

国土空间规划中生态控制区划定方法研究

——以景洪市为例

石亮

上海同济城市规划设计研究院有限公司

摘要：划定生态控制区是当前国土空间规划体系中的重要环节，科学合理划定生态控制区一直是各地国土空间规划编制过程中的技术难点。本文以生态资源丰富的景洪市为例，从市域生态要素出发，将生态要素标准化后通过因子叠加法提取生态保护重要性区域，设定最小识别阈值筛选初步生态源地，校正优化后识别最终生态源地4303.82km²。基于MCR模型识别生态成本路径，引入相等间隔法、重力模型，构建景洪市主次生态廊道20条，有效提高生态源地间的连通性，整合生态源地和生态廊道得到生态控制区划定成果。从结构管控到规划分区引导，生态控制区的划定有效指导了生态空间保护规划格局和国土空间规划分区的形成。

关键词：国土空间规划；景洪市；生态源地；最小阈值；生态廊道；MCR模型；生态控制区

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.12.042

一、生态控制区的概念及内涵

（一）生态控制区的概念缘起

为加强生态保护、防止城市建设无序蔓延危及生态系统安全。各地陆续开展生态空间保护研究、划定了生态控制线。《深圳市基本生态控制线管理规定》《武汉市基本生态控制线管理条例》《北京市生态控制线和城市开发边界管理办法》等管理条例的颁布是生态控制区的雏形和前期实践。

2019年5月，国土空间规划改革，国土空间规划成为国家空间发展的指南、可持续发展的空间蓝图、各类开发保护建设活动的基本依据^[1]。在国土空间规划工作通知和指南中提出了规划分区的概念：是未来国土用地管制的重要依据。同时提出，划定生态控制区以及布置落实生态屏障、生态廊道和生态系统保护格局等内容^[2-3]，自此生态控制区的基本概念正式明确。

（二）生态控制区的内涵及必要性

生态控制区是指在国土空间规划中划定的、保护生态环境、生物多样性和生态系统功能的重点区域，以控制和限制人类活动对生态环境的破坏和影响，保持生态环境的稳定。其具备以下属性：

（1）生态安全属性：维护城市的整体性生态系统安全。是人类在生活、生产等活动不受生态破坏和环境污染的影响，是具有长期性、复杂性、艰难性的系统工程；（2）空间形态属性：引导城市建设、防止城市无序扩张。在城市发展时同步对生物多样性等生态系统的保护；（3）空间政策属性：生态控制区在国土空间规划批复后是基本管理分区，是保护基本生态空间不被占用的公共政策。

规划分区一级规划分区包括7类^[3]，在划定三线之

后，规划分区划定的主要任务是把三线外的斑块科学、合理的划入生态控制区和乡村发展区。三线中生态保护红线分布碎片化，不足以确保城市生态系统的安全，鉴于生态保护红线难以对全域生态空间进行有效管控，生态控制区划定后对生态空间的“缝补”作用则分外重要。

（三）生态控制区的各地实践

虽然生态控制区内涵基本明朗，但在国土空间规划各地划定实际操作中仍存在差异。

（1）湖南：《湖南省市县国土空间总体规划技术问答》中提出生态控制区可以将未划入生态保护红线的风景名胜区、水产种质资源保护区、饮用水水源地保护区、国家级公益林以及其他需要保留原貌、强化生态保育和生态建设、限制开发建设的区域划入。生态控制区应实事求是划定，不宜划得过大，便于与生态环境部门“三线一单”衔接。

（2）云南：《云南省国土空间规划分区与用途分类指南（征求意见稿）》中指出：生态控制区主要构成是生态保护区外，需要予以保留原貌、强化生态保育和生态建设、限制开发建设的自然区域，包括自然保护区、森林公园、以自然资源为主的风景名胜区、饮用水源地等需要保护修复的生态区域，对完善本区域生态格局、提升本区域生态功能具有重要作用的区域，以及较为偏远或工程地质条件不适宜城镇、农业、农村发展的荒漠、荒地等区域和由于经济社会、科技手段等因素尚难以开发利用或不明确基本功能的区域。

各地对于生态控制区的制定指导，从事权和管理角度出发，存在一定政策性，结果导向下直接将已有生态要素简单拼凑，划定的生态控制区存在零散、连通性低、不成体系的问题，系统性的生态控制区划定方法研究则具有重要价值。

二、研究区及研究方法

（一）研究区概况

1. 景洪市概况

景洪市是西双版纳州府所在地，国土面积为6866.51km²（数据来源第三次全国国土资源调查）。地域北高南低，水资源丰富，共有河流71条，均属于澜沧江-湄公河水系。景洪是中国热带雨林系统保存最完整的地区，也是我国生物多样性最为丰富的区域。全市现状生态保护红线面积3130.71km²，占比接近全域面积的一半达45.59%；其中自然保护区7处，合计2101.26km²，占市域面积的30.60%。随着城市化进程的加快，景洪市生态分布孤岛化、天然林面积日益减少，生境破碎度增加，生态多样性、生态系统面临挑战。

2. 数据及来源

本文所使用的数据包括景洪市第三次土地利用调查数据2020年变更数据（下称“三调变更数据”）、景洪市2018年第二次林业变更调查数据（下称“林业二调数据”）、景洪市ASTER GDEM 30M数字高程模型、景洪市国家公益林、濒危珍稀动植物数据、景洪市降雨量、蒸散发量数据（mm）、土壤可蚀性因子、植被因子、水土流失数据。以上数据多数来自景洪市各委办局收资，部分由公共数据网站下载所得。

三、景洪市生态控制区划定实践

（一）生态源地识别

1. 生态要素标准化处理

梳理全市生态组成要素预处理得出生态要素数据，指标的标准化处理使不同来源的生态要素形成指标间具有可比性、可叠加的生态评价因子。

（1）从景洪市三调变更数据中提取林地作为初步林地斑，由于三调变更数据中将橡胶林划入园地，景洪市作为橡胶林覆盖度较高的城市，橡胶林图斑对生态影响较高，故又从林业二调数据中提取衰产期橡胶林和过熟期橡胶林作为林地补充图斑与林地初步图斑相加作为最终林地数据；

（2）提取景洪市国家级公益林中的天然林，将其与林地重叠部分提取备用；

（3）从林业二调数据中选取优势树种作为参考，结合国家优先保护生态系统目录，提取优势树种备用；

（4）以林地二调数据和“（1）”所得林地的交集为基础，通过考量威胁因子的影响范围及权重、生境对于威胁源的敏感系数等因素，评价形成高中低三级生境质量备用。

（5）基于优势树种分类，结合优先保护生态系统名录，查找景洪市需优先保护的生态系统的主要分布位置并将其整合后备用。

（6）提取景洪市30m网格尺度的内降水量（ P_i ）以及蒸散发量分布数据备用。

（7）通过公式：

$$R_i = P_i \times a$$

式中 a 为不同生态系统类型平均地表径流系数， P_i 为降水量，得到各类生态系统地表径流量备用。

（8）将林业二调内各生态系统类型数据按面积转栅格后进行栅格赋值形成各类生态系统影响度备用。

（9）根据降雨量数据，利用ArcGIS软件中克里金插值工具得到各月月均降水量及年均降水量数据后得出景洪市降雨侵蚀力评价结果备用。

（10）根据中国土壤质地空间分布和植被覆盖数据，选取砂土、粉砂土、黏土百分比含量得到全市土壤可蚀性分布备用。

（11）在ArcGIS软件内完成坐标定义、镶嵌、边界裁剪预处理后，获得市域30m精度地形图，利用ArcGIS邻域分析工具得到景洪市地形起伏度备用。

（12）根据景洪三调变更数据，水田、湿地、城镇和荒漠参照N-SPECT的参数分别赋值为0、0、0.01和0.7，旱地按以下公式换算：

$$C_{旱} = 0.221 - 0.595 \log c_1$$

式中， $C_{旱}$ 为旱地的植被因子， c_1 为小数形式的植被覆盖度。其他生态系统类型植被覆盖度为植被覆盖指数计算得到，利用ArcGIS软件赋值得到各类生态系统类型的植被因子备用。

（13）根据云南省水土流失专项调查成果，提取景洪市水土流失敏感性分为极敏感、敏感和一般敏感3个等级备用。

以上数据指标标准化处理得到生态评价因子。

2. 因子叠加识别生态保护重要区域

参照相关研究^[4-6]，将以上（2）-（4）数据叠加分3类得到生物多样性维护功能重要性评价，记作A结果；

（6）-（8）数据叠加分3类得到水源涵养功能重要性评价，记作B结果；（9）-（12）数据叠加分3类得到水土保持功能重要性评价，记作C结果；

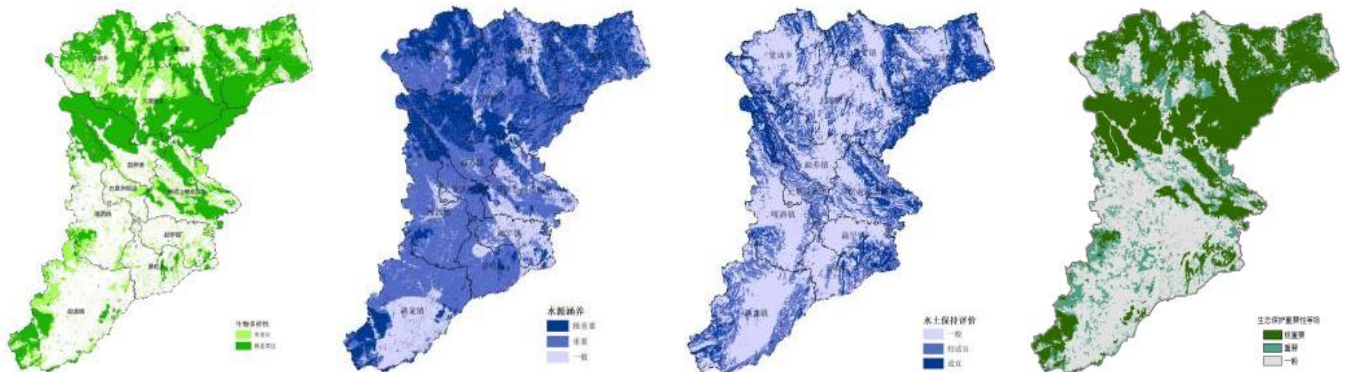


图 A结果

图 B结果

图 C结果

图 D结果

利用ArcGIS软件加权A、B、C三组数据子分类取最大值得到生态系统服务功能重要性评价，记作D结果。将（13）数据与结果D叠加取最大值作为景洪市生态要素保护重要性等级成果，划分为极重要、重要和一般3个等级。

研究表明：景洪市生态要素极重要区面积2811.22平方千米，占全市国土总面积的40.94%；重要区面积965.90平方千米，占全市国土总面积的14.07%；一般区面积3089.39平方千米，占全市国土总面积的44.99%。选取生态要素极重要区和重要区作为景洪市生态底板要

素，主要分布于市域北部、西南部以及东南部。

3. 最小面积阈值设定识别生态源地

对生态底板要素斑块面积、数量分析得出：市域生态底板要素细碎，与生态控制区集中连片特征违背，不利于生态控制区的管理，单一斑块面积16-450km²占比超六成，斑块面积集中度高。

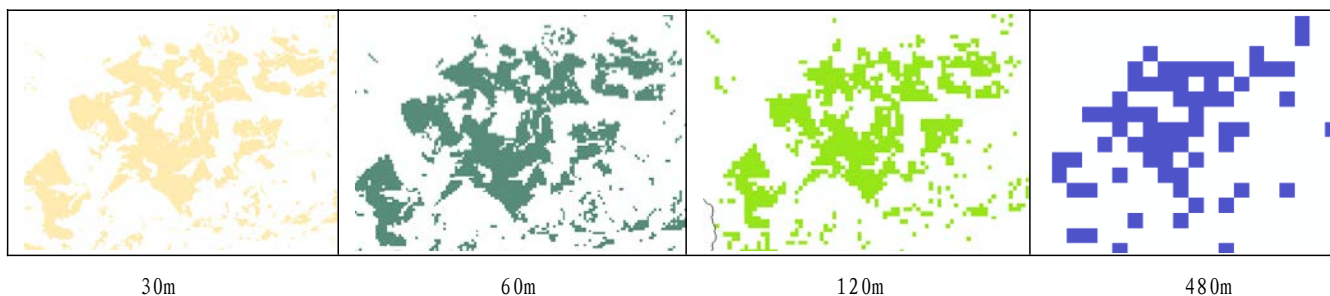


图 同一区域不同尺度栅格化结果

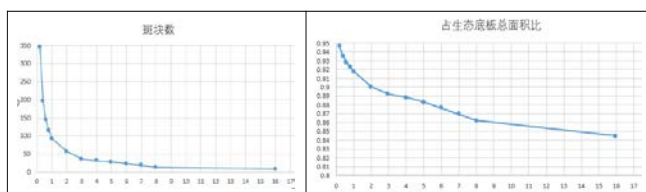


图 生态源地斑块最小面积阈值设定的影响

生态源地筛选中对图斑最小面积的设定将直接影响图斑的数量。研究发现，随着最小面积阈值的逐渐增加，生态源地图斑数量也将迅速减少，当最小面积阈值

部分生态底板要素斑块间隙极小，直接删除影响生态源地的连接度和科学性。利用栅格法将图斑通过ArcGIS软件转栅格像素化矢量数据解决因极小间隙造成的误删问题。栅格尺度越小，斑块越细致，反之则粗糙。在60m栅格精度下，生态要素连接度、聚合度较好，故选取60m作为源地识别的最佳尺度。

增加到3km²以后，生态源地图斑数量逐渐趋于平缓。

生态源地的总面积虽然受到最小面积阈值的影响，但是剩余生态源地占总面积的比例始终保持在90%左右，表明被删除的图斑数量虽然多，但面积较小、分布较为离散，对最终形成生态控制区的整体格局影响不大。斑块数和选取图斑总面积占生态底板要素总面积比例均在3km²处呈现减缓，因此最终选取3km²作为图斑入选阈值，共计选出36个图斑并反选出生态底板要素为初步判定的生态源地，总面积3369.643km²，占生态底板要素总面积的89.2%，占景洪市域面积的49.07%。

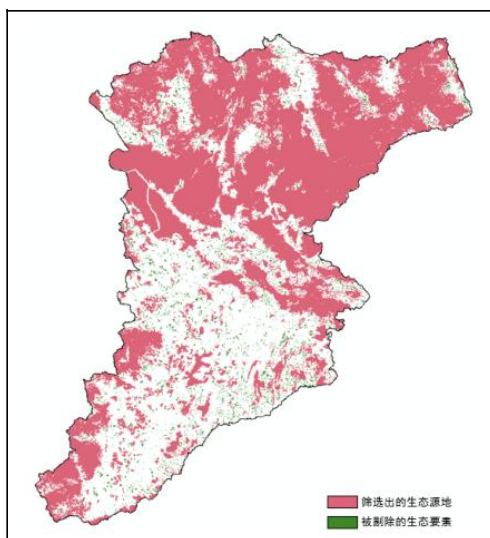


图 最小面积阈值筛选出的生态源地

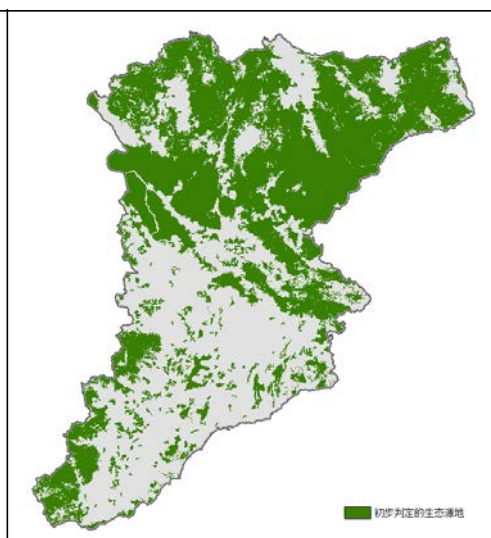


图 初步判定的生态源地

4. 生态源地校正优化

(1) 生态源地间隙聚合与孔洞填充

生态源地是指对区域生态安全格局极具基础性和重要性的生态用地^[7-8]，生态保护应优先考虑到生态系统的完整性和连通性^[9]。基于此，需对生态源地内空洞和间隙作聚合、消除处理。

分析得出空洞和间隙主要为生态底板内部的村寨、区域设施以及道路、河流等要素。定量分析研究表明：空洞面积集中分布在8-12km²、间隙宽度集中分布在150-

200m。综合考虑生态源地初判结果单一斑块面积和分布情况，利用ArcGIS软件消除空洞和聚合工具，设定消除空洞参数为10km²、聚合参数200m获得生态源地优化结果。

(2) 生态源地与现状校核

将生态源地与生态保护红线、自然保护地、三调变更数据叠加得出生态源地识别结果基本可以反映景洪需重要保护的生态空间。最终确定景洪市生态源地面积4076.23km²，占市域总面积的59.36%。



图 生态源地校正优化结果

(二) 生态廊道构建

生态廊道是具有维护生物多样性、调洪去污、水土保持等多种生态系统服务功能的生物走廊^[10]，是自然界物质流与能量流的核心载体^[11-12]。伴随工业化的快速发展，城市空间不断扩张，生态空间被大量占用^[13]，生物迁徙廊道断裂，景观破碎化加剧^[14]，甚至出现“生态孤岛”现象。构建生态廊道是保护物种迁徙、繁衍、扩散的必要之举^[15]，也是生态控制区的重要组成部分。

1. 生态阻力面生成

累积阻力最小的通道，是消费成本最小、扩展可能性最高的通道，它反映了一种潜在可达性^[16]。本文选取景洪市地形地貌、土壤覆盖、交通设施、水文资源、生态资源五个维度对土地利用数据、坡度数据、高程数据、道路宽度、河网距离、林地类型等阻力面因子进行赋值。通过ArcGIS的坡度生成和矢量转栅格工具补充得到景洪市坡度、道路宽度、河网距离、自然保护地和风景名胜数据。

参照已有研究^[17-18]，结合景洪市生物多样性实际情况利用ArcGIS重分类工具赋值，利用栅格计算工具根据权重将各数据叠加得出生态阻力面。

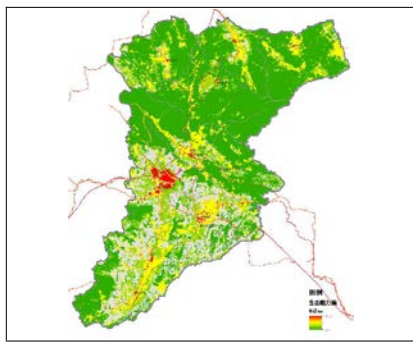


图 生态阻力面生成结果

2. 基于MCR模型的生态廊道模拟

最小累积阻力模型 (Minimum Cumulative Resistance, MCR)，又称最小成本距离模型 (Least-cost Distance, LCD)，是基于图论法的一种衍生模型，目前使用最广泛的生态廊道提取方法^[19]。MCR能够计算异质空间内对生物迁移和物种扩散产生的阻力，由荷兰生态学家KNAPPEN et al所提出^[20]。

一一对应多点，选取一个生态源地点单独输出作为一个图层，再将剩余生态源地点作为整体输出为一个图

层。按此方式利用ArcGIS模型构建器以及成本距离和成本路径工具对生态源地进行相同的操作得到市域生态源地之间的成本路径。



图 生态源地成本路径生成模型构建 图 生态源地间的成本路径

将成本路径利用栅格转矢量工具输出为矢量图层并合并为一个图层得到基于MCR模型构建的生态源地成本路径，得到景洪市初步生态廊道共计116条。

3. 生态廊道的分级与优化

初步生态廊道内同一方向多条廊道大体相同、路径近乎重复，因此对初步生态廊道近似重合中心线向外500m为半径，进行扩展区涉及廊道数量分析，合并重合的廊道得到潜在生态廊道20条，长度合计约500km。

(1) 将同一扩展区内涉及路径数量作为初步分级依据；(2) 用相等间隔法^[20]将生态阻力面阻力值分成3个级别，赋值20条生态廊道，将完全处于低阻力值的设为重要廊道，经过中高阻力值的设为次要廊道；(3) 引入重力模型得出生态源地之间的相互作用矩阵^[20-21]，将引力值分为高中低3个等级，设置高引力值为重要廊道，中低引力值为次要廊道。

将3次分级结果加权处理，结合景洪主次水网得到市域生态主要廊道与次要廊道。参考朱强、俞孔坚等学者对国内外生态廊道宽度的研究^[12]，结合景洪市生物多样性特征以及物种类型分别设置廊道宽度1000m和800m。

(三) 生态控制区的划定结果与校核

1. 生态控制区划定的结果

基于生态源地和生态廊道，叠加去重作为景洪市生态控制区初步成果，将初步成果与景洪市城镇开发边界线与永久基本农田保护线进行修正得到生态控制区结果，合计面积4303.82km²，占市域总面积的62.68%，主要分布于景洪北部与西南部。

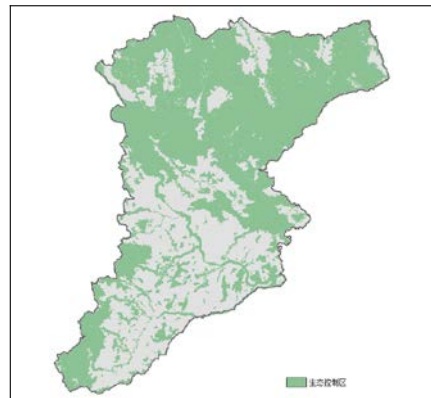


图 生态控制区结果

2. 生态控制区与生态保护红线的空间相关性

景洪市生态保护红线面积3130.71km²，其中自然保护区7处合计2101.26km²，将生态控制区与市域内生态保护红线进行叠加分析，经统计，生态控制区有2096.40km²落入自然保护区内，占所识别生态控制区面积的48.71%，占自然保护区面积的99.77%；有3092.05km²落入生态保护红线内，占所识别生态控制区的71.84%，占生态保护红线面积的98.77%。仅有0.23%的自然保护区以及1.23%的生态保护红线未落入生态控制区内。

四、总结与讨论

(一) 小结

本文经过对景洪市生态要素的标准化处理得出市域生态极重要和重要区，基于此作为生态要素底板，以60m作为最佳栅格尺度识别最小面积阈值筛选出初步生态源地，通过间隙聚合、孔洞填充以及现状校核确定了生态源地面积4076.23km²。基于生态阻力面构建、MCR模型得到市域初步生态廊道，并对其进行分级与优化得到主次生态廊道共20条。二者叠加得出景洪生态控制区，研究显示：生态控制区总面积4303.82km²，占市域总面积的62.68%。主要分布于景洪市北部与西南部，此区域生物多样性保护较好；中部多为建设用地，生态控制区少、生态阻力较大，存在生态功能下降的风险。

(二) 讨论

(1) 基于此研究从结构管控到规划分区引导，对景洪市国土空间总体规划中生态系统保护规划格局的构建和国土空间规划分区的确定具有重大指导意义。

(2) 生态控制区的划定涉及多学科交叉，当前生态控制区的划定已取得较大进展，但部分过程仍需进一步研究。例如生态廊道构建中阻力面阻值、廊道分级标准、廊道宽度的确定简单参照相关研究，其主观能动性较强。且文章目前是静态角度，生物多样性保护等内容仍有缺陷，需增加动物活动等动态数据以及生态空间时空演变分析，深入优化生态控制区划定。

参考文献

- [1] 中华人民共和国中央人民政府. 中共中央国务院关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见[EB/OL]. (2019) [2019-05-28]. http://www.gov.cn/zhengce/2019-05/23/content_5394187.htm?trs=1.
- [2] 中华人民共和国自然资源部. 自然资源部关于全面开展国土空间规划工作的通知[EB/OL]. (2019) [2019-05-31]. http://gi.mnr.gov.cn/201905/t20190530_2439129.html.
- [3] 中华人民共和国自然资源部. 自然资源部办公厅关于印发《市级国土空间总体规划编制指南(试行)》的通知[EB/OL]. (2020) [2020-09-22]. http://gi.mnr.gov.cn/202009/t20200924_2561550.html.
- [4] 高吉喜, 徐德琳, 乔青, 等. 自然生态空间格局构建与规划理论研究[J]. 生态学报, 2020, 40(03): 749-755.
- [5] 李世佳, 张安明, 郭欢欢, 等. 三峡库区县域土地生态红线划定研究——以重庆市江津区为例[J]. 广东

农业科学, 2017, 44(10): 52-58+3.

[6] 蒋伟, 王力国, 李碧香, 等. 重庆市三大基本空间划定方法与实践[J]. 规划师, 2017, 33(08): 72-77.

[7] 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[1]. 地理研究, 2017, 36(03): 407-419.

[8] 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.

[9] 邹琴英. 国土空间规划中生态空间划定及生态安全格局构建[D]. 中国地质大学(北京), 2021.

[10] 朱强, 俞孔坚, 李迪华, 景观规划中的生态廊道宽度[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2406-2412.

[11] 戴璐, 刘耀彬, 黄开忠. 基于MCR模型和DO指数的九江滨水城市生态安全网络构建[D]. 地理学报, 2020, 75(11): 2459-2474.

[12] 陈艳梅, 高吉喜, 年蔚, 等. 风域视角京津冀生态廊道空间格局识别研究[J/OL]. 中国环境科学: 1-11 [2021-03-30].

[13] YOUNG C H, JARVIS P J. Measuring urban habitat fragmentation: An example from the Black Country. UK. Landscape Ecology. 2001. 16(7): 643-658.

[14] 史娜娜, 韩煜, 王琦, 等. 新疆南部地区风沙扩散风险评价及景观格局优化[刀]. 地理学报, 2021, 76(01): 73-86.

[15] 李欣鹏, 李锦生, 侯伟. 区域生态网络精细化空间模拟及廊道优化研究——以汾河流域为例[D]. 地理与地理信息科学, 2020, 36(05): 14-20+55.

[16] 邱硕, 王宇欣, 王平智, 等. 基于MCR模型的城镇生态安全格局构建和建设用地开发模式[J]. 农业工程学报, 2018, 34(17): 257-265.

[17] 谢于松, 王倩娜, 罗言云. 土地利用类型视角下重庆市主城区生态控制区区划及生态廊道构建研究[J]. 中国园林, 2021, 37(11): 115-120.

[18] 吴静, 黎仁杰, 程朋根. 城市生态源地识别与生态廊道构建[J]. 测绘科学, 2022, 47(04): 175-180.

[19] 李波, 贺萌, 李欣宇. 基于源地-廊道法的生态网络构建研究进展[J]. 中国城市林业, 2023, 21(02): 145-151.

[20] 黄雪飞, 吴次芳, 游和远, 肖武, 钟水清. 基于MCR模型的水网平原区乡村景观生态廊道构建[J]. 农业工程学报, 2019, 35(10): 243-251.

[21] 徐伟振, 黄思颖, 耿建伟, 王心怡, 傅伟聪, 林双毅, 董建文. 基于MCR和重力模型下的厦门市生态空间网络构建[J]. 西北林学院学报, 2022, 37(02): 264-272.

作者简介: 石亮(1995.5-), 男, 汉族, 江苏扬州人, 规划师, 本科, 研究方向: 城乡规划国土空间规划方向。