

基于生命共同体的景观生态风险评价与管控策略

——以成渝城市群为例

梁发超^{1, 2} 胡其玉³ 起晓星⁴¹

(1. 华侨大学 政治与公共管理学院, 中国福建 泉州 362021;

2. 华侨大学政治发展与公共治理研究中心, 中国福建 泉州 362021;

3. 中国人民大学公共管理学院, 中国 北京 100872;

4. 中山大学 中国公共管理研究中心/

政治与公共事务管理学院, 中国广东 广州 510275)

【摘要】: 基于“生命共同体”理念开展景观生态风险评价及管控策略研究是推动城市群高质量绿色发展的关键举措。以此理念为指导, 从“地形山势—河湖水体—土壤环境—人类活动—景观结构”5个维度构建城市群景观生态风险评价体系, 以成渝城市群为典型案例区, 诊断其生命共同体健康状态; 进一步耦合景观生态安全格局和电路理论, 提出成渝城市群景观格局网络化管控策略。结果表明: 研究区生境质量指数均值为0.94, 66.85%区域景观生态风险处于中低水平, 总体生态环境较好, 但也存在风险高低区交错现象; 识别出生态源地111461.62km², 约占总面积46.54%, 划分生态阻滞区、生态过渡区、生态缓冲区, 占总面积比例分别为25.61%、14.65%、13.20%; 构建“76+8”廊道系统, 长约5046.19km, 确定316处生态节点, 构筑管控景观生态风险的绿色网络体系, 维持成渝城市群景观生态系统健康和可持续发展。

【关键词】: 生命共同体 生境质量 管控策略 成渝城市群

【中图分类号】: K901 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000-8462 (2021) 08-0152-08

近年来, 随着我国生态文明建设的大力推进, 高质量绿色发展新理念已融入新型城镇化建设, 绿色生态的国土空间开发保

基金项目: 教育部人文社会科学研究规划基金项目 (19YJA630043); 国家自然科学基金项目 (42077434); 2018年度福建省高等学校杰出青年科研人才培育计划

作者简介: 梁发超 (1983-), 男, 安徽太和人, 博士, 教授, 硕士生导师, 研究方向为土地利用与景观规划、土地资源与城市管理。E-mail: liangfachao1983@163.com

起晓星 (1987-), 男, 云南楚雄人, 博士, 副教授, 博士生导师, 研究方向为土地利用转型、城市治理、环境政策。E-mail: qixiaox3@mail.sysu.edu.cn

护格局是未来发展的必然要求。而维持经济社会建设与生态系统健康的平衡仍是推动区域发展面临的挑战，故合理管控人类活动引发的景观生态风险是人与自然和谐长存的基础^[1]。习近平总书记提出的“山水林田湖草是生命共同体”理念是解决自然—人—社会复合生态系统中重要问题的指导思想，要求从生态系统复合要素以及要素关联出发，全域、全要素、全过程协同治理生命共同体健康问题^[2]，而这恰恰也是当前问题诊断和系统治理的新型挑战所在。景观生态风险评价是通过刻画自然—人为复合因素对景观生态系统结构、功能、过程的交互影响^[3]，揭示区域生态退化风险的扰动来源和景观格局安全管控的关键问题^[4]，现已逐渐形成由单因子到多要素综合的评价体系^[5]。在诊断景观生态系统风险状况的基础上，应用 MCR 等计量模型重组关键景观要素以实现优化，形成风险管控策略等^[6]系列研究已日益成熟，但精确识别各类生态要素及其关联^[7]、近似生物种群行为模式^[8]的方法仍需完善，以有效减少冗余信息干扰^[9]。但目前大部分研究仍以景观格局指数或单一因子表征景观生态风险评价结果^[10]，而基于“生命共同体”理念构建全域多要素景观生态风险评价体系的研究仍较鲜见。目前亟需以生命共同体理念为指导，通过生境质量评估建立景观过程与格局的关联^[11]，在建立综合评价体系的基础上，耦合景观生态安全格局构建管控区域生态风险。

就研究对象而言，从以往相对独立的城市、流域等研究范围扩展至功能交错、生态脆弱的冲突区域以及经济—生态协同发展的生命共同体^[12]。而城市群作为人类行为集中改变自然的载体，既是自然—人—社会复合的生命共同体，也是格局高度镶嵌的景观综合体^[13]。成渝城市群不但是西部人口、经济高度集聚的城镇密集区域，也是维护长江中下游生态安全的重要屏障，存在城市热岛效应、洪涝灾害、生物多样性减少等生态风险。在成渝城市群双城经济圈建设提出后，明确要求贯彻高质量绿色发展理念，破解生态建设—经济发展协同的障碍难题。但针对成渝城市群此类问题，多数研究建立市域评价体系评估区域生态经济质量，缺乏对景观格局和过程考虑；或选取土壤保持等单一指标进行评估，不能相对完整反映区域生态状况，并未形成生态风险管控的空间格局^[14]。鉴于此，本研究立足于生命共同体理念，从“地形山势—河湖水体—土壤环境—人类活动—景观结构”5个维度构建景观生态风险评价体系，定量识别成渝城市群风险区域，在诊断影响因子作用的前提下，引入 InVEST 模型识别生态源地，应用电路理论刻画生态源地向外扩散的路径，耦合景观生态安全格局构建方法重塑地区景观格局，从而提出针对性的风险管控策略以保障成渝城市群景观生态系统健康发展。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

研究区范围根据《成渝城市群发展规划》确定，由重庆市和四川省下辖的15个地级市（成都、达州、德阳、广安、乐山、泸州、眉山、绵阳、南充、内江、遂宁、雅安、宜宾、资阳、自贡）组成（图1），地处中国西南的四川盆地，位于长江上游（27°39'N~33°3'N、101°56'E~110°11'E），北部临近秦岭，南部接连乌蒙山，西部倚靠岷山—大凉山高山带，东部以大巴山—巫山为屏障，总面积约为23.95万km²。地形基本与四川盆地一致，地势整体向中部倾斜，四周群山环绕，其中多为平原、低山、丘陵（图1）。以中亚热带湿润气候为主，冬暖夏热，阴多晴少，部分边缘山地气温具有显著的垂直分布特征。分布有长江、岷江、大渡河、金沙江、沱江、涪江、嘉陵江等河流，形成以长江水系为主的复杂水网。森林覆盖率为47.31%，植被覆盖以亚热带常绿阔叶林为主，植物类型丰富。2018年，常住人口约占全国的7.18%，土地面积约占全国的2.49%，GDP约占全国的6.04%，城镇化率为57.9%，具有显著的人口和经济集聚效应。作为西部大开发新格局中的重点区域，随着部分城镇开发强度的增长，景观生态系统退化的威胁依然严峻，系统性生态风险仍然存在。

1.2 数据来源

土地利用数据采用2017年全球10m分辨率土地覆被数字产品（<http://data.ess.tsinghua.edu.cn/>），并区分城镇和乡村建设区域^[15]；铁路、公路等道路交通数据获取自Open Street Map平台；河湖水系数据获取自中国科学院资源环境数据云平台；土壤类型和土壤侵蚀数据获取自中国生态系统评估与生态安全数据库；DEM数据获取自地理空间数据云平台。所用数据均采用Albers等积投影，根据不同粒度下景观格局指数信息损失量^[16]确定90m作为评价栅格单元。

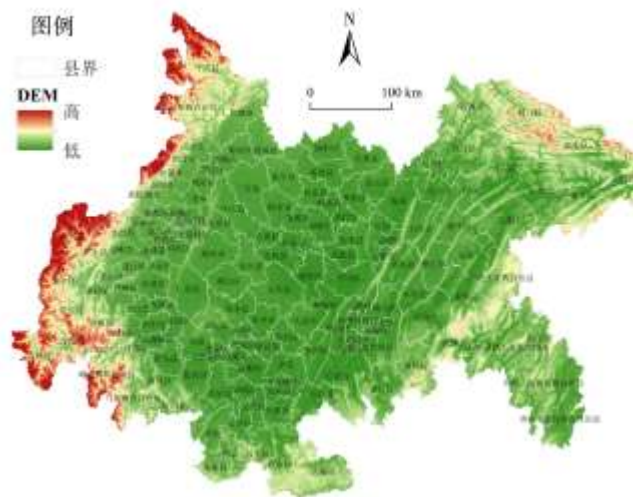


图 1 研究区高程与区划

1.3 研究方法

1.3.1 基于生命共同体理论的景观生态风险评价指标体系构建

基于“山水林田湖草是生命共同体”理念，由不同要素构成的生命共同体是一个复杂的有机整体，“人的命脉在田，田的命脉在水，水的命脉在山，山的命脉在土，土的命脉在树”阐明了各个要素间的相互作用和依存关系，反映人地关系论中人与自然对立统一的动态演变过程^[17]，体现在景观尺度上山水林田湖草作为生命有机体与景观综合体相一致的整体性和系统性^[18]。长期来看，生命共同体的出发点是“人”，只有人与自然和谐共存的综合体才是可持续发展的，因此评估景观综合体健康状态需要建立多层次多要素的评价体系，并反映不同要素间的关联作用。

①景观生态风险评价指标体系构建。以生命共同体理念为指导，综合考虑山、水、土等自然要素，土地利用等自然—社会复合要素，以及作为生命共同体联结的景观结构，从地形山势、河湖水体、土壤环境、人类活动以及联系不同要素的景观结构 5 个维度，选取 10 种影响因子建立指标体系以评估成渝城市群景观生态风险水平，根据评价结果划分风险等级。依据《土壤侵蚀分类分级标准》确定土壤侵蚀因子分级标准，结合自然断点法确定景观干扰指数因子的分级标准，参考有关研究^[19]确定其他因子分级标准，并依据因子分级标准进行赋值。

地形山势维度选取海拔和高程作为评价指标，反映非地带性地形因素对气候、地表径流等条件的影响；河湖水体维度选取距离水体的距离作为评价指标，反映河流湖泊所构成的水系网络系统在整个地区生态系统中的重要连通性；土壤环境选取土壤类型和土壤侵蚀作为评价指标，分别反映土壤类型对生态适宜性和农业生产的作用及土壤侵蚀的生态风险水平^[20]；人类活动维度选取距离农村居民区、城镇建设区的距离和土地利用强度为评价指标，将城乡建设区作为人类社会系统运行的载体，以土地利用强度表征自然—社会系统的复合性；景观结构维度以景观干扰指数为评价指标，反映生态系统结构稳定性和功能多样性，借鉴相关研究^[21]，通过叠加景观破碎度、分离度、分维度倒数计算得出（式 1）。

$$S_i = aFN_i + bFI_i + cFD_i \quad (1)$$

式中：i 表示 500×500m² 的风险小区；S_i 表示风险小区的景观干扰指数；风险小区 i 的 FN_i、FI_i、FD_i 分别表示景观破碎

度、分离度、分维度倒数；a、b、c 分别为不同景观指数的权重，并依据前人研究^[21] 分别赋值 0.5、0.3、0.2。

②景观生态风险测算。结合成渝城市群生态环境实际状况，应用 AHP 法确定不同影响因子的相对权重；在 ArcGIS 平台中综合叠加指标风险值测算成渝城市群的景观生态风险水平，利用自然断点法将景观生态风险划分为低、轻、中、较高、高风险 5 个等级。

1.3.2 景观格局生态风险管控与优化

多要素耦合形成的综合景观格局与社会、经济和生态过程密切联系，应用景观安全格局构建方法系统识别不同景观组分的空间格局和关键所在^[22]，有机融合不同要素的点、线、面组合，从而管控地区整体的景观生态风险，加强区域景观生态服务功能^[23]。

①源地识别。基于 InVEST 模型理论，生物多样性保护作为生态风险管控的主要目标，与生态系统服务均属于自然生态系统的独立属性^[24]，是反映生境质量的关键信息。农田、森林、草地、灌木林、湿地和水域作为生境，其余地类为非生境；以城镇建设用地、农村居民点、耕地、铁路、高速和主要公路为威胁源，采用 InVEST3.5 中 Habitat Quality 模型测算生境质量指数（式 2），结合模型操作指南和相关研究设置参数^[25-27]。应用几何间隔法划分 5 级生境质量等^[28]，选择生境质量最高等作为初选生态源地，结合区域实际和作为源地的生态扩展性、连续性特征，叠加面积 0.20km² 以上的水域、湿地和森林后，择取面积在 50km² 以上的斑块作为终选生态源地^[29]。

$$Q_{jk} = H_k \left[1 - \left(\frac{D_{jk}^R}{D_{jk}^R + R^2} \right) \right]; \quad (2)$$

$$D_{jk} = \sum_{z=1}^n \sum_{y=1}^{N_x} \left(\frac{w_z}{\sum_{z=1}^n w_z} x_y r_{xy} \beta_j s_{kx} \right)$$

式中：Q_{jk} 为土地覆被类型 k 中栅格 j 的生境质量指数；H_k 为地类 k 的生境适宜性；D_{jk} 为地类 k 中栅格 j 的生境退化度；R 为半饱和常数；z 为归一化默认常数；n 为威胁因子数；N_x 为威胁因子 x 的栅格单元数；w_x 为威胁因子 x 的权重；xy 为栅格单元 y 的威胁因子数；r_{xjy} 为威胁因子威胁范围（分为线性和指数性）；β_j 为栅格 j 的可接近范围（取值为 1）；s_{kx} 为土地覆被类型 k 对威胁因子 x 敏感度。

②阻力面建立。生命共同体理念强调整个生态系统内不同类型生态要素间的紧密联系，而要素的扩张、阻断过程是生命共同体联系的表现。生态要素在进行物质转换和能量流动过程中因自然和人类活动因素的干扰而引发生态风险，产生空间传输和流动的阻力。故以基于生命共同体理念的景观生态风险评价结果作为生态流过程的阻力面，应用 MCR 模型^[30] 构建最小累计阻力面。

③生态廊道构建。廊道连接着不同的生态源地，是景观格局网络化体系的核心，保障区内信息、物种和能量流动的畅通性。基于景观生态学理论和电路理论^[31]，将电荷在导体表面的随机运动与物种在景观中的扩散、迁徙联系起来，在此过程中面临消耗和终结，故将生态源地作为导体端，景观阻力为电阻，识别不同源地间的最低成本联系。基于 ArcGIS 平台利用 Linkage Mapper2.0 插件制图识别生态廊道，结合区内实际，将主要河流作为天然廊道完善全域生态廊道网络体系。

④重要节点判别。生态节点是生境间通道保持畅通的重要点，基于水文分析以最小累计阻力面的“脊线”和“谷线”的交点作为关键节点^[32]，识别出连接生态源地扩张和受阻的要害之处。因此，有机融合区内生态源地、生态廊道和生态关键节点，

共同构成景观生态风险管控和格局优化网络，识别出需要保护修复的关键区域和重点所在。

2 结果分析

2.1 景观生态风险综合评估结果与分析

统计成渝城市群景观生态风险分级结果可知，其中，处于微度风险的区域占比为 6.31%，处于轻度风险的区域占比为 23.76%，处于中度风险的区域占比为 36.78%，处于较高风险的区域占比为 23.34%，处于高风险的区域占比为 9.81%，整体处于中度风险状态。景观生态风险较高等级主要分布于四川盆地的人口集中区、盆周邛崃山—相岭和长江上游盆周山区（图 2a），亟需管控局部区域的景观生态风险问题，优化整体国土空间生态格局。

根据评价结果，采用冷热点空间分析揭示成渝城市群景观生态风险高低水平的空间集聚特征，分别将冷、热点区域划分为 3 个等级，等级越高对应性质的集聚特征越显著。结果显示，成渝城市群大部分呈景观生态风险冷热点不显著特征，从空间格局上看，整体冷热点区具有交错分布的特征（图 2b）。景观生态风险热点区域主要集中在成渝地区中西部，包括夹金山—大渡河一带的宝兴、天全、汉源和石棉等县；绵竹、什邡和彭州 3 县（市、区）东部的平原人口聚集区和西部的龙门山山地—丘陵过渡带，并自旌阳沿龙泉山脉向南延伸至仁寿，及资中、威远、荣县 3 县（市、区）和内江、自贡市区的山丘—平原过渡带；屏山县向东到纳溪区的长江以南的区域也是热点集中区，以及渝北和江北、安居、龙马潭等零散的县（市、区）。景观生态风险冷点区分布全域，主要包括：都江堰中部—洪雅与沿青衣江至夹江县一带；龙泉山南段和沙湾沿长江至翠屏中北部；合江、叙永、古蔺紧靠贵州赤水和四面山国家级名胜风景区、赤水竹海国家森林公园三大自然保护地的区域；万源大巴山—璧山、永川的川渝平行岭谷带，以及云阳县长江沿岸区域。

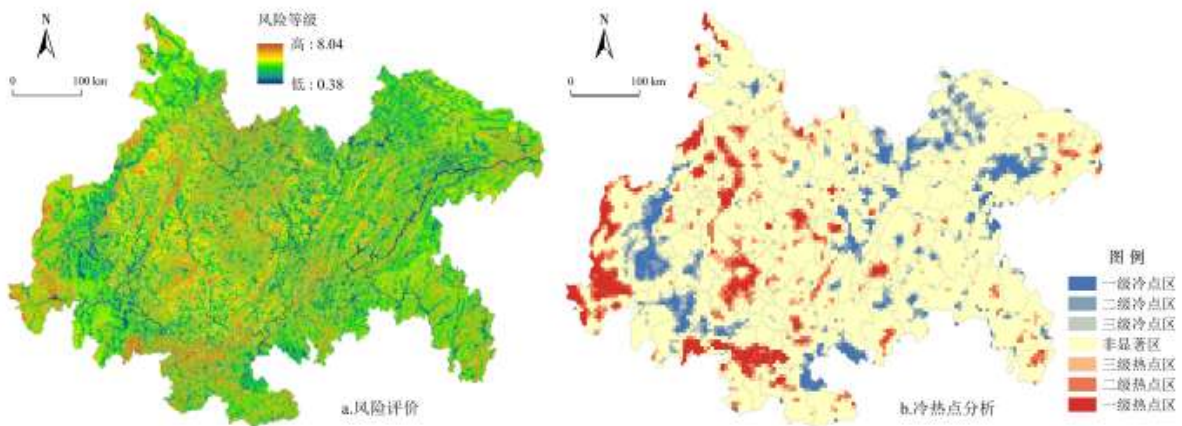


图 2 景观生态风险评价格局

2.2 景观格局管控与优化

2.2.1 生态源地识别

成渝城市群生境质量空间分布格局如图 3a 所示，结果表明该地区整体生境质量较好，综合生境质量指数均值为 0.94，较高和高等级生境质量面积占比达 85%以上。但仍有 85 个县（市、区）生境质量处于平均值以下，主要集中于成都平原和川中丘陵范围内，其中成都和重庆中心城区所包含的武侯、金牛、渝中、江北等县（市、区）生境质量最低，基本为城镇化发展或资源开发的重点区域，人地矛盾凸显而存在明显的景观生态系统退化风险。在生境质量评估的基础上，结合区内重要湿地、水域

和森林斑块分布进而确定生态源地（图 3b）。生态源地面积总计为 111461.62km²，约占研究区总面积 46.54%，集中分布于四川盆地边缘山地范围，尤其是重庆东部大巴山、紧邻武陵山的低山丘陵区与龙门山—邛崃山—相岭边缘山地地区，而盆地底部尤其是成都平原和川东丘陵区的生态源地规模较小，城镇范围内的湿地和绿地结构失调、不成规模，城镇生态系统稳定性欠佳。

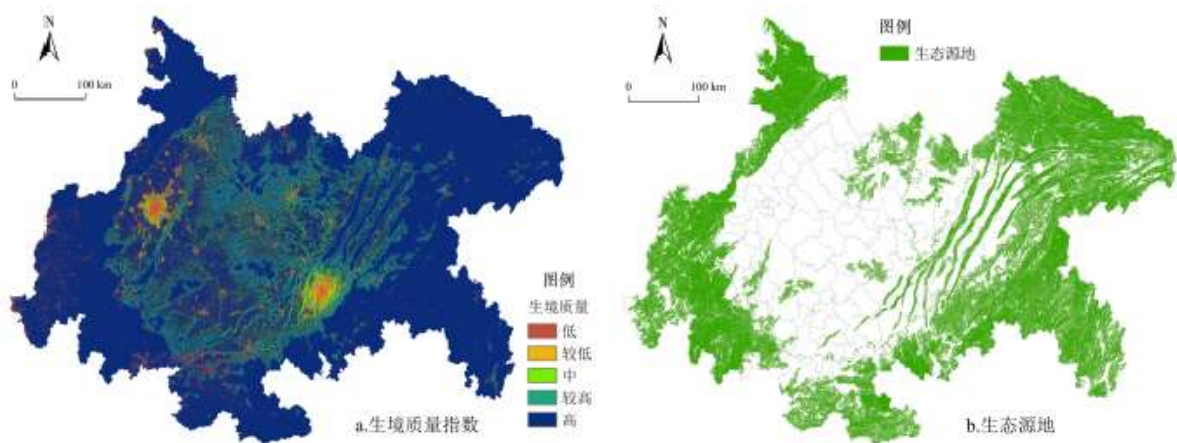


图 3 生境质量指数与生态源地

2.2.2 阻力风险管控

分别统计不同阻力等级空间分布情况可知：①阻力值低区占研究区总面积的 25.61%，环生态源地分布作为源地生态系统服务功能向区外蔓延的重要缓冲区，存在的生态风险较小，主要分布于川东平行岭谷区，而因为盆地西部紧邻成都都市圈范围，受阻较大，故缓冲区较为狭窄。②阻力值中等区占比为 14.65%，是生态源地向阻力高区扩张的过渡地带，因紧邻人类活动频繁或自然环境条件适宜性差的区域而承受较高的景观生态风险，主要环绕高阻力区分布于四川盆地底部平原—边缘山地、丘陵交错带，亟需开展水土流失治理和发展高质量绿色生态农业。③阻力值高区占比为 13.20%，是自然生态系统向外扩张面临最严重阻滞的区域，主要集中分布于成都平原和川中丘陵区等地。因此，将生态源地以外的区域划分为生态缓冲区、生态过渡区、生态阻滞区（图 4），分别以生态屏障保育、开发建设管控、景观格局重塑为核心目标。

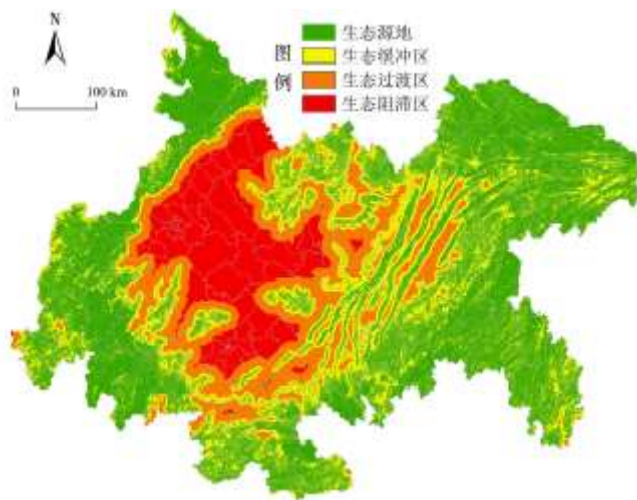


图 4 生态源地与阻力分区

2.2.3 生态廊道与关键节点建设

利用 ArcGIS 中链接路径工具构建潜在生态廊道体系 76 条，结合区域特点构筑以长江、大渡河、岷江、沱江、涪江、嘉陵江、渠江和乌江等江河为主干的自然水生廊道体系 8 条，共计 84 条廊道，总计长约 5046.19km，共同构成成渝城市群生态廊道网络体系（图 5）。①潜在廊道是主要由林、水、湿地形成以连接源地的通道，是源地向外扩散生态系统服务的重要路径，分为较为活跃的生态绿廊和较不活跃的潜在绿廊。其中 8 条生态绿廊和 7 条潜在绿廊，均经过生态阻滞区，受城镇扩张、农业垦殖过度 and 植被破坏等人为影响而威胁廊道系统的建设和修复，亟需从调整功能空间布局、建设生态型交通道路、增加区域植被覆盖密度等方面优化绿色廊道网络；22 条生态绿廊和 5 条潜在绿廊经过生态过渡区，因丘陵地貌区脆弱效应显著、农林经济发展引发的景观破碎等人为一自然复合风险威胁其自我调节能力，而需要根据生态系统受损诊断情况，精准管控大规模开发、优化生产结构等，重新焕发与提升绿廊的生机和活力；30 条生态绿廊和 4 条潜在绿廊主要经过生态缓冲区，途经风险低区，具有维持和稳固生态源地核心功能的作用，应从拓宽宽度、延伸长度、优化结构等方面加强绿廊功能提升和保持，避免风险因素干扰、阻断廊道连通。②自然水生廊道为区内八大江河干流形成的河流碧道，以水为纽带承载着地区物质循环和能量流动的重要生态功能，河流沿岸不仅是动植物的天然栖息地，而且是人类生产生活重要空间载体。其中，长江干流作为最长的主干道，流经宜宾、泸州和重庆 3 座城市，沿途主要经过生态缓冲区而面临生态风险相对缓和，但成渝城市群处于长江上游作为其生态安全屏障，在西部大开发和长江经济带建设背景下，尤其需要维护好水生生态系统服务；岷江、沱江、涪江均为途经生态阻滞区的碧道，而沱江流经阻滞区距离最长，三江两岸均有密集城镇，与经过阻滞区的生态绿廊、潜在绿廊一样需要防止沿岸绿色植被规模减少和破碎化，还需加强河道沿岸生态质量管控，避免水体污染及生物多样性下降等生态风险；嘉陵江作为流经生态过渡区的碧道，沿途聚集有相当规模的城镇亦需加固绿色基础设施体系，开展河道和河滩地保护修复，提升水土保持和防洪泄洪功能；大渡河、渠江和乌江与长江干流一样主要流经生态缓冲区，并且沿途所布城镇建设规模相对较小而所受人为干扰有限，是维持生态屏障功能的重点保育区域。

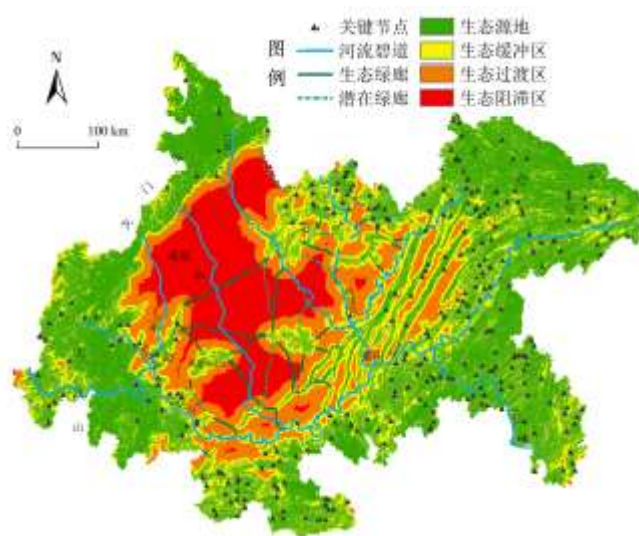


图 5 成渝城市群生态建设管控体系

以生态源地扩张所受阻力“脊线”和“谷线”的交点为生态关键节点，共计 316 处（图 5）。结果表明，关键节点所在区域大部分紧靠生态源地，是生态外流的重要“关节”所在，具有保持和维护生态源地连通性、完整性的意义。主要环四川盆地分布且多集中于成渝城市群东部生态涵养核心区域范围内，是疏通生态障碍、修复破损生境的重点区域。其中，临近绿廊的战略要点，具有维持生物多样性和受较强风险干扰的双重属性，需严格管控人为活动，辅以保护保育工程；临近碧道的战略要点，因临近河流岸线而较为敏感，故需采取人居环境整治、防治污染、岸线景观和河滩地保护修复等工程措施。

3 结论与讨论

基于生命共同体理念,从地形山势、河湖水体、土壤环境、人类活动、景观结构 5 个维度评估成渝城市群景观生态风险,根据评价结果结合影响因子空间分布格局探究生态胁迫效应,耦合景观生态安全格局构建生态网络体系以管控地区景观生态风险。结论如下:

①成渝城市群景观生态风险水平基本呈正态分布,中低风险区域占比为 66.85%,较高和高风险区域占比为 33.15%。结合生境质量评估结果,整体上生境质量较好、生态风险可控;景观生态风险较高区域主要集中于四川盆地底部的城镇密集区、盆周邛崃山—相岭和长江上游盆周山区,局部风险高低区具有交错特征。总体来看,自然环境状况是引发盆周山区较高景观生态风险的主要因素;人类开发活动是引发盆地平原丘陵区较高生态风险的主要因素,但部分区域因敏感的自然条件叠加、矿产资源开采等人类剧烈活动则极易引发生态风险。

②识别出生态源地 111461.62km²,约占研究区总面积 46.54%,主要分布于盆中边缘山地,生态保护的核心区域。将源地以外区域划分为生态阻滞区、生态过渡区、生态缓冲区,占总面积比例分别为 25.61%、14.65%、13.20%,结合地域特点明晰不同分区生态风险管控方向。构建“76+8”廊道系统,长约 5046.19km,确定 316 处生态节点,形成地区绿色网络体系,其中生态廊道为连通生态源地间的纽带,而生态节点是扩散源地生态服务的“踏脚石”,共同维持景观生态系统健康和稳定性。

③根据景观生态风险评价结果,结合景观格局优化网络,实施分区分类风险管控策略。在成都平原和川中丘陵区域加强城镇开发管制、生态农业建设和自然保护地扩张,结合“有机更新”“城市双修”改善城镇绿地系统,结合全域国土综合整治促进乡村产业生态化和山水田园景观形态的和谐,以碧道和绿廊系统串联区内源地。在盆周山地区域推进受损生态系统的修复,以小流域为单元开展重大生态问题治理,提升景观生态服务功能。整体上,四川以“治”为主、重庆以“育”为主,形成保育东部屏障、辅助再生修复盆周南北西三面山地、重塑盆地核心生态网络的成渝城市群生态保护修复格局。

基于生命共同体理念联系要素过程和格局,有助于判别景观综合体风险因子作用而采取相应管控手段,但还需纳入诸多现实影响因素,并探究风险因子间的权衡和协同作用。在诸多研究中,城乡建设等人类开发活动是区域景观生态风险形成的主导因素^[33],但据本研究结果,影响因素还存在显著的地域分异特征,即自然地理格局决定人类活动空间范围,人类剧烈活动因此集中于特定空间,形成地域特征。从景观生态风险评价方法看,细究评价因子量化的生态学意义仍有必要;当前风险评价大多为静态评估,缺乏时空动态评估和预警研究,还应关注不同因子构成综合景观生态风险的时空交互过程。

参考文献:

- [1]杨桂山,徐昔保.长江经济带“共抓大保护、不搞大开发”的基础与策略[J].中国科学院院刊,2020,35(8):940-950.
- [2]彭建,李慧蕾,刘焱序,等.雄安新区生态安全格局识别与优化策略[J].地理学报,2018,73(4):701-710.
- [3]Kilinc M Y. Misuse of the land for industry and urbanization resulting environmental problems[J]. Artium, 2013, 1(1):82-85.
- [4]Ma L, Bo J, Li X, Fang F, et al. Identifying key landscape pattern indices influencing the ecological security of inland river basin: The middle and lower reaches of Shule River Basin as an example[J]. Science of the Total Environment, 2019, 674:424-438.
- [5]汪翡翠,汪东川,张利辉,等.京津冀城市群土地利用生态风险的时空变化分析[J].生态学报,2018,38(12):4307-4316.

-
- [6]Bilionis I,Zabaras N.A stochastic optimization approach to coarse-graining using a relative-entropy framework[J].The Journal of Chemical Physics,2013,138(4):313-344.
- [7]Peng J,Pan Y,Liu Y,et al.Linking ecological degradation risk to identify ecological security patterns in a rapidly urbanizing landscape[J].Habitat International,2018,71:110-124.
- [8]Dickson B G,Albano C M,Anantharaman R,et al.Circuit-theory applications to connectivity science and conservation[J].Conservation Biology,2019,33(2):239-249.
- [9]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.
- [10]Sulaiman MB,Salawu K,Barambu A U.Assessment of concentrations and ecological risk of heavy metals at resident and remediated soils of uncontrolled mining site at Dareta Village,Zamfara,Nigeria[J].Journal of Applied Sciences and Environmental Management,2019,23(1):187-193.
- [11]Xu L,Chen SS,Xu Y,et al.Impacts of land-use change on habitat quality during 1985-2015 in the Taihu Lake Basin[J].Sustainability,2019,11(13):3513.
- [12]杨永春,张旭东,穆焱杰,等.黄河上游生态保护与高质量发展的基本逻辑及关键对策[J].经济地理,2020,40(6):9-20.
- [13]吕永龙,王尘辰,曹祥会.城市化的生态风险及其管理[J].生态学报,2018,38(2):359-370.
- [14]黄寰,肖义,王洪锦.成渝城市群社会—经济—自然复合生态系统生态位评价[J].软科学,2018,32(7):113-117.
- [15]Gong P,Chen B,Li X,et al.Mapping essential urban land use categories in China (EULUC-China):preliminary results for 2018[J].Science Bulletin,2020,65(3):182-187.
- [16]翟俊,侯鹏,赵志平,等.青海湖流域景观格局空间粒度效应分析[J].国土资源遥感,2018,30(3):159-166.
- [17]李霖,苏世亮,翁敏,等.生命共同体监评理论框架研究[J].地理信息世界,2019,26(4):1-6.
- [18]宇振荣,杨新民,陈雅杰.河南省南太行地区山水林田湖草生态保护与修复[J].生态学报,2019,39(23):8886-8895.
- [19]刘珍环,张国杰,付凤杰.基于景观格局—服务的景观生态风险评价——以广州市为例[J].生态学报,2020,40(10):3295-3302.
- [20]高俊刚,吴雪,张懿铨,等.基于等级层次分析法的金沙江下游地区生态功能分区[J].生态学报,2016,36(1):134-147.
- [21]徐秋阳,王巍巍,莫耀.京津冀地区景观稳定性评价[J].生态学报,2018,38(12):4226-4233.
- [22]宁启蒙,欧阳海燕,汤放华,等.土地利用变化影响下洞庭湖地区景观格局的时空演变[J].经济地理,2020,40(9):196-203.

-
- [23]郑茜,曾菊新,罗静,等.武汉市生态网络空间结构及其空间管治研究[J].经济地理,2018,38(9):191-199.
- [24]Gong J,Xie Y,Cao E, et al. Integration of InVEST-habitat quality model with landscape pattern indexes to assess mountain plant biodiversity change:A case study of Bailongjiang watershed in Gansu Province[J].Journal of Geographical Sciences,2019,29(7):1193-1210.
- [25]Caro C,Marques J C,Cunha P P, et al. Ecosystem services as a resilience descriptor in habitat risk assessment using the InVEST model[J].Ecological Indicators,2020,115:1-17.
- [26]Peng J,Zhao S,Dong J, et al. Applying ant colony algorithm to identify ecological security patterns in megacities[J].Environmental Modelling & Software,2019,117:214-222.
- [27]Terrado M,Sabater S,Chaplin-Kramer B, et al. Model development for the assessment of terrestrial and aquatic habitat quality in conservation planning[J].Science of the Total Environment,2016,540:63-70.
- [28]彭建,徐飞雄.不同格网尺度下的黄山市生境质量差异分析[J].地球信息科学学报,2019,21(6):887-897.
- [29]李青圃,张正栋,万露文,等.基于景观生态风险评价的宁江流域景观格局优化[J].地理学报,2019,74(7):1420-1437.
- [30]梁发超,刘浩然,刘诗苑,等.闽南沿海景观生态安全网络空间重构策略——以厦门市集美区为例[J].经济地理,2018,38(9):231-239.
- [31]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.
- [32]张玥,许端阳,李霞,等.中—老交通走廊核心区生态廊道构建与关键节点识别[J].生态学报,2020,40(6):1933-1943.
- [33]王洁,摆万奇,田国行.土地利用生态风险评价研究进展[J].自然资源学报,2020,35(3):576-585.