

喀斯特生态脆弱区旅游生态系统韧性时空变化及多尺度障碍因素 ——以贵州省为例¹

郭向阳¹, 明庆忠², 杨春宇¹, 穆学青^{※3}, 胡金海¹

(1.贵州财经大学 工商管理学院, 中国贵州 贵阳 550025; 2.云南财经大学 旅游文化产业研究院, 中国云南 昆明 650221; 3.南京师范大学 地理科学学院, 中国江苏 南京 210023)

【摘要】: 文章以贵州省为研究区域, 基于 DPSIR 模型构建旅游生态系统韧性理论评价框架, 综合采用熵权 TOPSIS 方法、GIS 空间分析技术和障碍度模型, 探究 2011—2020 年贵州省旅游生态系统韧性时空演化规律及分维度空间分布模式, 并基于多空间尺度诊断旅游生态系统提韧的障碍因素。研究发现: ①在时间上, 2011—2020 年旅游生态系统韧性呈现上升趋势, 贵阳市、遵义市上升幅度明显, 但各市(州)旅游生态系统韧性的差异程度逐渐变大。总体上, 经济较发达地区旅游生态系统韧性高于经济欠发达地区。②在空间上, 2011—2020 年贵州省旅游生态系统韧性总体呈现“东高西低、北高南低”趋势, 在空间上形成以“贵阳市—遵义市—黔南布依族苗族自治州—黔东南苗族侗族自治州”为中心向周边递减的异质性格局。③响应(R)是阻碍贵州省旅游生态系统提韧的主要维度; 工业污染治理资金投入占 GDP 比重、植被净初级生产力、城市日污水处理能力是调节旅游生态系统韧性的主要因子。④提高植被净初级生产力效能、遏制石漠化和水土流失、缓解旅游生态空间与城镇空间矛盾、提升旅游生态系统功能是贵州省旅游生态系统空间修复的主攻方向。

【关键词】: 旅游生态系统韧性; 障碍因素; 植被净初级生产力; 旅游生态空间保护; 喀斯特生态脆弱区; 石漠化

【中图分类号】: F592.7; X820.3 **【文献标志码】**: A **【文章编号】**: 1000-8462(2023)10-0190-11

DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2023.10.019

党的二十大报告指出:“中国式现代化是人与自然和谐共生的现代化”。生态环境是区域可持续发展的根基, 旅游业高质量发展是保护区域生态环境的重要举措[1]。旅游产业拥有环境友好和资源消耗相互矛盾的属性[2], 一方面, 旅游发展会促进当地生态环境保护与环境美化, 另一方面旅游活动过度开展会导致旅游生态系统受到严重冲击, 其适应与恢复过程需要更多的内外力支持才能实现修复与良性循环[3]。韧性理论无疑是分析外来冲击对旅游地生态系统影响过程、探索旅游生态系统恢复与重建机制的重要视角。因此, 在我国旅游产业处于转型升级的关键期, 加强旅游生态系统韧性建设和可持续发展转型, 成为当前区域旅游业高质量发展的重要方向和路径[4]。

韧性(Resilience)指系统受到扰动后维持自身稳定并复苏的能力[5]。(1)韧性研究: 1970 年代, 加拿大生态学家 Holling[5]

¹ 收稿时间: 2023-07-04; 修回时间: 2023-09-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(41961021、42161035); 教育部人文社会科学研究青年基金项目(22YJCZH040); 贵州省教育厅普通本科高校科学研究项目(黔教技[2022]167号); 贵州省高等学校智慧旅游创新团队项目(黔教技[2022]017号); 贵州财经大学创新探索及学术新苗项目项目(2022XSXMB04); 贵州省哲学社会科学创新团队建设计划

作者简介: 郭向阳(1990—), 男, 博士, 讲师, 研究方向为旅游地理。E-mail: 1042961349@qq.com

※通讯作者: 穆学青(1993—), 女, 博士研究生, 研究方向为旅游地理。E-mail: 1508018247@qq.com

将“韧性”引入生态学并定义韧性是衡量系统吸收状态变量、驱动变量和参数变量能力的一种度量。随着研究深入，韧性研究逐渐从自然领域引入社会学、经济学、工程学、地理学以及旅游生态学等领域[6,7,8,9,10]。(2)旅游生态系统研究：1990年代，在土耳其伊斯坦布尔举办的区域科学大会首次提出旅游业发展中的环境问题，维持旅游生态系统可持续发展与提升韧性成为旅游生态学领域研究的重要议题[11]。国内外研究内容主要集中在旅游生态足迹[12]、智慧旅游生态系统[13]、旅游生态系统能值[14,15]、旅游绿色生产率[16]、旅游生态承载能力[17]、旅游生态系统价值共创[18]、生态旅游者环境责任行为[19]、旅游生态补偿市场化路径[20]、旅游生态服务价值估算[21]、旅游生态位理论与实证[22]、旅游生态系统适应性管理[23,24]、旅游地社会—生态系统脆弱性[25,26]、旅游环境系统弹性[27,28,29]和旅游可持续发展影响机制[30]等。以往关于旅游生态系统的研究有助于揭示旅游生态系统要素空间耦合路径、反馈功能及组织结构运行规律，为探索旅游地旅游生态系统韧性的机理构造、演变规律、动力学机制及治理模式奠定了基础。综上，以往学界关于韧性与旅游生态系统研究取得了丰硕成果，但仍然处于纵深拓展阶段，韧性理论与旅游生态系统研究的结合，对旅游地实现可持续发展至关重要[4]。通过归纳以往研究可知，旅游生态系统是在自然生态系统基础上，通过人类旅游活动对自然生态环境的适应与改造而建立起来的自然生态、旅游经济产业和地域社会文化复合体系，旅游生态系统由区域内的自然生态系统与旅游社会经济系统复合而成。因此，相较于自然生态系统韧性，旅游生态系统韧性是指旅游生态复合系统（生态、经济和社会系统）受到外力干扰和冲击后，其自身的恢复能力和恢复过程，是旅游地生态—经济—社会之间和谐有序发展状态的表征。然而，以往研究仍存在以下不足：一是以往大多基于适应性循环理论、扰沌理论和盆地模型，从“抵御—重构—恢复—更新能力”维度抑或“稳定性—敏感性—适应性”维度对旅游系统韧性展开研究，较少从有机体整体视角来系统构建旅游生态系统韧性评价框架与指标体系，而 DPSIR 模型能有效反映系统的因果关系并整合资源、发展、环境与人类健康等要素，为科学评估“旅游生态系统韧性”提供新的思路；二是以往研究对象集中刻画国家公园、大别山革命老区和乡村旅游地旅游生态系统[30]，而喀斯特生态脆弱区兼具生态复杂性、生物多样性、环境脆弱性与敏感性特征，当前对受全球气候变化现实冲击与旅游活动共同影响下的喀斯特生态脆弱区旅游生态系统韧性关注度不够，且弱化了对其旅游生态系统韧性整体性及分维度的精细化研究；三是考虑到地理空间的多尺度与异质性，旅游生态系统提韧障碍因素是不同的，必须基于多维地理单元诊断旅游生态系统提韧的关键障碍因素，为其因地制宜地制定适应性管理政策和实施适宜性应对措施提供依据。

优良的生态环境是贵州最大的发展基础和竞争优势，2022年国务院印发《关于支持贵州在新时代西部大开发上闯新路的意见》，赋予贵州省“生态文明建设先行区”的战略定位。近年来，习近平总书记多次对贵州省旅游业发展作出重要指示，要求贵州省充分发挥旅游资源优势，丰富旅游生态和人文内涵，把旅游业做大做强。贵州省作为山地旅游大省，其旅游业发展极大依赖于自然环境优势，但同时贵州省喀斯特地貌面积占全省国土总面积的61.9%，旅游业粗放式开发可能会对当地岩溶生态系统带来巨大冲击[26]，旅游生态系统提韧是贵州省旅游业可持续发展的关键基础和重要保障，科学研究其旅游生态系统韧性时空特征及障碍因素，不仅有利于贵州省牢固践行“两山”理念，推进国家生态文明试验区建设，筑牢长江、珠江上游生态安全屏障，而且对促进其旅游生态系统服务功能与价值实现，以及保护世界遗产资源多样性，促进旅游生态系统良性循环具有重要意义。

基于此，本文以喀斯特生态脆弱区贵州省为研究对象，基于 DPSIR 模型构建旅游生态系统韧性理论框架，综合采用熵权 TOPSIS 方法、障碍度模型和 GIS 反距离空间插值法，明晰其旅游生态系统韧性时空格局及其分维度空间模式，并分别从市（州）尺度和生态功能区尺度（《贵州省国土空间生态修复规划（2021—2035年）》将贵州省国土空间生态修复格局划分为黔西高原水源涵养区、黔中城市生态功能区、赤水河生态廊道保护区、南部石漠化集中连片区、武陵山生物多样性保护区、苗岭生物多样性保护区六大生态功能区）识别调节旅游生态系统韧性的主导障碍因素。一方面，通过对喀斯特生态脆弱区旅游生态系统韧性的量化研究，为贵州省生态旅游发展科学规划与保护提供参考依据；另一方面，通过多空间尺度精细化障碍因素的诊断与捕捉，将因地制宜地制定各生态功能区旅游生态系统提韧的适应性管理对策，为其绿水青山转化为金山银山提供决策支撑。

1 旅游生态系统韧性理论框架及评价指标体系构建

旅游生态系统韧性是维持旅游目的地生态、经济和社会之间的和谐有序发展的状态。“驱动力(Driving force)—压力(Pressure)—状态(State)—影响(Impact)—响应(Response)”(DPSIR)模型由经济合作与发展组织于1993年提出，DPSIR模型兼具DSR(“驱动力—状态—响应”)和PSR(“压力—状态—响应”)的特点，能有效地反映系统的因果关系并整合资源、发展、

环境与人类健康等要素，是评价旅游生态系统韧性的适宜方法[31]。旅游生态系统韧性是由驱动力（D）、压力（P）、状态（S）、影响（I）、响应（R）构成的有机整体，其包括资源环境系统、经济系统和社会系统等若干个子系统，表征在一定条件下能够抵御外部风险、灾害的弹性，以及适应并修复自身系统状态的能力。在旅游地生态系统可持续发展理念的指导下，本文以 DPSIR 框架构建旅游生态系统韧性理论框架及评价指标体系。驱动力（D）—压力（P）—状态（S）—影响（I）—响应（R）之间的因果逻辑关系及循环传导路径如图 1。

(1)驱动力（D）是旅游生态系统韧性的发展源头，亦是反映旅游生态系统韧性变化的原因，包括资源环境驱动力、社会驱动力和经济驱动力。(2)压力（P）是指对旅游生态系统韧性形成冲击的环境压力和社会压力。旅游地接待游客数量饱和与超载、人口激增等都会对生态环境造成压力与挑战，同时生活污水、废气、废渣的排放会严重破坏旅游地自然环境以致于给生态旅游发展带来负向影响。(3)状态（S）是旅游地环境和社会经济发展的现实表现，对于旅游生态系统现状及其动态变化的监测是研究驱动力和压力的延续，也是分析“影响”和“响应”的出发点。(4)影响（I）是反映旅游生态系统在驱动力（D）、压力（P）、状态（S）和响应（R）共同作用下表现出的稳定趋势。(5)响应（R）即旅游地根据自身情况对存在的问题进行的一系列环境治理、生态修复、经济调控与社会响应举措。

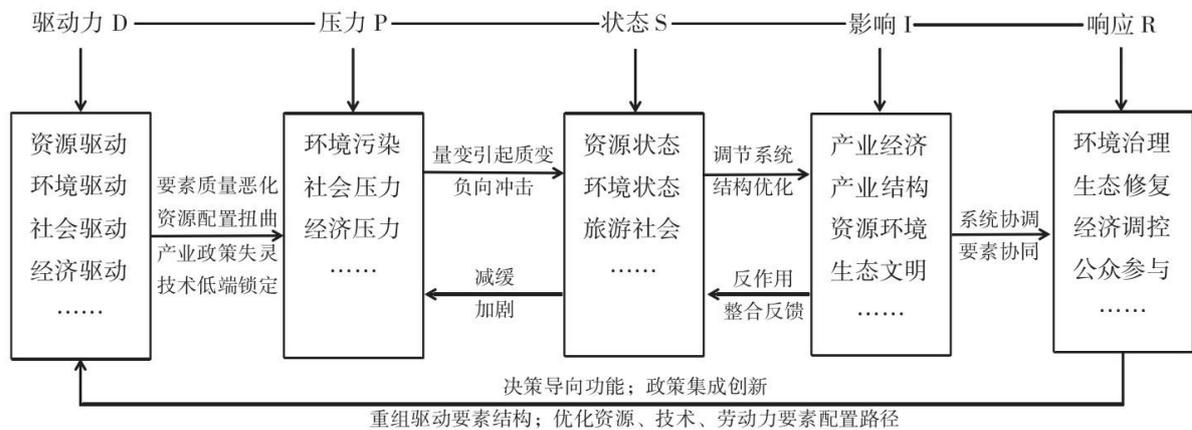


图 1 基于 DPSIR 模型构建的旅游生态系统韧性理论框架

依据旅游生态系统韧性理论框架，旅游生态韧性子系统之间因果逻辑关系及作用路径，结合以往相关研究成果 [2,4,9,13,25,26,30]和贵州省地理环境特征，并参考 2021 年 10 月生态环境部发布的《区域生态质量评价办法（试行）》，遵循系统性、代表性、科学性与可获取性原则，构建旅游生态系统韧性评价指标体系（表 1）。此外，考虑到喀斯特石漠化区地表崎岖破碎，坡度陡峭，溶蚀、水蚀作用显著，因此在响应（R）维度中纳入完成人工造林面积、水土保持指数等与喀斯特生态脆弱区密切相关的指标。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 熵权 TOPSIS 评价模型

TOPSIS 法是一种有效多目标决策分析方法[34]。本文采用熵权 TOPSIS 模型计算旅游生态系统韧性，操作步骤见相关文献[34]。根据以往研究[35,36]，并结合贵州省旅游生态系统韧性测量实际，将旅游生态系统韧性分级标准划分为很不安全状态 [0.000,0.100)、较不安全状态[0.100,0.250)、临界安全状态[0.250,0.400)、较安全状态[0.400,0.700)、理想安全状态[0.700,1.000]。

2.1.2 障碍度模型

本文通过引入障碍度模型对旅游生态系统韧性各指标因子进行障碍度测算和大小排序，以明确阻碍贵州省旅游生态系统韧性的主要障碍维度及障碍因子，以及各障碍维度及障碍因子对旅游生态系统韧性的影响程度大小。障碍度公式详见相关文献[37]。

2.1.3 反距离权重空间插值

反距离权重插值法（Inverse Distance Weight）是一种几何局部插值方法，它假设未知值的点受较近控制点的影响比较远控制点的影响更大，该方法可以进行确切的或者圆滑的方式插值。本文采用反距离权重空间插值方法探究旅游生态系统韧性各维度的空间分布模式与特点。其公式详见文献[38]。

表 1 旅游生态系统韧性评价指标体系

维度	要素层	指标层 (编号, 单位)	指标含义	指标属性
驱动力 (D)	资源环境要素	单位GDP能耗 (X_1 , 万吨标准煤/亿元)	经济活动能源利用效率、能源消耗水平和利用效果	-
	社会要素	旅游城镇化 (X_2 , 分)	构建旅游发展、人口就业、土地利用、社会福利、生态建设共5个准则层旅游城镇化评价指标体系, 采用熵权TOPSIS法评价 ^[32]	+
		旅游接待总人次 (X_3 , 万人)	旅游吸引力及品牌效应	+
	经济要素	总人口数量 (X_4 , 万人)	本地旅游流客源市场潜力规模	+
		GDP总量 (X_5 , 亿元)	旅游地经济发展动力与物质支撑	+
压力 (P)	社会要素	人口密度 (X_6 , 人/km ²)	旅游地人口集聚对环境挤压效应	-
		游客密度指数 (X_7 , 人/km ²)	当地游客接待人数/国土面积, 旅游地游客规模对环境承载压力	-
	环境要素	废水排放量 (X_8 , 亿t)	废水排放对旅游地水系统的冲击	-
		工业固体废物排放量 (X_9 , 亿t)	工业废弃物排放对生态环境压力	-
		SO ₂ 排放量 (X_{10} , 亿m ³)	工业废气排放对旅游地环境压力	-
人均公园绿地面积 (X_{11} , m ²)	旅游地整体宜居水平	+		
状态 (S)	资源环境要素	归一化植被覆盖指数 (NDVI) (X_{12} , -)	植 旅游地森林资源碳汇潜力及气候调节效应	+
		被净初级生产力 (NPP) (X_{13} , g C/m ²)	生态系统中其他生物成员生存和繁衍的物质能量基础及碳汇能力	+
	旅游社会要素	旅行社数 (X_{14} , 家)	旅游组织、信息传播与营销能力	+
影响 (I)	产业经济	星级饭店数 (X_{15} , 家)	旅游消费市场食宿接待能力	+
		旅游收入占GDP比例 (X_{16} , %)	旅游对区域经济总量的贡献程度	+
	生态环境	森林公园面积 (X_{17} , hm ²)	旅游地森林资源保育及碳汇能力	+
	产业结构	三产产值占GDP比重 (X_{18} , %)	旅游地产业结构高级化程度	+
		生态文明指数 (X_{19} , 分)	旅游地生态文明发展水平	+
响应 (R)	环境治理	城市污水日处理能力 (X_{20} , 万m ³)	生活 旅游地水环境治理水平	+
		生活垃圾无害化处理率 (X_{21} , %)	旅游地生活环境质量优劣程度	+
	生态修复	完成人工造林面积 (X_{22} , 万hm ²)	水 旅游地植被修复情况	+
		水土保持指数 (X_{23} , 万km ²)	表征植被保持土壤的能力	+
	经济调控	工业污染源治理资金投入占GDP比重 (X_{24} , %)	旅游地相关部门对生态环境的财税支持、关注度与经济调控强度	+
社会响应	每万人在校大学生数 (X_{25} , 人)	旅游地人口整体素质以及其对生态环保理念的践行 ^[33]	+	

2.2 数据来源

社会经济类数据源于贵州省大数据发展管理局 (<https://dsj.guizhou.gov.cn/zfsj/>)、2012—2021年《中国城市统计年鉴》《贵州统计年鉴》、贵州省宏观经济数据库、2011—2020年贵州省各市(州)文化和旅游局官方网站和国民经济与社会发展统计公报。生态矢量类数据源自卫星影像解译数据, 植被质量与植被覆盖数据源自250 m分辨率植被覆盖指数(NDVI)数据和500 m分辨率植被净初级生产力(NPP)数据。地理信息类数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心 (<https://www.resdc.cn>)和贵州省自然资源厅地理信息公共服务平台 (<http://guizhou.tianditu.gov.cn/liupanshui/newsinfo.html>)。鉴于“十二五”期间是国家新一轮西部大开发启动的关键时期, 也是贵州省旅游产业结构优化升级的重要转型期, 并考虑到数据可获取性, 选择2011—2020

年为研究时段。

3 结果分析

3.1 旅游生态系统韧性时空演化特征

3.1.1 旅游生态系统韧性时序演化特征

为探究 2011—2020 年贵州省旅游生态系统韧性时序演化特征，由旅游生态系统韧性核密度曲线估计图（图 2a）和箱线图（图 2b）可知：(1)核密度曲线整体呈现不断向右移动态势，且箱线图的中位数线呈现波动向右上方转移轨迹，这表明总体上 2011—2020 年贵州省旅游生态系统韧性呈现增长态势；(2)核密度曲线峰值降低、宽度加大、右拖尾拉长，分布延展性在一定程度上存在拓宽趋势，且箱线图上下限（上四分位数和下四分位数）长度趋向变大，表明随着发展周期推移与发展阶段更替，贵州省各市（州）旅游生态系统韧性的差异程度逐渐变大，旅游生态系统韧性极化效应逐渐增强，呈发散分布态势，尤其是受到新冠疫情不可抗力因素影响，2020 年旅游生态系统韧性与其他年份相比，图形变化很大，这主要归因于各市（州）旅游发展基础和地理环境差异等综合影响，各地区旅游生态系统抵御外界冲击与自身恢复的能力不同，造成各市（州）旅游生态系统韧性的发散分布态势增强。

3.1.2 旅游生态系统韧性空间演化特征

(1)旅游生态系统韧性总体空间趋势特征。由图 3 可知，贵州省 9 个市（州）的旅游生态韧性空间格局总体呈“东高西低、北高南低”态势。具体来看，2011—2020 年，呈现出自南向北逐渐增加趋势，自东向西随地理距离增加而递减态势。2020 年，从黔南布依族苗族自治州（以下简称黔南州）南部到遵义市北部，旅游环境韧性显著提高，证实了遵义市、铜仁市、黔东南苗族侗族自治州（以下简称黔东南州）和黔南州旅游环境系统韧性的显著改善。值得注意的是，随着时间推移，倒 U 形曲线峰值点高度总体提升，这表明贵州省旅游环境系统韧性总体水平呈上升趋势，得益于贵州省作为首批国家生态文明试验区，深入践行“山地公园省、绿色贵州建设”理念，不断推进“大生态旅游”战略行动。

(2)旅游生态系统韧性空间分异特征。为探究贵州省旅游生态系统韧性的时空异质性特征，根据上述旅游生态韧性分类标准，采用 ArcGIS 绘制贵州省 2011、2016、2020 年的旅游生态韧性空间分异图（图 4）。

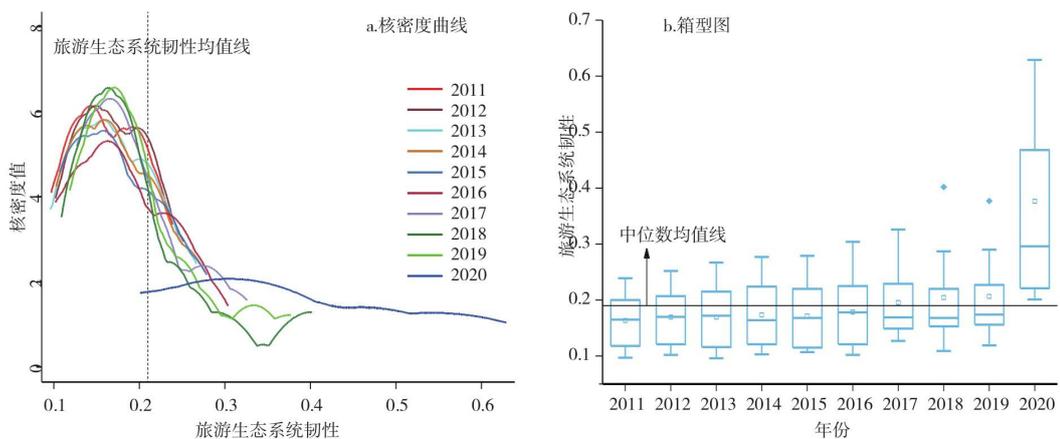


图 2 2011—2020 年贵州省旅游生态系统韧性核密度曲线和箱形图

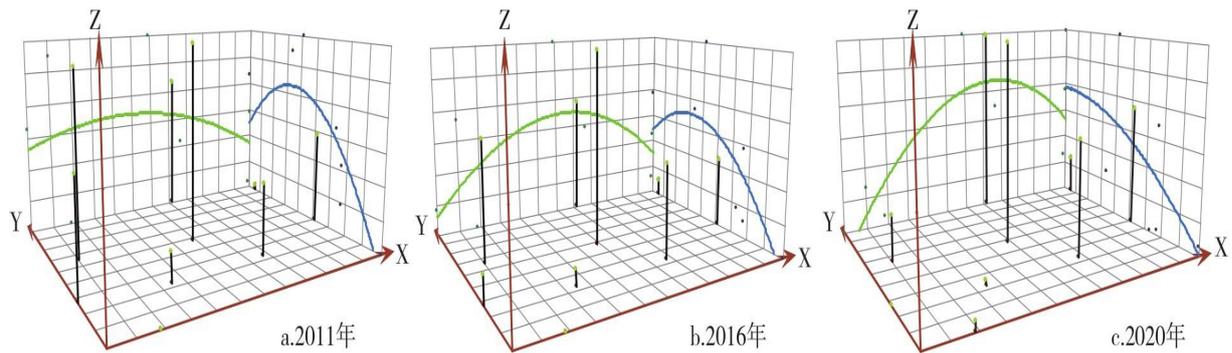


图 3 2011—2020 年贵州省旅游生态系统韧性空间趋势面拟合图

总体而言，2011—2020 年贵州省各市（州）旅游生态系统韧性呈不同幅度上升趋势，黔东旅游生态系统韧性增长明显优于黔西，至研究末期，形成以“贵阳市—遵义市—黔东南州—黔东南州”为旅游生态系统韧性较安全中心，毕节市、铜仁市为临界安全次中心，六盘水市、安顺市、黔西南布依族苗族自治州（以下简称为黔西南州）为外缘的层级性空间结构。具体而言，2011 年，黔西南州和铜仁市处于旅游生态系统韧性很不安全状态，贵阳市、遵义市、毕节市、六盘水市、安顺市、黔东南州和黔南州处于旅游生态系统韧性较不安全型状态。2016 年，黔西南州处于很不安全状态，黔南州、遵义市、铜仁市、黔东南州、安顺市、六盘水市和毕节市处于较不安全状态；处于临界安全状态的仅有贵阳市。2020 年，黔西南州仍然处于很不安全状态，六盘水市和安顺市处于较不安全状态，毕节市和铜仁市处于临界安全状态，贵阳市、遵义市、黔南州和黔东南州晋升为较安全状态。值得注意的是，至研究末期贵州省仍旧未出现理想安全状态的市（州），这表明贵州省旅游生态系统提韧任重道远。

3.1.3 “D-P-S-I-R” 各维度空间分布模式

在旅游生态系统韧性总体时空特征分析基础上，以 2020 年为时点进一步明晰各维度空间分布模式与自然、社会经济、人类活动的空间关联关系，由图 5 可知：

(1)驱动力 (D)。由图 5a 可知，驱动力 (D) 高值区处在黔中城市生态功能区和赤水河生态廊道保护区覆盖地区，能源利用效率和城镇化水平均较高，经济发展动力较为强劲。驱动力 (D) 空间分布模式反映了其与经济发展效益、旅游城镇化水平和经济发展模式的关联特点。

(2)压力 (P)。由图 5b 可知，压力 (P) 高值区主要集中在贵阳市及其周边地带，归因于该地区人口密度大、城镇化进程较快、游客密度指数高，进而导致该地区陆域旅游生态廊道破碎和断裂问题严重。压力 (P) 空间分布模式反映了其与人类生产生活的关联特点。

(3)状态 (S)。由图 5c 可知，状态 (S) 高值区呈现出以“贵阳市—遵义市—黔东南州”为中心向周边随地理距离增加而递减态势。状态 (S) 高值区大多位于苗岭生物多样性保护区、黔中城市生态功能区和赤水河生态廊道保护区，这表明状态 (S) 空间分布模式反映了地区生态宜居程度、植被覆盖指数和净初级生产力水平。

(4)影响 (I)。由图 5d 可知，影响 (I) 高值区分布在铜仁市与遵义市交界处的武陵山生物多样性保护区，归因于该区域通过加强自然保护地保护管理，科学构建重要原生生态系统整体保护网络，以及开展陆域水域生态廊道修复等措施；影响 (I) 较高值区依附于高值区分布，呈现空间关联性；影响低值区位于黔西南一隅（黔西南州和六盘水市）。

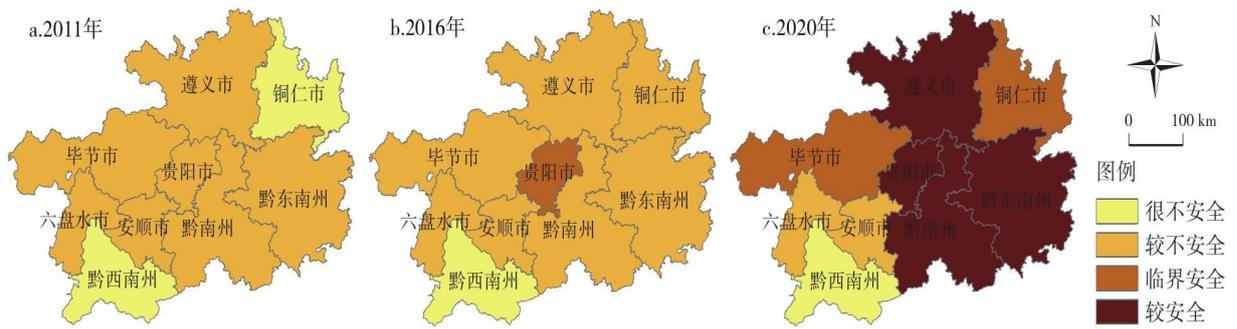


图4 2011—2020年贵州省旅游生态系统韧性空间分异图

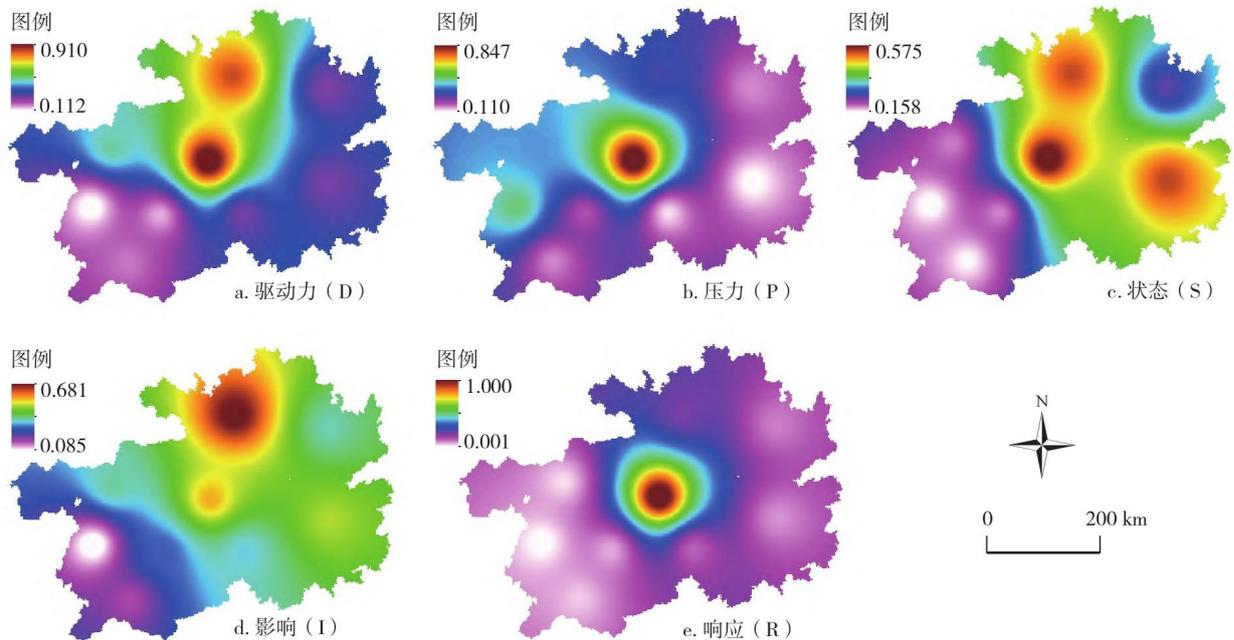


图5 贵州省旅游生态系统韧性各维度空间分布

(5)响应(R)。由图5e可知,响应(R)高值区呈现出以贵阳市为中心的圈层式空间结构特征,归因于其强有力的环境治理、生态修复、经济调控与社会举措;而毕节市、六盘水市、黔西南州、黔南州和铜仁市等边缘型市(州)响应水平较低。

3.2 旅游生态系统韧性主要障碍因素

3.2.1 5个维度障碍因素分析

(1)各市(州)5个维度障碍因素。由贵州省旅游生态系统韧性5个维度障碍因素均值曲线图(图6a~6c)和桑基图(图6a1~6c1)可知:首先,响应(R)曲线障碍度均值最高,且各市(州)桑基图的边对应响应(R)宽度最宽,表明响应(R)是阻碍贵州省旅游生态系统提韧的主要维度;其次,压力(P)是阻碍贵州省旅游生态系统提韧的次要维度;再次,驱动力(D)和状

态 (S) 的障碍度均值排序分别处第三、四位; 最后, 影响 (I) 障碍度均值处在末尾, 表明贵州省旅游生态系统具有相对稳定的发展趋势。综上, 未来提高贵州省旅游生态系统韧性水平必须注重响应 (R)、压力 (P) 2 个维度的改善与提升, 将旅游生态系统提韧作为其把绿水青山变为金山银山的重要转换器。

(2) 5 个维度障碍因素的空间分布特征。为探究贵州省各市 (州) 5 个维度障碍因素的空间分布异质性, 以 2020 年为研究时点, 采用 ArcGIS 自然断点法绘制出各维度障碍因素空间分布图 (图 7)。

(1) 由图 7a 可知, 受制于经济发展后劲不足和能源利用效率低, 旅游城镇化水平较弱, 加之城镇工业高速拓展和基础设施建设, 重要旅游生态源地 (节点) 之间潜在陆域生态廊道连通性受阻等综合影响, 贵州省的黔南州和黔西南州具有相对较大的驱动力 (D) 障碍, 而驱动力 (D) 对遵义市、六盘水市和毕节市的障碍程度相对较小。

(2) 由图 7b 可知, 由于生态环境本底较弱, 岩溶地理环境的脆弱性 (黔南州、黔西南州大多处在贵州省南部石漠化集中连片区), 加之游客密度指数较大, 叠加人类生产活动影响, 黔南州、黔西南州具有相对较大的压力 (P) 障碍; 毕节市岩溶地貌形态多样 (出露的岩石面积占全市总面积的 92.81%), 且其对粗放式矿产经济依赖性大, 工业 “三废” 产出较多, 面临着自然生态环境治理和经济活动生产方式转型的双重压力。

(3) 由图 7c 可知, 由于植被覆盖指数和净初级生产力效能较低, 毕节市、六盘水市旅游生态系统提韧面临着较大的状态 (S) 障碍, 而贵阳市、黔西南州具有较小状态 (S) 障碍。

(4) 由图 7d 可知, 受制于产业经济、生态环境和产业结构等因素综合制约, 六盘水市面临着相对较大的影响 (I) 障碍; 安顺市、黔东南州受到影响 (I) 障碍影响次之, 其余市 (州) 面临较低受制于影响 (I) 障碍。总体而言, 因各市 (州) 地理环境特征差异, 影响 (I) 障碍呈现空间不平衡分布态势。

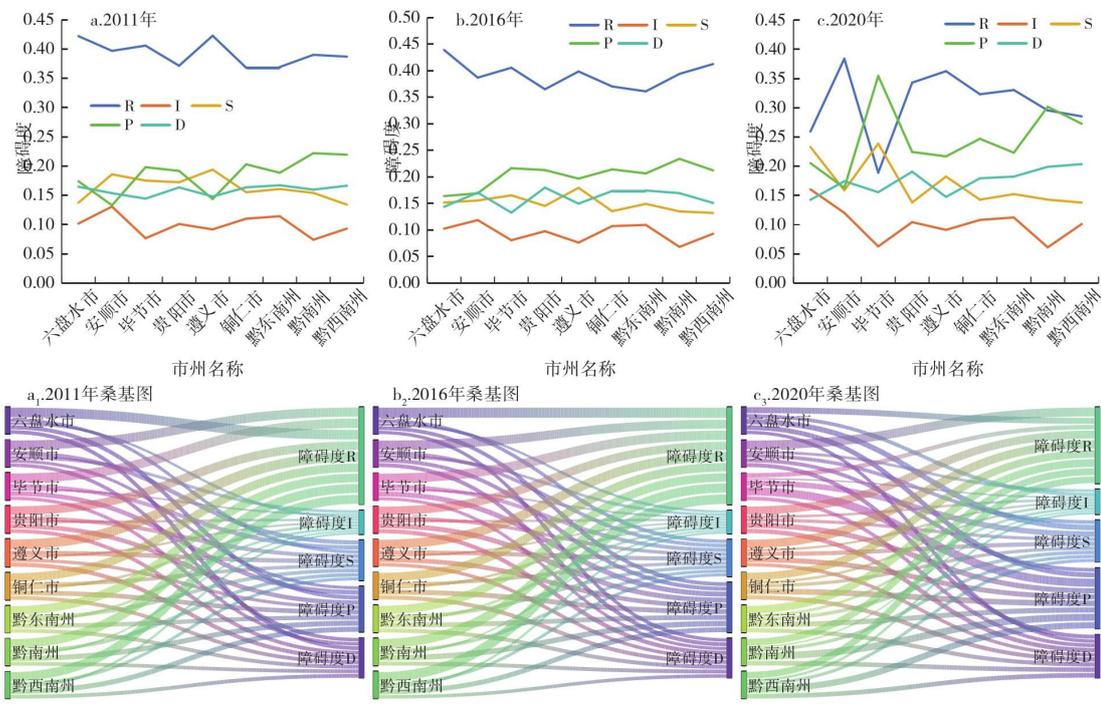


图 6 贵州省旅游生态系统韧性 5 维度障碍因素分布

注：桑基图主要由边、流量和节点组成，其中，桑基图边的宽度越宽，表明该市（州）旅游生态系统韧性受到对应因子的障碍程度值越大。

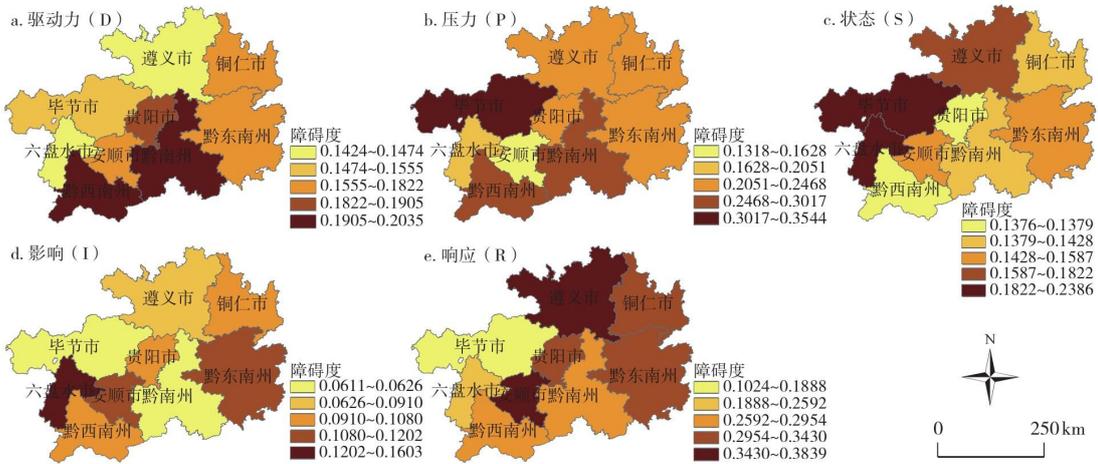


图 7 5 个维度障碍因素的空间分布

(5)图 7e 可知，响应（R）对旅游生态系统提韧的障碍度总体呈现由北至南、东至西随地理距离增加而递减的态势，表明响应（R）是调节和优化贵州省北部地区（遵义市）、东部地区（铜仁市、黔东南州）和安顺市旅游生态系统提韧的关键。

3.2.2 指标层障碍因素分析

3.2.2.1 各市（州）指标层障碍因素分析

为进一步捕捉影响贵州省各市(州)旅游生态系统提韧的指标层障碍因素，采用障碍度模型识别出前 3 位障碍因子(表 2):2011 年障碍因素出现次数最高的分别有工业污染源治理资金投入占 GDP 比重（X₂₄）9 次、植被净初级生产力（X₁₃）9 次、城市污水日处理能力（X₂₀）9 次；2016 年分别有工业污染源治理资金投入占 GDP 比重（X₂₄）9 次、植被净初级生产力（X₁₃）9 次、城市污水日处理能力（X₂₀）9 次。2020 年分别有植被净初级生产力（X₁₃）9 次、工业污染源治理资金投入占 GDP 比重（X₂₄）8 次、城市污水日处理能力（X₂₀）8 次。由此可见，2011—2020 年，工业污染源治理资金投入占 GDP 比重、净初级生产力、城市污水日处理能力是制约贵州省各市（州）旅游生态系统提韧的主要障碍因子。

表 2 2011—2020 年贵州省各市(州)旅游生态系统韧性排名前 3 位的障碍因子

年份	贵阳市	六盘水市	遵义市	毕节市	铜仁市	黔南州	黔东南州	黔西南州	安顺市
2011	X ₂₄								
	X ₁₃								
	X ₂₀								
2016	X ₂₄								
	X ₁₃								
	X ₂₀								
2020	X ₂₄								
	X ₁₃								
	X ₁₀	X ₂₀							

3.2.2.2 六大生态功能区指标层障碍因素分析

鉴于区域地理多尺度性与空间异质性特征，不同尺度旅游生态系统韧性障碍因素可能是不同的。因此，在市（州）尺度指标层障碍因素分析基础上，进一步对贵州省六大生态功能区旅游生态系统韧性的障碍因子进行识别（表3）。由表3可知：

(1)黔西高原水源涵养区：2011、2016年黔西高原水源涵养区旅游生态系统韧性的前3位障碍因子分别为水土保持指数(X23)、生活垃圾无害化处理率(X21)、城市污水日处理能力(X20),2020年SO₂排放量(X10)替代城市污水日处理能力(X20)。可知，水土保持指数、生活垃圾无害化处理率、城市污水日处理能力与SO₂排放量是阻碍黔西高原水源涵养区旅游生态系统提韧的关键变量。

(2)黔中城市生态功能区：2011、2016、2020年黔中城市生态功能区旅游生态系统韧性的前3位障碍因子均为生活垃圾无害化处理率(X21)、游客密度指数(X7)、城市污水日处理能力(X20)。归因于该地区是贵州省人口密度最大、开发强度最强、城镇化率最高的地区，导致旅游生态空间与城镇空间争地矛盾问题突出，且局部生态廊道受阻、生活垃圾及废水产生量大（贵州省生态环境厅公开数据显示，2020年第三季度黔中城市群贵阳市的地表水环境质量排名全省倒数第二位）。

表3 2011—2020年贵州省6大生态修复保护区旅游生态系统韧性排名前3位的障碍因子

年份	黔西高原水源涵养区	黔中城市生态功能区	赤水河生态廊道保护区	南部石漠化集中连片区	武陵山生物多样性保护区	苗岭生物多样性保护区
2011	X ₂₃	X ₂₁	X ₂₄	X ₂₃	X ₁₃	X ₁₃
	X ₂₁	X ₇	X ₇	X ₂₄	X ₁₂	X ₁₂
	X ₂₀					
2016	X ₂₃	X ₂₁	X ₂₄	X ₂₃	X ₁₃	X ₁₃
	X ₂₁	X ₇	X ₇	X ₂₄	X ₁₂	X ₁₂
	X ₂₀					
2020	X ₂₃	X ₂₁	X ₂₀	X ₂₃	X ₁₃	X ₁₃
	X ₂₁	X ₇	X ₂₁	X ₂₄	X ₇	X ₇
	X ₁₀	X ₂₀	X ₇	X ₂₀	X ₂₁	X ₂₀

(3)赤水河生态廊道保护区：2011、2016年赤水河生态廊道保护区旅游生态系统韧性前3位障碍因子均为工业污染源治理资金投入占GDP比重(X24)、游客密度指数(X7)、城市污水日处理能力(X20),2020年更替为城市污水日处理能力(X20)、生活垃圾无害化处理率(X21)、游客密度指数(X7)。该地区是贵州省重要经济增长极，粗放式旅游经济增长方式对生态环境冲击严重，加之地貌以溶蚀、侵蚀、剥蚀类为主，生态系统本底较弱。

(4)南部石漠化集中连片区：2011、2016、2020年南部石漠化集中连片区旅游生态系统韧性的前3位障碍因子均为水土保持指数(X23)、工业污染源治理资金投入占GDP比重(X24)、城市污水日处理能力(X20)。值得注意的是，水土保持指数(X23)的障碍度位居首位，主要归因于该地区地貌以溶蚀类低中山丘陵为主，叠加人类旅游活动影响，导致石漠化和水土流失问题突出，未来应以石漠化综合治理和流域保护修复为关键调节路径。

(5)武陵山生物多样性保护区和苗岭生物多样性保护区：2011、2016、2020年武陵山生物多样性保护区、苗岭生物多样性保护区的旅游生态系统韧性的首位障碍因子均为净初级生产力(NPP)(X13)。以上地区植被覆盖度和植被生物量水平较高，动植物资源丰富，但受制于岩溶发育、地表起伏大，加之人为开垦、城镇农村生活污染、生态保护空间和生态廊道与城镇空间存在矛盾等导致湿地规模缩减、水质下降，旅游生态系统功能呈现退化趋势。

4 结论、对策建议与讨论

4.1 结论

本文探究了 2011—2020 年贵州省旅游生态系统韧性的时空特征，并有效识别市（州）尺度和生态功能区尺度旅游生态系统提韧的主导障碍因素。主要结论如下：

(1)在时间上，2011—2020 年贵州省各市（州）旅游生态系统韧性呈上升趋势，贵阳市、遵义市上升趋势明显，但末期各市（州）旅游生态系统韧性差异程度逐渐变大。经济发展水平较高的贵阳市、遵义市旅游生态系统韧性等级高，这体现了经济驱动是调节旅游生态系统提韧的关键变量。空间上，总体特征为“东高西低、北高南低”，至末期形成了以“贵阳市—遵义市—黔东南州—黔南州”为旅游生态韧性较安全中心，毕节市、铜仁市为旅游生态韧性临界安全次中心，六盘水市、安顺市、黔西南州为旅游生态系统韧性外缘的层级性空间结构特征。

(2)响应（R）维度是阻碍贵州省各市（州）旅游生态系统韧性的主要因素，压力（P）维度处于次要位置，驱动力（D）和状态（S）分别处于第三、四位，影响（I）处在末尾。5 个维度障碍因素的空间分布规律与地区经济发展模式、能源利用效率、地理环境特征、植被覆盖指数、净初级生产力、产业结构、旅游生态修复措施实施效果等密切相关。

(3)研究期间，贵州省旅游生态系统提韧的主要障碍因子有工业污染源治理资金投入占 GDP 比重、植被净初级生产力、城市日污水处理能力。提升净初级生产力是武陵山生物多样性保护区和苗岭生物多样性保护区主要调节方向；遏制石漠化和水土流失是黔西高原水源涵养区、南部石漠化集中连片区的關鍵路径；缓解旅游生态空间与城镇发展空间的矛盾、提升自然生态系统功能是黔中城市生态功能区和赤水河生态廊道保护区的主攻方向。

4.2 政策建议

根据研究结论以及贵州省旅游生态系统发展实际问题，提出以下建议：

(1)2011—2020 年贵州省各市（州）旅游生态系统韧性均有不同程度提高，主要得益于《国家生态文明试验区（贵州）实施方案》《贵州省加快生态旅游发展实施方案》等明确大力发展环境友好型、资源节约型生态旅游。其中，贵阳市和遵义市旅游生态系统提韧幅度较高，归因于经济发展较快，且在旅游基础设施和环境治理投资强度相优于其他市（州）。总体而言，贵州省旅游生态系统高韧性地区主要分布在经济相对发达、环保资金投入充裕且受到严格监管的地区。此外，贵州省旅游生态系统韧性存在显著空间异质性，因此，旅游生态系统保护的相关部门在制定实施规划时，应考虑各地地理环境实际差异。

(2)鉴于响应（R）是贵州省各市（州）旅游生态系统提韧的主要障碍因素。首先，今后贵州省（尤其是障碍度较高的遵义市、铜仁市、黔东南州和安顺市）需要增强环境治理、生态修复、经济调控在旅游生态系统提韧上的贡献率，推进自然保护区基础设施建设，大力发展旅游新兴业态，提高旅游发展的生态福利绩效；其次，加快经济产业结构转型，提高投入环保资金占比，提升污水处理能力，提高植被覆盖率以减少水土流失，大力发展环保基础设施建设以维护自然环境，引导旅游发展方式向节约、集约转型。

(3)研究证实工业污染源治理资金投入占 GDP 比重、植被净初级生产力、城市日污水处理是影响旅游生态系统提韧的主要障碍指标，这表明相关部门应确保国家重点生态功能区在享受中央财政转移支付等优惠政策的同时，严格按照主体功能定位谋划旅游经济社会发展，结合《全国主体功能区规划》制定科学的旅游生态系统提韧计划，构建旅游生态系统群体结构、生态旅游廊道和生物多样性保护网络，进而实现旅游生态系统多维价值共创。

(4)研究表明贵州省六大生态修复保护区指标层障碍因素具有异质性特征。黔西高原水源涵养区应以矿山集中连片开采区修

复、遏制石漠化和水土流失趋势为主攻方向；黔中城市生态功能区应缓解旅游生态空间与城镇空间存在的矛盾，积极打造宜居宜业宜游特色小镇，推动实现旅游产业和城镇空间的融合；赤水河生态廊道保护区应主动优化经济增长方式及摒弃“冒进式”的旅游开发模式，探索建立国家公园、自然保护区等为主体的自然保护地体系，同时加快推动赤水河流域创新生态产品价值实现机制；南部石漠化集中连片区未来应以石漠化综合治理为关键调节路径；武陵山生物多样性保护区和苗岭生物多样性保护区应以生物多样性保护为主要调控方向，在保护区内全力推动世界自然遗产梵净山、大苗山创建国家公园，积极响应国家对苗岭、武陵山区、赤水河流域等一体化保护修复的政策，实施重点区域旅游生态系统保护和修复工程。

4.3 讨论

本文基于 DPSIR 模型构建的旅游生态系统韧性理论框架与指标体系，客观反映了喀斯特生态脆弱区旅游生态系统韧性的时空变化及主要障碍因素，为贵州省深入实施“大生态、大数据、乡村振兴”战略行动提供借鉴。相较于以往文献[2,25,26]基于单一尺度研究旅游生态系统变化的驱动因子，本文基于多空间尺度（市<州>尺度和生态功能区尺度）捕捉旅游生态系统韧性的主导障碍因素，能为不同尺度旅游生态系统提韧提供关键决策信息支持，是对以往相关研究的回应、拓展与突破，也是本文相较于以往研究的创新之处。本文研究贡献：(1)基于 DPSIR 模型构建旅游生态系统韧性理论框架，并对其评价指标体系进行完善创新，归纳总结了旅游生态系统韧性的内涵；(2)深刻明晰了旅游生态系统韧性及各维度的空间分布模式与地理环境状态、社会经济系统、人类活动的空间关联关系；(3)基于多尺度精细化视角，运用障碍度模型分层诊断与捕捉市（州）尺度和生态修复保护区尺度旅游生态系统韧性的主导障碍因子，为因地制宜制定适应性管理对策提供了关键决策信息。然而，本文研究仍存在不足之处：首先，旅游生态系统韧性量化在很大程度上受到研究尺度与评价指标选择的综合影响，随着数据可获得性改善，有必要制定更加全面且综合的评价指标系统，以加强研究结果与政策管理的相关性；其次，本研究侧重不同尺度旅游生态系统韧性空间异质性的障碍因子识别，未来基于网格层面和长时间序列数据样本将有助于更好地剖析旅游生态系统韧性时空变化的驱动机制。

参考文献：

- [1] 葛全胜, 席建超 . 新常态下中国区域旅游发展战略若干思考 [J]. 地理科学进展, 2015, 34(7): 793 - 799.
- [2] 穆学青, 郭向阳, 明庆忠, 等 . 黄河流域旅游生态安全的动态 演变特征及驱动因素 [J]. 地理学报, 2022, 77(3): 714 - 735.
- [3] 陆林, 李磊, 侯颖 . 疫情危机下旅游地韧性与高质量发展 [J]. 旅游学刊, 2022, 37(9): 1 - 3.
- [4] 杨秀平, 贾云婷, 翁钢民, 等 . 城市旅游环境系统韧性的系统 动力学研究——以兰州市为例 [J]. 旅游科学, 2020, 34(2): 23 - 40.
- [5] Holling S C. Resilience and stability of ecological systems [J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973, 4(1): 1 - 23. [6] Nunes D M, Tomé A, Pinheiro M D. Urban-centric resilience in search of theoretical stabilisation? A phased thematic and conceptual review [J]. Journal of Environmental Management, 2019, 230: 282 - 289.
- [7] Hudec O, Reggiani A, Šiserová Monika. Resilience capacity and vulnerability: A joint analysis with reference to Slovak urban districts [J]. Cities, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.10.004>.
- [8] Samuelsson K, Giusti M, Peterson G D, et al. Impact of environment on people 's everyday experiences in Stockholm [J]. Land - scape and Urban Planning, 2018, 171: 7 - 17.

-
- [9] 王倩, 赵林, 于伟. 中国旅游经济系统韧性的时空变化特征与影响因素分析 [J]. 地理与地理信息科学, 2020, 36(6): 113 - 118.
- [10] 修春亮, 魏治, 王绮. 基于“规模—密度—形态”的大连市城市韧性评估 [J]. 地理学报, 2018, 73(12): 2315 - 2328.
- [11] 张香菊, 钟林生. 旅游生态学研究进展 [J]. 生态学报, 2019, 39(24): 9396 - 9407.
- [12] 章锦河, 张捷. 旅游生态足迹模型及黄山市实证分析 [J]. 地理学报, 2004, 59(5): 763 - 771.
- [13] Arenas A E, Goh J M, Uruena A. How does IT affect design centricity approaches: Evidence from Spain's smart tourism ecosystem [J]. International Journal of Information Management, 2019, 45: 149 - 162.
- [14] Zhu J, Yuan X, Yuan X, et al. Evaluating the sustainability of rural complex ecosystems during the development of traditional farming villages into tourism destinations: A diachronic emergy approach [J]. Journal of Rural Studies, 2021, 86: 473 - 484.
- [15] 汪晶晶, 章锦河, 王群, 等. 旅游生态系统能值研究进展 [J]. 生态学报, 2015, 35(2): 584 - 593.
- [16] 王凯, 邹楠, 甘畅. 旅游技术效率、旅游绿色生产率收敛性及其影响因素 [J]. 经济地理, 2022, 42(6): 215 - 224.
- [17] Drius M, Bongiorni L, Depellegrin D, et al. Tackling challenges for Mediterranean sustainable coastal tourism: An ecosystem service perspective [J]. Science of The Total Environment, 2019, 652: 1302 - 1317.
- [18] Tobias B A, Johannes B B, Dirk N C. Social media analytics and value creation in urban smart tourism ecosystems [J]. Information & Management, 2017, 54(6): 703 - 713.
- [19] Chiu Y, Lee Wan-I, Chen T. Environmentally responsible behavior in ecotourism: Antecedents and implications [J]. Tourism Management, 2014, 40: 321 - 329.
- [20] 冯凌, 郭嘉欣, 王灵恩. 旅游生态补偿的市场化路径及其理论解析 [J]. 资源科学, 2020, 42(9): 1816 - 1826.
- [21] 马勇, 凌旋, 童昀. 格网尺度下典型旅游城市生态服务价值估算和时空分异特征——以三亚为例 [J]. 生态学报, 2021, 41(19): 7542 - 7554.
- [22] 贺小荣, 彭坤杰. 生态位理论视角下湖南省城市旅游脆弱性评价 [J]. 经济地理, 2021, 41(4): 174 - 182.
- [23] 姚治国. 国外旅游生态效率优化与管理 [J]. 生态学报, 2019, 39(2): 700 - 708.
- [24] 晋秀龙, 陆林. 旅游生态学理论与实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [25] 王群, 银马华, 杨兴柱, 等. 大别山贫困区旅游地社会—生态系统脆弱性时空演变与影响机理 [J]. 地理学报, 2019, 74(8): 1663 - 1679.

-
- [26] 贾焱焱, 胡静, 谢双玉, 等. 贫困山区旅游地社会—生态系统脆弱性及影响机理 [J]. 人文地理, 2021, 36(1): 155 - 164.
- [27] 刘逸, 黄凯旋, 保继刚, 等. 嵌入性对古村落旅游地经济可持续发展的影响机制研究——以西递、宏村为例 [J]. 地理科学, 2020, 40(1): 128 - 136.
- [28] Yang X P, Zhang D C, Liu L L, et al. Development trajectory for the temporal and spatial evolution of the resilience of regional tourism environmental systems in 14 cities of Gansu Province, China [J]. Environment Science and Pollution Research, 2021, 28(46): 65094 - 65115.
- [29] Stephen E, Caroline O, James H. Resilience and sustainability: a complementary relationship? Towards a practical conceptual model for the sustainability-resilience nexus in tourism [J]. Journal of Sustainable Tourism, 2017, 25(10): 1 - 16.
- [30] 朱媛媛, 汪紫薇, 顾江, 等. 基于“乡土—生态”系统韧性的红色旅游资源利用空间格局优化研究——以大别山革命老区为例 [J]. 自然资源学报, 2021, 36(7): 1700 - 1717.
- [31] Hanne S, Lars K P, Dale R, et al. Discursive biases of the environmental research framework DPSIR [J]. Land Use Policy, 2008, DOI: 10.1016/j.landusepol.2007.03.005.
- [32] 麻学锋, 胡双林. 自然资源驱动型旅游城镇化与居民幸福协调发展及演化——以张家界为例 [J]. 自然资源学报, 2023, 38(2): 442 - 459.
- [33] Ruan W Q, Li Y Q, Zhang S N, et al. Evaluation and drive mechanism of tourism ecological security based on the DPSIR-DEA model [J]. Tourism Management, 2019, 75: 609 - 625.
- [34] 郭向阳, 穆学青, 明庆忠, 等. 旅游地快速交通优势度与旅游流强度的空间耦合分析 [J]. 地理研究, 2019, 38(5): 1119 - 1135.
- [35] 章锦河, 张捷, 王群. 旅游地生态安全测度分析——以九寨沟自然保护区为例 [J]. 地理研究, 2008, 27(2): 449 - 458.
- [36] 周彬, 虞虎, 钟林生, 等. 普陀山岛旅游生态安全发展趋势预测 [J]. 生态学报, 2016, 36(23): 7792 - 7803.
- [37] 刘庆芳, 杨定, 杨振山, 等. 青藏高原国家公园群人文生态系统耦合协调评价及障碍因子识别 [J]. 地理学报, 2023, 78(5): 1119 - 1135.
- [38] 郭庆宾, 张中华. 长江中游城市群要素集聚能力的时空演变 [J]. 地理学报, 2017, 72(10): 1746 - 1761.