政区国土空间生态修复，更好契合生态系统的完整性，从而可以针对性地提升生态保护修复效果。

4.2. “自然立地条件 - 主导生态功能 - 生态胁迫问题”框架

“自然立地条件 - 主导生态功能 - 生态胁迫问题”三级的生态修复分区框架中，一级分区关注自然资源禀赋条件，二级分区关注生态系统服务，三级分区关注生态敏感问题。一级分区依据地貌类型，同时结合植被类型空间分布等划定；二级分区识别主导生态功能，使用了四个指标，即水源涵养、土壤保持、生物多样性保护和粮食供给，分别使用水量平衡方程、RUSLE 模型、InVEST 模型生境质量模块以及空间插值分配法获得数据，同时使用自然断点法将四项生态功能分别划分为五个等级。三级分区则识别生态修复重点区域。最后使用图层叠加法进行空间叠加处理，进行融合校核后，获得生态修复三级分区[39]。

以地域分异特征、主导生态功能、典型生态问题为基础依据，典型区域由宏观特征进行区划，主导生态功能分为生态功能重要性和敏感性，结合“三区三线”“双评价”的结果进行综合评价，典型生态问题从“三生”空间面临的实际问题归纳[3]。采用多因素综合空间分析法，实现国土空间生态修复三级分区，为生态系统大区、亚区、小区三个级别[3]。

4.3. 基于适应性循环模型的分析框架

国土空间生态修复包含人工修复和自然恢复[40]，Zhang 等[41] [42]提出了适应性循环模型，核心内容为“3 维度-4 阶段”，即系统具有潜力、连通度和韧性三维属性，经历开发(r)、保护(K)、释放(Ω)和重组(α)四阶段的适应性循环过程。“潜力”指标关于生态系统生物量、物质生产和提供生态系统服务的能力，“连通度”关于景观格局和人类活动对连通度的影响，“韧性”则关于国土空间系统的状态、压力和决策响应。将各时段对应到适应性循环周期的各个阶段，针对区域特色，增加协调开发阶段(Ir 阶段)，国土空间生态修复区由此分为四类[42]，即生态修复区、控制区、保育区和提升区。

5. 结论与展望

5.1. 结论

关于国土空间生态修复分区的研究，从三个方面进行，即生态安全格局构建、评价生态系统服务以及建立综合性评价指标体系。生态安全格局的构建分为三个步骤依次提取，主要取决于研究区域的特征，

例如地形地貌、经济条件以及植被类型等等。从生态系统服务的角度研究生态修复分区问题,更具有针对性;从人与自然和谐共生出发对生态系统服务功能进行评价,使用数据涵盖范围较窄,不能全方位、全要素评价。综合性评价指标体系的构建,旨在对生态系统进行多方位的评价,从而得出更为准确的分区结果,其中一些分析框架则包含了生态系统服务评价,从多尺度生态功能和要素的角度进行评价。

在生态安全格局方面,研究方法应结合当地实际情况进行确定,选取更符合当地特色的指标,例如对于岛屿的生态修复分区需考虑海洋对其的影响。生态源地还需结合多方面因素进行识别,单一方法提取会忽略一些生态系统亟待修复的小斑块。在生态系统服务方面,对于指标变量的选择应更具全面性,从全方位选取更精确的对于人类关于生态系统服务的供给和需求。综合性评价指标体系的构建还需使用多源数据,结合土地利用数据和社会经济发展数据等等,更全面地评价生态系统,诊断生态系统存在的问题[10]。而对于评价指标的选取,还应考虑已进行生态保护修复措施区域的实施效益,对分区实施政策的实践效果进行研究,总结经验教训。

5.2. 展望

对于国土空间生态修复分区,大多以一期数据为底进行研究,未来可获取多时期数据。对区域生态修复分区进行时空格局演变的研究,可从动态特征着手,分析不同阶段生态修复区域类型的变化,结合对应时期的实施政策背景、社会经济数据等。基于时间序列进行的研究,还可以对未来进行预测,模拟区域的分区变化规律,预测未来分区走向,做出更严谨的生态保护修复措施。

由于热岛效应和高频次的人类活动,城镇生态系统面临的问题更大,未来应重视对于城市群生态系统的保护修复,不能直接沿用其他生态系统的策略方法。对于一些资源枯竭型和衰退型城市,城市功能的转变十分重要,国土空间生态修复的方向决定了该地区未来发展的模式,未来应结合当地的发展规划,资源分布以及耗损程度综合分区。对于农业空间的生态修复分区,更要与乡村振兴有机联合,不仅要重视生态功能,还需保障乡村地区的社会经济需求。

未来还需要考虑国土空间生态修复分区的可操作性,不可脱离实际,应立足于自然条件、社会经济和政策背景等等。同时,还应关注到实行生态修复的顺序,特别是哪些区域应优先修复。生态系统间具有连通性,不可割裂地看待各生态系统,需考虑到互相的影响。因此,国土空间生态修复分区的研究,不应局限于省域或市域等,对于互相影响联系的生物群落应统一进行研究,形成不同尺度地理单元的分区体系[42],实现跨区域生态系统保护修复。

基金项目

中央高校(西南民族大学)基本科研业务费专项资金项目(2022SYJSCX48)。

参考文献

- [1] 程丽芬. “一带一路”发展战略下三北防护林工程建设策略研究——以山西省为例[J]. 林业经济, 2017, 39(9): 53-56.
- [2] 李雅男, 朱玉鑫, 侯孟阳, 等. 中国退耕还林研究的知识基础及其演进——基于 CiteSpace V 的知识图谱分析[J]. 林业经济, 2020, 42(9): 15-26.
- [3] 蔡海生, 查东平, 张学玲, 等. 基于主导生态功能的江西省国土空间生态修复分区研究[J]. 地学前缘, 2021, 28(4): 55-69.
- [4] Bailey, R.G. (1976) Ecoregions of the United States (1:7500000 Colored). USDA Forest Service, International Region, Ogden, UT.
- [5] Omernik, J.M. (1987) Ecoregions of the Conterminous United States. *Annals of the Association of American Geographers*, 77, 118-125. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1987.tb00149.x>

- [6] 王鹏. 喀斯特地区国土空间生态修复分区及策略研究——以贵州猫跳河流域为例[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2021.
- [7] 兰梦婷. 湖北省土地生态分区及其整治策略研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2018.
- [8] 何庆港. 基于主导生态功能的赣江流域国土空间生态修复分区研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 江西农业大学, 2022.
- [9] 国家发展改革委, 自然资源部. 关于印发《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021-2035年)》的通知[EB/OL]. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202006/t20200611_1235884.html, 2020-06-03.
- [10] 曾晨, 程轶皎, 吕天宇. 基于生态系统健康的国土空间生态修复分区——以长江中游城市群为例[J]. 自然资源学报, 2022, 37(12): 3118-3135.
- [11] 周汝波, 林媚珍, 吴卓. 生态系统服务供需视角下粤港澳大湾区国土空间生态修复分区研究[J]. 热带地理, 2023, 43(3): 417-428.
- [12] 汤峰, 张蓬涛, 张贵军, 等. 基于生态敏感性和生态系统服务价值的昌黎县生态廊道构建[J]. 应用生态学报, 2018, 29(8): 2675-2684.
- [13] 曹玉红. 极化区生态安全格局演化与调控研究[D]: [博士学位论文]. 芜湖: 安徽师范大学, 2018.
- [14] 王朋冲. 翁牛特旗景观格局特征及优化分析[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- [15] 于亚平, 尹海伟, 孔繁花, 等. 基于 MSPA 的南京市绿色基础设施网络格局时空变化分析[J]. 生态学杂志, 2016, 35(6): 1608-1616.
- [16] Soille, P. and Vogt, P. (2008) Morphological Segmentation of Binary Patterns. *Pattern Recognition Letters*, **30**, 456-459. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2008.10.015>
- [17] 陈南南, 康帅直, 赵永华, 等. 基于 MSPA 和 MCR 模型的秦岭(陕西段)山地生态网络构建[J]. 应用生态学报, 2021, 32(5): 1545-1553.
- [18] 陈泓宇, 李雄. 基于 MSPA-InVEST 模型的北京中心城区绿色空间生境网络优化[J]. 风景园林, 2021, 28(2): 16-21.
- [19] 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.
- [20] 许峰, 尹海伟, 孔繁花, 等. 基于 MSPA 与最小路径方法的巴中西部新城生态网络构建[J]. 生态学报, 2015, 35(19): 6425-6434.
- [21] 袁媛, 白中科, 师学义, 等. 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[J]. 生态学杂志, 2022, 41(4): 750-759.
- [22] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [23] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [24] 应凌霄, 王军, 周妍. 闽江流域生态安全格局及其生态保护修复措施[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8857-8866.
- [25] 王回茜, 李汉廷, 谢苗苗, 等. 资源型城市工矿用地系统修复的生态安全格局构建[J]. 自然资源学报, 2020, 35(1): 162-173.
- [26] 覃盟琳, 朱梓铭, 胡城旗, 等. 市县国土空间生态修复分区方法与修复策略研究——以崇左市天等县为例[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2020, 45(4): 802-815.
- [27] 魏露露, 金莲. 基于生态安全格局的国土空间生态修复分区研究——以贵州省清镇市为例[J]. 环境污染与防治, 2022, 44(7): 966-971.
- [28] 焦胜, 刘奕村, 韩宗伟, 等. 基于生态网络-人类干扰的国土空间生态修复优先区诊断——以长株潭城市群为例[J]. 自然资源学报, 2021, 36(9): 2294-2307.
- [29] 冯琰玮, 甄江红, 田桐羽. 基于生态安全格局的国土空间保护修复优化——以内蒙古呼包鄂地区为例[J]. 自然资源学报, 2022, 37(11): 2915-2929.
- [30] 俞孔坚. 景观生态战略点识别方法与理论地理学的表面模型[J]. 地理学报, 1998(z1): 11-20.
- [31] 谭华清, 张金亭, 周希胜. 基于最小累计阻力模型的南京市生态安全格局构建[J]. 水土保持通报, 2020, 40(3): 282-288+296+325.
- [32] Baldwin, R.F. and Trombulak, S.C. (Eds.) (2010) *Landscape-Scale Conservation Planning*. Springer, Dordrecht,

- 349-367. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9575-6_16
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] 汤峰, 王力, 张蓬涛, 等. 基于生态保护红线和生态网络的县域生态安全格局构建[J]. 农业工程学报, 2020, 36(9): 263-272.
- [36] 彭建, 杨旸, 谢盼, 等. 基于生态系统服务供需的广东省绿地生态网络建设分区[J]. 生态学报, 2017, 37(13): 4562-4572.
- [37] Polsky, C., Neff, R. and Yarnal, B. (2007) Building Comparable Global Change Vulnerability Assessments: The Vulnerability Scoping Diagram. *Global Environmental Change*, **17**, 472-485. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2007.01.005>
- [38] 张传华, 王钟书, 张凤太, 等. 基于“重要性——脆弱性”分析框架的国土空间生态保护修复分区研究[J]. 地理与地理信息科学, 2022, 38(6): 84-94.
- [39] 王鹏, 赵微. 典型喀斯特地区国土空间生态修复分区研究——以贵州猫跳河流域为例[J]. 自然资源学报, 2022, 37(9): 2403-2417.
- [40] 彭建, 吕丹娜, 张甜, 等. 山水林田湖草生态保护修复的系统性认知[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8755-8762.
- [41] Zhang, L., Huang, Q.X., He, C.Y., Yue, H.B. and Zhao, Q.B. (2021) Assessing the Dynamics of Sustainability for Social-Ecological Systems Based on the Adaptive Cycle Framework: A Case Study in the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration. *Sustainable Cities and Society*, **70**, Article ID: 102899. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102899>
- [42] 杨庆媛, 张浩哲, 唐强. 基于适应性循环模型的重庆市国土空间生态修复分区[J]. 地理学报, 2022, 77(10): 2583-2598.