

黄河流域旅游生态安全的动态演变特征及驱动因素

穆学青^{1,2}, 郭向阳^{1,2,3}, 明庆忠⁴, 胡程^{1,2}

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023;

2. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023;

3. 贵州财经大学工商管理学院, 贵阳 550025; 4. 云南财经大学旅游文化产业研究院, 昆明 650221)

摘要: 科学测度与审视旅游生态安全对促进黄河流域旅游经济和生态环境协调可持续发展具有重要的理论和实践价值。从流域可持续发展视角, 基于 DPSIR 系统模型构建黄河流域旅游生态安全理论框架和指标体系, 采用改进 TOPSIS 法、核密度曲线、空间自相关、传统和空间马尔可夫链及面板分位数回归方法对其动态演化特征和驱动因素进行探析。结果表明: ① 时间上, 旅游生态安全均值波动下降后上升, 呈收敛趋势, 且有向“双核”形态演变的趋势。空间上, 旅游生态安全值整体较低(0~0.55), 由2008年以风险级为主(占89.04%)转变为2017年以风险级和恶化级为主(分别占60.27%和31.51%), 且仍存在较大下行转移风险。② 动态演化特征上, 不考虑邻域条件下, 旅游生态安全风险级、敏感级转移具有“路径依赖”与“自身锁定”效应。而恶化级、临界安全级保持初始状态概率较小, 且类型转移通常发生在相邻等级递次转移。邻域背景在其动态变化过程中起着重要作用, 且其动态演化特征具有显著时空异质性。③ 影响因素方面, 环境污染对低层级单元的旅游生态安全负向抑制作用较为明显, 旅游负荷水平对较高级地区旅游生态安全的正向边际效应略大, 而旅游发展水平、经济发展水平等变量则对较低等级单元旅游生态安全的正向边际效应较大。

关键词: 旅游生态安全; 动态演变特征; 空间马尔可夫链; 面板分位数回归; 黄河流域

DOI: 10.11821/dlxb202203015

1 引言

旅游业所具有的环境友好依托与资源消耗双重产业属性, 决定了其与生态环境存在着对立统一的二元矛盾关系^[1]。随着旅游业蓬勃发展和“大众旅游”时代的到来, 中国旅游经济高质量增长面临着诸多结构性问题制约, 如人口、投资、资源等发展动能的结构性支撑不足。此外, 与旅游紧密相关的环境问题日益凸显, 制约着旅游可持续发展的弹性和韧性。旅游可持续发展问题是国际旅游地理学和旅游生态学等学科研究的重要领域和热点, 也逐渐成为全球各国和地区层面进行国土空间规划与旅游生态安全保育的一项重要政策目标^[2]。鉴于旅游可持续发展关注于旅游业发展与生态环境二者产生的长期或者短期相互作用及响应机制。因此, 加强对黄河流域旅游生态安全研究成为旅游可持续发展研究中的重要内容, 亦是区域旅游业可持续发展和高质量转型升级的基础和前提, 具有重要的研究价值^[3]。

收稿日期: 2020-12-18; 修订日期: 2021-08-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(41961021, 41671147) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41961021, No.41671147]

作者简介: 穆学青(1993-), 女, 河南新乡人, 博士生, 主要从事生态旅游与旅游地理研究。E-mail: 1508018247@qq.com

通讯作者: 明庆忠(1963-), 男, 湖北黄冈人, 博士, 教授, 博导, 主要从事区域地理与旅游开发管理。

E-mail: mingqingzhong01@163.com

在“绿色浪潮”和“环境意识觉醒”的影响下,“生态性旅游”的思想逐渐萌发。1983年墨西哥学者Ceballos-Lascurain首先创造性地提出“生态旅游”一词。自20世纪80年代起,国外学者开始关注旅游对生态环境的影响^[4-6],社会、文化与旅游环境^[7-8]、旅游环境容量^[9-11]、环境质量与旅游业可持续发展^[12-13]、旅游承载力^[10, 14-16]和旅游环境与管理^[17-18]等学术热点。20世纪90年代初,旅游生态安全相关研究成为国内学者研究的重要领域,对其研究主要涉及以下几个方面:①概念诠释。旅游生态安全的概念被认为是生态安全概念的衍生品,目前学术界对其尚未有统一定义,但对其概念基本内涵所述大体一致,即旅游业的持续发展不会导致旅游地生态系统质量降低,不会造成其产生不可逆的变化,不存在退化和崩溃的危险。具有两方面的含义:一是旅游地可持续发展所依赖的自然资源和生态环境系统自身是否安全;二是旅游地自然资源与生态环境系统对人类的生存、生活是否安全,其所提供的服务能否满足人类的生存和发展需要。一般认为,当旅游生态安全系统自身运行有序、均衡协调不受威胁,且能够满足人类生存和可持续发展需要时,则认定该旅游地为安全状态^[19-20]。②研究内容、对象、尺度与方法选择。国内学者对其研究主要涉及地理学^[21]、管理学^[22]、旅游学^[23-24]、环境科学^[10]和生态学^[24]等多个学科领域。研究内容主要涉及其思想起源^[25]、概念内涵^[24, 26]、评价与测度^[24, 27-29]、时空分异特征^[30-31]、障碍因子^[32-33]、趋势预测^[34-35]、动态仿真模拟^[36]和影响因素^[3, 37]等。研究对象类型包括草原^[27]、湖泊^[31, 38]、景区(点)^[24, 28]、流域^[39]、海岛^[20, 40-41]、湿地^[29]和(滨海)城市^[37, 42]等。研究尺度包括国家、区域、城市和景区(点)等层面。定量测度旅游生态安全的方法包括改进TOPSIS^[3, 32]、系统动力学模型^[36]、生态足迹法^[24, 43]、综合指数法^[43]、灰色关联投影法^[44]、线性加权法^[28, 38, 45]等。旅游生态安全影响因素验证方法涉及到灰色关联度模型^[32]、障碍度模型^[44, 46]、地理探测器^[3]及空间计量模型(SLM模型和SEM模型)^[47]等。随着生态环境在国民经济发展中的地位日趋重要,如何协调旅游业和生态环境之间的关系,合理维护典型战略区域旅游生态安全,成为当今旅游高质量发展背景下的一项重要研究课题。

以往关于旅游生态安全的相关研究成果为本文及后续研究奠定了良好的基础,但仍存在以下问题值得深入探索:①虽然已有研究成果基于地理学角度对旅游生态安全的空间分异进行了分析,但大多以对旅游生态安全等级在空间上分布差异特征研究为主,关于旅游生态安全空间关联特征及动态转移规律的研究鲜有涉及。②在对旅游生态安全影响因素的揭示中,以往研究大多基于障碍度模型、地理探测器模型等方法,此类方法虽可探索旅游生态安全的关键驱动因素,但均忽略了因变量在不同分位点时自变量回归系数值的动态变化特征,而面板分位数回归模型可观察因变量在不同分位点时自变量回归系数值的变化趋势特征,避免了均值回归的理想化模式,能够更加全面地分析自变量 X 对于因变量 Y 的影响情况,使研究结论更为可靠,且弥补了以往研究模型仅分析因变量 Y 的条件期望(均值)的缺陷。③已有研究主要集中在全国、省域、单一城市或单个景点尺度单元,而对于作为国家重要的生态安全屏障且经济—社会—环境系统快速嬗变的黄河流域旅游生态安全问题关注较少。

综上,本文以黄河流域73个地级市(州、盟)为研究单元,研究时段为2008—2017年。首先,基于“驱动力—压力—状态—影响—响应”(Driving Force-Pressure-State-Impact-Response, DPSIR)模型,系统构建测度黄河流域旅游生态安全的理论框架和综合评价指标体系,运用改进TOPSIS法对其综合评价指数进行评估。其次,基于地理学空间相关性定律和空间异质性定律二元视角,借助数理统计和空间分析工具,采用箱型图和核密度估计曲线对旅游生态安全值的时间序列变化特征进行分析,探索性空间数据分析

从空间全局上测度其空间集聚特征,并运用传统和空间马尔可夫链方法对其动态转移特征进行刻画。最后,基于面板分位数回归模型,分析了在不同分位数条件下旅游生态安全驱动因素的变化趋势特征,全面探究了旅游生态安全对各影响变量的动态响应状况。一方面,以期全面把握黄河流域旅游生态安全的动态演变特征及驱动因素;另一方面,为黄河流域处于不同旅游生态安全等级单元的旅游业与生态环境协调发展,以及保护弘扬黄河文化,推进黄河文化旅游带高质量发展提供科学借鉴。

2 指标体系构建

系统思想由理论生物学家Bertalanffy创立,他在1932年提出“开放系统理论”,并深化了系统论的思想。系统论认为,整体性、关联性、等级结构性、动态平衡性和时序性是其基本特征,其核心思想是系统的整体观念。Bertalanffy用“整体大于部分之和”阐释系统的整体性,即任何系统均是由若干要素以一定结构形式联结构成的具有某种功能的有机整体,系统的整体功能是各要素在孤立状态下所没有的。DPSIR模型是欧洲环境署(European Environment Agency, EEA)于20世纪90年代为解决环境和资源管理问题,综合PSR、DSR等模型并在其基础上进行系统完善后提出使用的^[1]。该模型因具有科学性和合理性而被广泛应用于生态环境管理、可持续发展等研究领域,不仅是客观反映旅游活动与生态环境之间相互作用及影响的常用模型,而且还能够科学解释人类社会自主、积极的反馈机制。

本文从系统论角度出发,将DPSIR置于一个系统框架,并将其应用到旅游生态安全系统运行机制研究中,对典型生态环境脆弱区——黄河流域的旅游生态安全问题进行重新审视。具体来讲:旅游生态安全系统中的DPSIR是一个有序可持续运行且开放的循环系统,更加强调旅游与环境的共生关系。在循环累积因果原理下,社会、旅游和经济活动发展作为潜在变量成为影响旅游生态安全的驱动力(D),若旅游经济粗放式增长、景区环境容量超载、旅游“三废”排放超标、旅游基础接待设施超负荷运行等,均会对旅游地生态系统及旅游产业系统可持续发展形成社会经济生活、生态和空气质量等方面的压力(P),进而对旅游及生态二元系统的状态(S)产生冲击、扰动,两大系统内部结构及状态变化引致目的地旅游生态安全等级和可持续性变动,产生诸如旅游经济贡献率、旅游地接待能力、资源循环利用程度和大气环境污染等正向或负向影响(I),为减少负向影响和延续正向效应以促进和维持旅游业和生态环境的良性协调,旅游利益相关主体势必发挥主观能动性采取适宜措施以积极响应(R),如划定自然保护区、建设以国家公园为主体的自然保护地、打造旅游区生态文化公园或文化湿地公园、提升生态环境投资力度、改进生活污水及垃圾的技术与处理能力及提高居民环保意识等。系统论原则是强调对资源(特别是对不可再生资源利用)的最大利用程度和可能造成的最小环境退化,而这种响应又会对“驱动力、压力、状态和影响”等子系统产生循环反馈效应,“驱动力、压力、状态和影响”各子系统又通过自身内部要素体系的重构与整合,进而对区域旅游生态安全整体系统产生良性循环(图1)。

旅游生态安全DPSIR理论模型框架是一个具有高度复杂性、自组织性、多层次性、不确定性的开放系统,五大子系统之间相互依存、相互制约,只有当各子系统以均衡协调、运行有序、配合得当形成良性循环有机体时,旅游生态安全整体系统才会呈现安全平稳、螺旋式提升状态。总之,健康的旅游生态系统是安全的、稳定的和可持续的,在时间上能够维持它的组织结构和自治,以及保持受外界胁迫的生态系统恢复力或弹性。

反之，不健康的旅游地生态系统，是功能不健全或子系统不协调的混淆系统，其安全状况则处于受威胁之中，旅游生态安全系统就会处于不安全状态之中。本文结合旅游生态安全理论框架，从经济—社会—环境统筹发展视角出发，选择旅游生态安全领域相关研究成果中高频使用的指标，征求相关专家意见，并在遵循指标系统性、代表性和数据可得性等原则的基础上，构建出由5个子系统层一级指标和26个因子层二级指标组成的旅游生态安全评价指标体系（表1）。

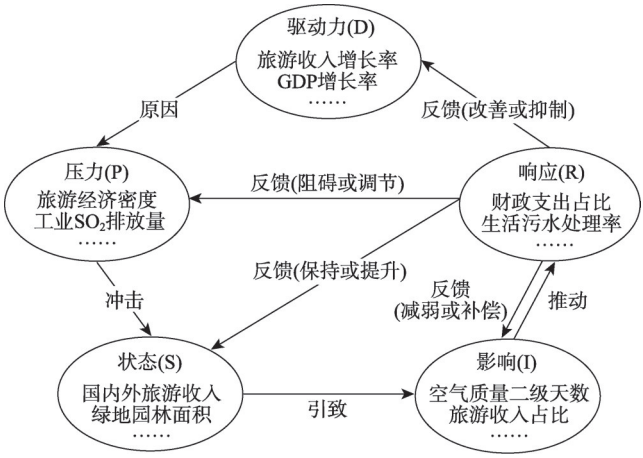


图1 基于DPSIR模型的黄河流域旅游生态安全评价理论框架
Fig. 1 Tourism ecological security evaluation theoretical framework in the Yellow River Basin based on DPSIR model

表1 黄河流域旅游生态安全评价体系

Tab. 1 Tourism ecological security evaluation system of the Yellow River Basin

| 子系统层 | 因子层 | 指标含义 | 权重 | 文献来源 |
|------------|-----------------------------|-----------------------|--------|----------|
| 驱动力 (D) | 旅游收入增长率(%) | 旅游经济效益增长潜力 | 0.0064 | [1, 3] |
| | 游客增长率(%) | 旅游地对游客的吸引力 | 0.0064 | [3, 47] |
| | GDP增长率(%) | 地方经济增长潜力 | 0.0018 | [47] |
| | 人口自然增长率(%) | 人口增长对旅游地生态系统维系的支撑或胁迫 | 0.0019 | [3, 44] |
| | 城镇化率(%) | 城市化进程对生态系统的影响 | 0.0090 | [3, 34] |
| 压力 (P) | 旅游经济密度(亿元/km ²) | 旅游活动对旅游目的地社会经济生活的压力强度 | 0.0460 | [47] |
| | 第三产业从业人员增长率(%) | 当地旅游业及关联产业吸纳就业的能力 | 0.0024 | [47] |
| | 工业废水排放量(万 t) | 污水排放对当地生态环境的压力 | 0.0632 | [32, 33] |
| | 工业 SO ₂ 排放量(t) | 工业废气排放对当地空气质量的影响 | 0.0677 | [33, 47] |
| | 游客密度(人次/km ²) | 旅游活动对当地旅游环境容量造成的综合压力 | 0.0400 | [3, 20] |
| 状态 (S) | 游客接待量与人口数量比(-) | 本地居民为游客提供的服务供给 | 0.0424 | [47] |
| | 国内旅游收入(亿元) | 国内旅游市场经营收益状况 | 0.0889 | [3, 33] |
| | 旅游外汇收入(万美元) | 国际旅游市场的营收能力 | 0.0678 | [47] |
| | 绿地园林面积(hm ²) | 绿化宜居、宜游质量和居民生活福利保健水平 | 0.0659 | [32] |
| | 建成区绿化覆盖率(%) | 绿化状况及生态文明建设环境氛围 | 0.0140 | [3, 33] |
| 影响 (I) | 空气质量达到二级以上天数(d) | 大气环境的综合状态 | 0.0029 | [27, 44] |
| | 旅游总收入占 GDP 百分比(%) | 旅游业的地方经济贡献度 | 0.0829 | [32, 47] |
| | 第三产业占 GDP 百分比(%) | 旅游业发展的宏观环境状况 | 0.0058 | [3] |
| | 住宿和餐饮业从业人员数(万人) | 旅游地接待能力 | 0.0326 | [1, 33] |
| | 工业固体废物综合利用率(%) | 旅游地对固体废弃物的转化及循环利用情况 | 0.0101 | [19, 20] |
| 响应 (R) | 废气排放增长率(%) | 大气污染对生态环境的胁迫 | 0.0833 | [19] |
| | 财政支出占 GDP 百分比(%) | 生态环境投资驱动力 | 0.0603 | [47] |
| | 生活污水处理率(%) | 生活污水处理技术和能力 | 0.0027 | [33, 47] |
| | 生活垃圾无害化处理率(%) | 对生活垃圾的绿色处理和循环发展能力 | 0.0037 | [3, 33] |
| | 普通高等学校学生数(人) | 人才供给水平及居民素质 | 0.1378 | [44] |
| | 人均旅游收入(元) | 居民在旅游发展中的获利情况和生计资本累积 | 0.0544 | [3, 47] |

3 研究方法 with 数据来源

3.1 研究区域概况

黄河流经青海、四川、甘肃、内蒙古、宁夏、山西、陕西、河南、山东9个省(区),地处 $32^{\circ}10'N\sim 41^{\circ}50'N$ 、 $95^{\circ}53'E\sim 119^{\circ}05'E$ 之间,全长5464 km,流域面积约217万 km^2 ,是中国重要的生态屏障和经济地带^[48],2019年黄河流域生态保护和高质量发展上升为国家战略。本文所确定的流域范围参照水利部黄河水利委员会划定的自然流域范围,选择地级市(州、盟)作为研究尺度,此范围确保了行政区划单元的完整性,所确定的黄河流域范围充分考虑了自然和社会经济两大因素,为深受黄河影响的直接区域,包括9省(区)的73个地级市(州、盟)(图2)。2017年流域9省(区)GDP总值约达221226亿元,占中国GDP总量的26.59%。由于历史、自然条件等原因,黄河流域社会经济整体发展水平相对滞后。流域上中游地区和下游滩区在保障中国经济社会发展和维护生态安全屏障方面具有重要生态保育功能,是中国经济发展中具有全局性、战略性作用的重要生态区域。此外,黄河是中华文化的摇篮,孕育出了河湟文化、河洛文化、关中文化、齐鲁文化等诸多独具特色的区域文化,为黄河流域旅游业发展提供了深厚、持久的人文元素。黄河流域旅游资源种类丰富,不仅有丰富的沙漠(如毛乌素沙漠等)、草原(如鄂尔多斯大草原等)、瀑布(如壶口瀑布等)、峡谷(如准格尔旗黄河大峡谷等)等自然景观,还有洞窟(如龙门石窟等)、陵墓(如秦始皇陵等)、特色屋舍(如皇城相府等)、喷泉(如趵突泉等)等人文景观^①。截至2017年底,黄河流域73个地级市(州、盟)主要景点(5A级景区)达43处,国家级风景名胜区32处,分别占中国的17.20%和13.11%。旅游总收入约23603亿元,占中国旅游总收入比重的43.71%,在中国旅游业发展中占据重要地位。因此,选择黄河流域作为研究对象,探查其旅游生态安全的时空动态演变特征及机理内涵,具有鲜明的区域典型性和重要学术研究价值。

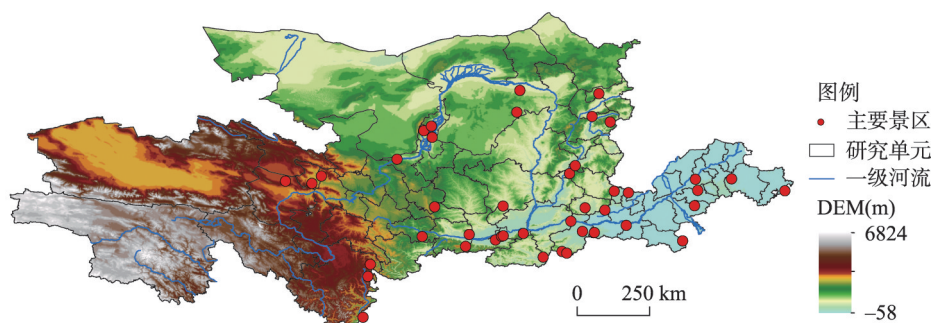


图2 黄河流域区位图

Fig. 2 Location of the Yellow River Basin

3.2 研究方法

3.2.1 改进的 TOPSIS 模型 逼近理想解的排序法 (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution, TOPSIS) 由 Hwang 和 Yoon 于 1981 年提出,是目前应用较为广泛、有效的多目标系统决策方法。其对数据分布、样本量和指标数量均无严格限制,具有真实、直观、可靠的优点。其可先根据各指标构建最优、最劣方案,然后计算各个指标与最优、最劣方案之间的相对接近度,最后根据与正负理想解的距离评价每种

① 划分标准:《旅游资源分类、调查与评价》(GB/T 18972-2017)。

方案的优劣, 若方案接近正理想解而远离负理想解, 则被认为最优; 若方案远离正理想解而接近负理想解, 则被认为最劣^[49]。本文采用改进 TOPSIS 法测度黄河流域各地级市(州、盟)旅游生态安全综合评价指数, 具体步骤如下:

(1) 对评价指标进行标准化, 公式为:

$$y_{ij} = \begin{cases} (x_{ij} - \min x_j) / (\max x_j - \min x_j) & x_{ij} \text{ 为正指标} \\ (\max x_j - x_{ij}) / (\max x_j - \min x_j) & x_{ij} \text{ 为逆指标} \end{cases} \quad (1)$$

式中: y_{ij} 为标准化后的值; x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, 10$; $j = 1, 2, \dots, 26$) 为第 i 年第 j 项指标值; $\max x_j$ 、 $\min x_j$ 分别为第 j 项指标的最大值和最小值。

(2) 指标权重的确定, 为避免层次分析法和德尔菲法确定指标权重带来主观因素的影响, 本文选择客观性较强的熵权法来计算指标权重, 公式如下:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m \left[\left(y_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij} \right) \times \ln \left(y_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij} \right) \right], \quad k = 1 / \ln m \quad (2)$$

$$w_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^{26} (1 - e_j) \quad (3)$$

式中: w_j 为第 j 项指标的权重; e_j 表示第 j 项指标的信息熵; m 为评价年数; k 为波尔茨曼常量。

(3) 建立加权规范化矩阵, 公式如下:

$$T_{\text{驱动力}} = \sum_{j=1}^5 y_{ij} \omega_j; \quad T_{\text{压力}} = \sum_{j=6}^{10} y_{ij} \omega_j; \quad T_{\text{状态}} = \sum_{j=11}^{16} y_{ij} \omega_j; \quad (4)$$

$$T_{\text{影响}} = \sum_{j=17}^{21} y_{ij} \omega_j; \quad T_{\text{响应}} = \sum_{j=22}^{26} y_{ij} \omega_j; \quad i = 1, 2, \dots, 10$$

$$\text{构建加权规范化矩阵: } T_{cn} = T_{r \times 5} = \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & T_{14} & T_{15} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} & T_{24} & T_{25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ T_{r1} & T_{r2} & T_{r3} & T_{r4} & T_{r5} \end{pmatrix}$$

式中: T_{cn} 为加权规范化矩阵; c 为研究单元数, $c = 1, 2, \dots, r$; n 为指数个数, 本文中 $n = 5$, 分别为驱动力指数、压力指数、状态指数、影响指数和响应指数。

(4) 正、负理想解的确定, 即:

$$T_n^+ = \{\max T_{cn} | c = 1, 2, \dots, r\}; \quad T_n^- = \{\min T_{cn} | c = 1, 2, \dots, r\} \quad (5)$$

式中: T_n^+ 为指标正理想解; T_n^- 为负理想解。

(5) 计算目标值到正负理想解的距离, 即:

$$D_c^+ = \sqrt{\sum_{n=1}^5 (T_{cn} - T_n^+)^2}; \quad D_c^- = \sqrt{\sum_{n=1}^5 (T_{cn} - T_n^-)^2}; \quad c = 1, 2, \dots, r \quad (6)$$

式中: D_c^+ 、 D_c^- 为评价对象到正、负理想解的距离。

(6) 计算各年评价对象与理想解的贴近度 (Z_c), 公式为:

$$Z_c = \frac{D_c^-}{D_c^+ + D_c^-} \quad (7)$$

式中: Z_c 取值范围为 $[0, 1]$, 其值越大, 则研究单元的旅游生态系统越安全, 反之则越恶化。考虑到旅游生态安全 DPSIR 模型系统间的协调性, 引入变异系数 k 分别表示旅游生态安全驱动力、压力、状态、影响、响应指数的离散程度。公式如下:

$$k = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^5 (T_{cn} - V)^2}{5}} / V; \quad V = \frac{1}{5} \sum_{n=1}^5 T_{cn} \quad (8)$$

修正后的贴适度（旅游生态安全指数）为：

$$Z'_c = Z_c(1 - k) \quad (9)$$

旅游生态安全评价分级尚未形成统一标准，综合黄河流域旅游生态安全实际测度结果和李细归等^[47]、张鹏等^[20]的研究，本文将旅游生态安全的等级标准划分为恶化级、风险级、敏感级、临界安全级、一般安全级、比较安全级和非常安全级7个等级（表2）。

表2 旅游生态安全水平等级标准
Tab. 2 Tourism ecological security level standard

| 安全状态 | 恶化级 | 风险级 | 敏感级 | 临界安全级 | 一般安全级 | 比较安全级 | 非常安全级 |
|------|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
| 安全等级 | I | II | III | IV | V | VI | VII |
| 安全指数 | (0, 0.25] | (0.25, 0.35] | (0.35, 0.45] | (0.45, 0.55] | (0.55, 0.65] | (0.65, 0.75] | (0.75, 1] |

3.2.2 马尔科夫链 马尔科夫链（Markov Chains）是一种时间和状态均为离散的马尔科夫过程^[50]，可用来分析旅游生态安全等级类型随时间演变的概率。该方法将连续的旅游生态安全数据离散划为 k 种类型，再计算相应类型的概率分布和转移情况。通常将 t 年份旅游生态安全类型的概率分布表示为 $1 \times k$ 的状态概率向量 P_t ，记为 $P_t = [P_{1,t}, P_{2,t}, \dots, P_{k,t}]$ ，而不同年份的旅游生态安全不同等级类型之间的转移可用一个 $k \times k$ 的马尔科夫转移概率矩阵 M 表示如下^[32]：

$$M = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1j} \\ m_{21} & m_{22} & \dots & m_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{i1} & m_{i2} & \dots & m_{ij} \end{pmatrix} \quad (10)$$

式中：元素 m_{ij} 为 t 年份 i 类型的地级市（州、盟）在 $t+1$ 年份转移到 j 类型的概率，并采用 $m_{ij} = n_{ij}/n_i$ 进行估计， n_{ij} 表示研究期内由 t 年份 i 类型的地级市（州、盟）在 $t+1$ 年转移到 j 类型地级市（州、盟）数量之和， n_i 为研究期内所有年份中属于 i 类型地级市（州、盟）数量之和。如果某个地级市（州、盟）的旅游生态安全在初始年份为 i ，下一年份保持不变，则表明其类型转移为平稳状态；若旅游生态安全等级向上提高，则定义为向上转移；反之，则为向下转移。

3.2.3 空间马尔科夫链 空间马尔科夫链由传统马尔科夫法与空间滞后相结合而形成，用于分析在不同区域背景下，某一单元旅游生态安全向上或者向下转移的可能性，可较好地分析旅游生态安全变化过程中的空间相互作用关系，揭示出旅游生态安全类型转移概率与相邻城市之间的关系^[51]。空间马尔科夫链通过引入空间滞后算子来表达区域邻域的状态，从而弥补传统马尔科夫空间性的不足。将旅游生态安全离散为 k 种类型，将传统 $N \times N$ 阶马尔科夫矩阵分解为 k 个 $N \times N$ 阶转移概率矩阵形式，从而清晰地表达出在不同的邻域背景下，旅游生态安全向上或者向下转移的可能性。第 N 个条件矩阵中，元素 $m_{ij}(k)$ 为在空间滞后类型为 k 的条件下， t 年到 $t+1$ 年某单元 a 的旅游生态安全状态类型转移到类型 j 的概率，单元 a 的空间滞后值 Lag_a 是其周边邻近单元观测值的加权平均，公式如下：

$$Lag_a = \sum_{b=1}^n (Y_b W_{ab}) \quad (11)$$

式中： Y_b 为单元 b 的观测值； W_{ab} 为空间权重矩阵（由于黄河流域各研究单元空间分布具有显著的空间邻接性与连续性，故本文采用邻接权重矩阵，相邻为1，反之为0），表示 a 单元与 b 单元间的空间关系。

3.2.4 空间面板分位数回归模型 分位数回归自被Koenker等提出以来就被广泛地应用到面板数据的研究中。分位数回归可观察不同分位点时的回归系数值，能够更全面地研究自变量 X 对于因变量 Y 的影响关系。相对于普通线性OLS回归，当数据中有异常值时，因变量 Y 不正态时或出现异方差问题时，使用分位数回归算法更加稳健，且结论更为可靠。总之，面板分位数回归不仅无须考虑数据服从正态分布，而且较好地排除离群值的干扰，其可通过控制解释变量差异性，从而有效刻画出对被解释变量在不同分位点上的影响关系。其表达式为^[52]：

$$Q_{Y_{it}}(\tau|X_{it})=a_i+X_{it}^T\beta(\tau), \quad (i=1,2,\cdots,n;t=1,2,\cdots,T) \tag{12}$$

式中： $Q_{Y_{it}}$ 为旅游生态安全的条件分位函数； Y_{it} 为旅游生态安全值； a_i 为常数项； X_{it} 为解释变量矩阵； n 为研究样本量； T 为研究时段； $\beta(\tau)$ 表示 τ 分位下的影响系数； τ 为本文设定的分位点（0.1, 0.25, ..., 0.9）。

$$\beta(\theta)=\min_{(\alpha,\beta)}\sum_{k=1}^q\sum_{i=1}^n\sum_{t=1}^T w_k\rho_{\tau_k}[Y_{it}-a_i-X_{it}^T\beta(\tau_k)] \tag{13}$$

式中： $\beta(\theta)$ 为影响系数； q 为分位数数组数量； k 为分位数的第 k 组； ρ_{τ_k} 为分位数损失函数； w_k 为第 k 分位数的权重系数； $\beta(\tau_k)$ 为第 k 分位数的影响系数。

综合考虑黄河流域实情及本文对旅游生态安全的测算结果，选取具有代表性和指标权重相对较大的指标构建了人地相互作用关系视角下黄河流域旅游生态安全多要素综合作用的驱动因素模型体系。从旅游发展水平、经济发展水平、劳动力投入量、环境污染、旅游负荷水平、区域绿化程度、政府干预和教育水平方面系统量化多要素作用下旅游生态安全时空演变过程（表3）。

表3 面板分位数回归方程主要变量及其描述性统计

Tab. 3 The main variables of the panel quantile regression equation and their descriptive statistics

| 变量类型 | 变量名称 | 变量解释 | 平均值 | 标准差 | 最小值 | 最大值 |
|-------|-------------|----------------------------|-----------|-----------|--------|--------|
| 被解释变量 | 旅游生态安全(TES) | 采用改进TOPSIS法计算得出,表征旅游生态安全等级 | 0.285 | 0.066 | 0.154 | 0.522 |
| 解释变量 | 旅游发展水平(TDL) | 旅游收入增长率(%) | 29.693 | 55.449 | -90.22 | 757.36 |
| | 经济发展水平(EDL) | GDP增长率(%) | 11.485 | 8.459 | -35.7 | 49.97 |
| | 劳动力投入量(LI) | 第三产业从业人员增长率(%) | 3.272 | 14.259 | -64.77 | 210.31 |
| | 环境污染(EP) | 工业二氧化硫排放量(t) | 79147.873 | 99437.673 | 248 | 924157 |
| | 旅游负荷水平(TLL) | 游客接待量与人口数量比(%) | 6.026 | 5.521 | 0.13 | 40.24 |
| | 区域绿化程度(RGL) | 绿地园林面积(hm ²) | 4062.956 | 4779.891 | 23 | 36209 |
| | 政府干预(GI) | 财政支出占GDP百分比(%) | 30.476 | 37.92 | 1.08 | 286.48 |
| | 教育水平(EL) | 普通高等学校学生数(人) | 76062.666 | 152425.97 | 28 | 935332 |

3.3 数据来源与处理

研究数据主要来源于《中国区域经济统计年鉴》（2009—2014年）、《中国城市统计年鉴》（2009—2018年），各地级市（州、盟）《国民经济与社会发展统计公报》（2008—2017年）、《环境统计公报》（2008—2017年），各省（区）《年鉴》（2009—2018年）《统计年鉴》（2009—2018年）、《发展年鉴》（2009—2018年）以及各省（区）环境保护厅、文化和旅游厅等官方政府网站，部分缺失数据通过线性插值法补足。旅游外汇收入通过相应年份人民币汇率转换为人民币单位，旅游总收入为国内旅游收入与转换后旅游外汇收入之和。此外，主要景点来源于中华人民共和国文化和旅游部官方网站（<https://www>。

mct.gov.cn/), 空间数据通过 Google Earth 获取, 并通过百度地图对所获景区地理坐标进行检验修正。行政区划、一级河流、DEM 数字高程数据来自于中国科学院资源环境科学与数据中心 (<http://www.resdc.cn/>)。

4 结果分析

4.1 旅游生态安全的时空间分异特征

4.1.1 旅游生态安全的时序演化特征 在探究黄河流域旅游生态安全动态演化特征和驱动因素之前, 需对其旅游生态安全时间序列特征进行分析。首先, 由旅游生态安全箱型图 (图 3a) 可知, 2008—2017 年黄河流域旅游生态安全均值大体上波动下降后上升, 流域内各地级市 (州、盟) 旅游生态安全指数的差异在不断缩小, 呈收敛趋势。为进一步揭示旅游生态安全的时序动态演进特征, 选择 2008 年、2011 年、2014 年和 2017 年进行核密度估计分析 (图 3b)。由图 3b 可知, 2008—2014 年, 随着时间推移核密度曲线位置整体呈现左移趋势, 2014—2017 年, 曲线整体出现右移, 这一现象反映出旅游生态安全经历了“降低—增长”过程。曲线形态上, 右拖尾特征明显, 说明流域大部分地级市 (州、盟) 旅游生态安全在低值聚集, 少数地级市 (州、盟) 向高值靠拢。峰值变化上, 波峰并无显著变窄或变宽, 但曲线峰值经历下降后上升, 随后稳定, 表明流域地级市 (州、盟) 旅游生态安全差异经历了下降—升高的过程, 且至 2017 年, 旅游生态安全核密度曲线右尾小幅抬高, 说明旅游生态安全较高等级单元有扩张趋势。

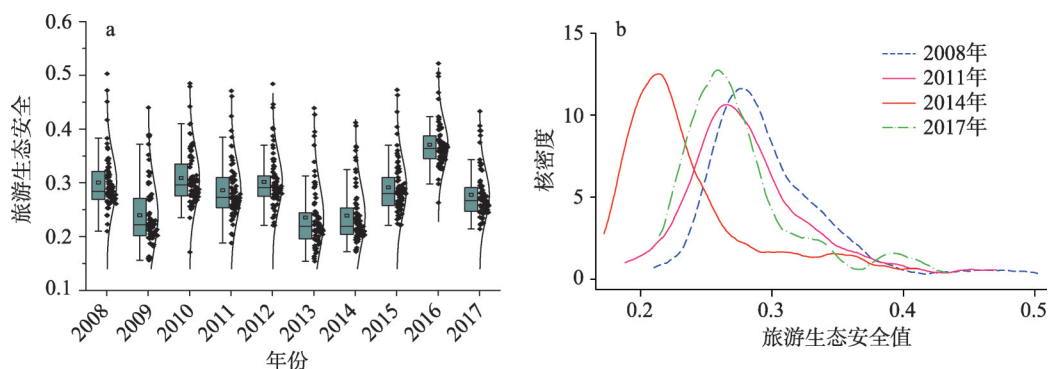


图3 黄河流域旅游生态安全箱型图及核密度估计

Fig. 3 Box map and Kernel density estimation for tourism ecological safety in the Yellow River Basin

4.1.2 旅游生态安全的空间分异特征 箱型图和核密度估计法仅能分析时间序列上旅游生态安全的变化趋势和整体分布情况, 并未体现出旅游生态安全的空间变化特征。因此, 本文采用全局 Moran's I 指数来刻画黄河流域旅游生态安全的空间分布特征, 并借助 Geoda 软件对其空间相关性进行检验 (表4)。可知, 除 2010 年和 2017 年的 Moran's I 指数在 $P = 0.10$ 显著水平上不显著之外, 其他年份均至少在 $P = 0.05$ 的显著性水平上显著, 这说明在 2008—2017 年大多数年份中, 黄河流域旅游生态安全的空间相关性是显著存在的, 契合地理学第一定律。因此, 黄河流域旅游生态安全保护应打破行政区划的界限, 各研究单元间应协同抓好流域内绿色发展, 推动旅游生态保护一体化与联防联控。

进一步运用 ArcGIS10.2 软件对研究期内旅游生态安全测度值进行空间可视化处理 (图4)。由图4可知, 黄河流域旅游生态安全等级位于 I~IV 之间。总体上, 黄河流域旅游

表4 2008—2017年黄河流域旅游生态安全全局Moran's I指数

| Tab. 4 Overall Moran's I index of tourism ecological security in the Yellow River Basin from 2008 to 2017 | | | | | | | |
|---|-----------|--------|--------|------|-----------|--------|--------|
| 年份 | Moran's I | Z | P | 年份 | Moran's I | Z | P |
| 2008 | 0.1242 | 1.9497 | 0.0350 | 2013 | 0.1926 | 2.8218 | 0.0060 |
| 2009 | 0.1439 | 2.0682 | 0.0300 | 2014 | 0.1611 | 2.3089 | 0.0150 |
| 2010 | 0.0636 | 1.0447 | 0.1500 | 2015 | 0.1960 | 2.7813 | 0.0050 |
| 2011 | 0.2925 | 4.0245 | 0.0010 | 2016 | 0.2458 | 3.3651 | 0.0010 |
| 2012 | 0.1284 | 1.9242 | 0.0340 | 2017 | 0.0423 | 0.7845 | 0.1990 |

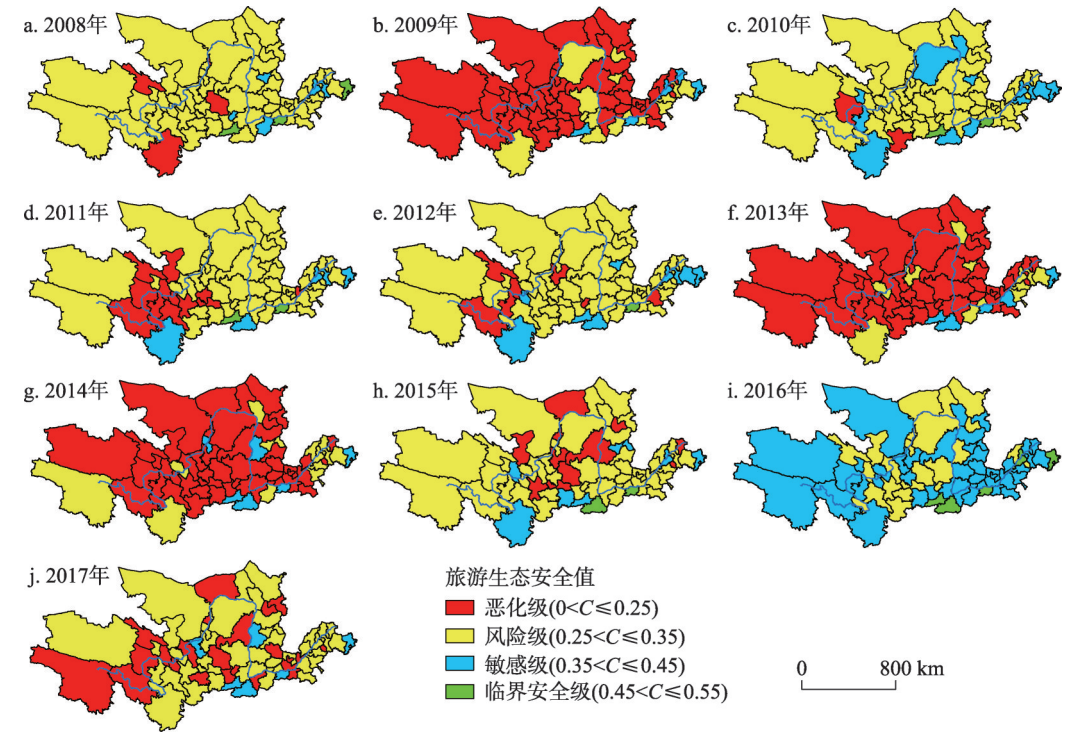


图4 2008—2017年黄河流域旅游生态安全空间分布格局

Fig. 4 Spatial pattern of tourism ecological security in the Yellow River Basin from 2008 to 2017

生态安全状况堪忧，但有趋向良好发展的势头。2008年黄河流域旅游生态安全层级主要以风险级为主，占总区域的89.04%，而至2017年风险级下降至60.27%，但仍占较大比重，且分布范围广泛。恶化级数量由2008年的3处增至2017年的23处，2008年主要集中在阿坝州、海北州和庆阳市等中上游州市，而至2017年则广泛镶嵌于上中下游各地级市（州、盟）。敏感级由2008年的铜川、太原、洛阳、济南和淄博5市，增至2017年的西安、商洛、吕梁、郑州、青岛和中卫6市，主要分布在陕西、山西、河南、山东等省份。临界安全级2008年主要分布在青岛、郑州和西安3市，2017年虽未出现该层级，但流域旅游生态安全整体水平较研究期初提升明显。

具体来看：① 2008—2009年，黄河流域旅游生态安全有恶化的趋势。2008年受到国内雨雪冰冻自然灾害、突发事件严峻考验和国际金融危机等的综合影响，旅游业可持续发展和生态环境保护问题受到严重冲击。在2008年之后中国经济开始复苏，黄河流域各地级市（州、盟）第二产业不断发展，但此时期的经济增长模式多为粗放型，“三废”排

放量增加明显。此外,北京奥运会的举办在活跃国内外旅游市场、提升旅游形象和改善旅游环境的同时,“过度旅游化”亦给各地级市(州、盟)带来巨大的环境承载压力,导致流域整体旅游生态安全状况恶化。② 2010—2012年黄河流域旅游生态安全整体有所改善,主要得益于原国家旅游局和环境保护部联合发布的《全国生态旅游发展纲要(2008—2015年)》、国务院《关于加快旅游业发展的意见》(国发〔2009〕41号)等文件政策利好,均明确了发展“低碳旅游、绿色旅游”等举措,强化了生态保护与旅游发展的关联性。③ 至2016年,旅游生态安全状况明显改善。究其原因,2016年作为“十三五”规划的开局之年,黄河流域对生态环境污染的治理力度及旅游生态化的诉求显著提升,加之在“环境倒逼机制”影响下,政府提出了“五位一体”的协调及绿色发展理念,使得流域旅游生态安全状况改善明显。如2016年3月国家“十三五”规划明确提出了要“支持发展生态旅游”;同年,国家发改委和原国家旅游局联合制定了《全国生态旅游发展规划》,旅游生态安全保护形势向着利好方向发展。此外,为保障黄河上游生态屏障,2014年《青海省生态文明先行示范区建设实施方案》明确了青海省的重要生态地位,同年,青海省纳入国家公园建设试点。四川省明确了在“十三五”期间构建“四区八带多点”的生态安全战略格局。中下游方面,《河南省“十二五”旅游产业发展规划》明确提出了构建“黄河黄金生态文化旅游带、南水北调中线生态文化旅游带”的重大举措;此外,《山东生态省建设规划纲要》亦提出了建设“大而强,富而美”生态山东的宏伟目标。④ 至2017年,旅游生态安全等级虽得到一定的改善,但旅游生态安全类型主要以风险级和恶化级为主,分别占流域总数的60.27%和31.51%,黄河流域旅游生态安全恶化级数量有所增加,但风险级数量减少,临界安全级数量在增加,这表明黄河流域旅游生态安全敏感级和风险级地区仍存在较大下行转移风险。综上,黄河流域旅游生态安全提升是一个持续性、曲折性和渐进式的过程,这符合事物发展波浪式前进、螺旋式上升的演进规律。

4.2 旅游生态安全的动态演化特征

上述空间自相关检验和空间分布特征分析均表明黄河流域旅游生态安全存在空间关联性特征,但其在时间和空间过程的连续性上存在着怎样的动态转移过程与规律?有必要进一步探究。为此,本文通过构建传统和空间马尔科夫转移矩阵,揭示黄河流域旅游生态安全等级的动态转移特征。根据旅游生态安全等级划分,将黄河流域旅游生态安全划分为恶化级(0, 0.25]、风险级(0.25, 0.35]、敏感级(0.35, 0.45]和临界安全级(0.45, 0.55] 4种类型(表5及以下论述中分别简称DL、RL、SL、CL)。

由马尔科夫转移概率矩阵(表5)可知,对角线上的元素表示单元类型没有发生变化的概率,而非对角线上的元素则表示不同单元类型之间发生转移的概率。由此得出旅游生态安全在未考虑地理空间格局下的动态演化特征:① 黄河流域旅游生态安全RL、SL类型转移在对角线上的数值大于非对角线上的数值,而DL、CL类型对角线上数值则小于非对角线。说明RL、SL等级类型俱乐部趋同均具有一定的稳定性,也即一个区域如果在初期属于类型RL和SL,在随后年份属于该类型的可能性则分别至少为53.58%和

表5 2008—2017年黄河流域旅游生态安全类型
马尔科夫转移概率矩阵

Tab. 5 Markov transition probability matrix of
tourism ecological security types in the Yellow River Basin
from 2008 to 2017

| <i>t</i> | <i>n</i> | DL | RL | SL | CL |
|----------|----------|--------|--------|--------|--------|
| DL | 199 | 0.3960 | 0.4996 | 0.1044 | 0 |
| RL | 342 | 0.2880 | 0.5358 | 0.1762 | 0 |
| SL | 99 | 0.0759 | 0.3613 | 0.4336 | 0.1291 |
| CL | 15 | 0 | 0.0333 | 0.5500 | 0.4167 |

注: DL、RL、SL、CL 分别表征旅游生态安全恶化级、风险级、敏感级和临界安全级,下同。

43.36%, 等级类型转移具有“路径依赖”与“自身锁定”效应。而DL、CL类型对角线上的概率值显著低于非对角线上的概率值, 这说明黄河流域各地级市(州、盟)的旅游生态安全并不稳定, 保持初始状态的概率较小, 流域内部等级类型变动性较大。② 非对角线上元素数值除最低层级向高一层级和高层级向低一层级转变的概率大于对角线上的概率外, 其余均小于对角线上数值, 且等于0的元素均远离对角线两侧, 说明区域旅游生态安全转型通常发生在相邻等级之间递次转移, 跨等级转移的可能性较小。③ 位于CL级的地级市(州、盟)保持原有状态的概率为0.4167, 向下一层级转移及向下越级转移的概率分别为0.5500和0.0333, 因此, 应重视并警惕该层级向下一层级转移, 并扩大该层级的规模, 引导其向更高安全层级转变; RL和SL层级保持原有状态的概率分别为0.5358和0.4336, 向下一层级转移的概率分别为0.2880和0.3613, 向上转移的概率分别为0.1762和0.1291。可知, 向下转移的可能性高于向上转移的概率。因此, 要主动引导RL和SL层级更上一个台阶并实现其越级转移; DL向上转移的概率值为0.6040, 说明DL类型旅游生态安全层级向上提升的可能性较大, 体现出旅游生态安全DL类型区域向上提升的迫切性。

图5为整个研究时段黄河流域旅游生态安全等级类型转移的空间分布。从数量上来看, 向上转移的地级市(州、盟)占流域总数的6.85%, 向下转移的地级市(州、盟)占流域总数的38.36%, 而保持平稳状态的地级市(州、盟)则占流域总数的54.79%, 总体上研究区域大部分单元旅游生态安全类型相对稳定。空间分布上, 向上转移的区域主要集中在黄河上游的固原市、中卫市和黄河中游的延安市、吕梁市, 向下转移的地区主要集中在山西中部和北部、河南、山东中东部、宁夏北部以及青海东部, 保持平稳的地区则主要集中在山东西部和北部、山西中部和南部、陕西中部、内蒙古、甘肃和青海西北部, 分布范围广泛且呈现出地理聚集性特征。

传统马尔科夫概率转移矩阵只重视类型之间的变化, 忽视了流域旅游生态安全类型会受邻域地级市(州、盟)旅游生态安全等级类型变化的影响。而Tobler提出的地理学第一定律认为任何事物都是与其他事物相关的, 只不过相近的事物关联更紧密。上文分析得知黄河流域旅游生态安全等级并非是孤立存在, 旅游生态安全往往受到其周边地级市(州、盟)安全等级变化的影响, 具有一定的空间集聚性和空间交互效应。通过在传

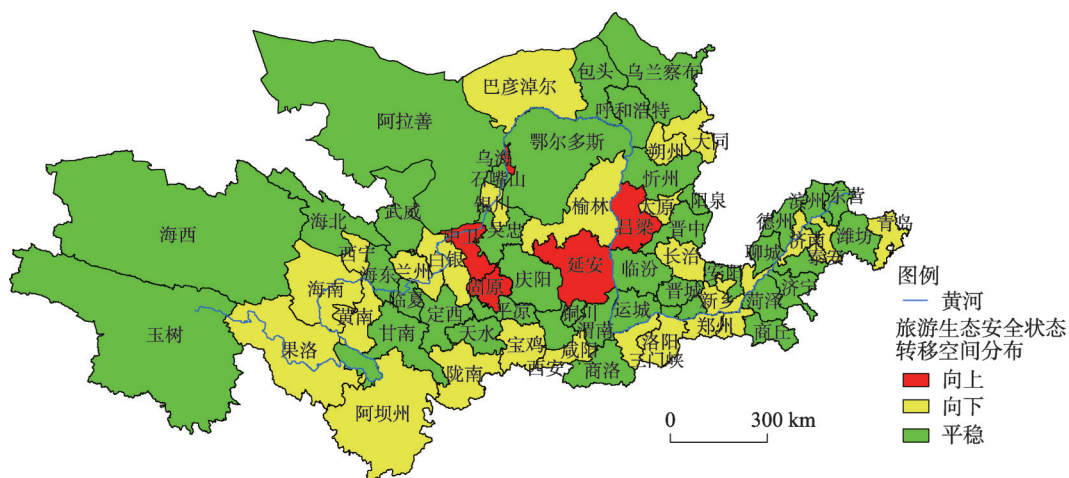


图5 2008—2017年黄河流域旅游生态安全等级类型转移空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of the transfer of tourism ecological security types in the Yellow River Basin from 2008 to 2017

统马尔科夫转移概率矩阵中加入空间滞后项，构建出黄河流域旅游生态安全空间马尔科夫转移概率矩阵，进而深入探讨邻域背景对旅游生态安全等级类型转移的影响。

由空间马尔科夫转移概率矩阵（表6）和旅游生态安全类型转移及邻域转移类型空间格局（图6）可知，区域背景在黄河流域旅游生态安全动态变化过程中起着相当重要的作用，对比传统马尔科夫转移矩阵，在不同邻域条件下，黄河流域旅游生态安全类型的转移概率发生了明显变化。例如，在不考虑空间邻域背景时，DL转为RL的概率为0.4996，而与DL、RL、SL、CL相邻时，其转移概率分别为0.5430、0.5022、0.4167、0，说明在考虑邻域背景情况下，黄河流域旅游生态安全转移概率与不考虑邻域背景时存在显著差异。具体地：①就DL而言，当与DL和RL为邻时，其向上转移的概率平均为0.5634和0.6802；当与SL相邻时，其向上转移的概率为0.4167，说明黄河流域旅游生态安全以DL和RL为邻时向上转移潜力较大，未来可致力于提升这两种类型旅游生态安全层级更上一层。②就RL来看，其分别以DL、RL、SL、CL为邻域背景时，RL保持自身不变的概率分别为0.5469、0.5264、0.4750和0.5455，而其向上转移的概率对应为0.2083、0.1690、0.1845和0.1818，向下转移的概率对应为0.2448、

表6 2008—2017年黄河流域旅游生态安全类型空间马尔科夫转移概率矩阵

| Tab. 6 Markov transition probability matrix of tourism ecological security type space in the Yellow River Basin from 2008 to 2017 | | | | | | | |
|---|-----------|-----|--------|--------|--------|--------|--|
| 邻域类型 | $t/(t+1)$ | n | DL | RL | SL | CL | |
| DL | DL | 52 | 0.4366 | 0.5430 | 0.0204 | 0 | |
| | RL | 45 | 0.2448 | 0.5469 | 0.2083 | 0 | |
| | SL | 20 | 0.0741 | 0.3519 | 0.4259 | 0.1481 | |
| | CL | 2 | 0 | 0 | 1.0000 | 0 | |
| RL | DL | 125 | 0.3198 | 0.5022 | 0.1780 | 0 | |
| | RL | 212 | 0.3046 | 0.5264 | 0.1690 | 0 | |
| | SL | 47 | 0.1012 | 0.3115 | 0.4133 | 0.1741 | |
| | CL | 12 | 0 | 0 | 0.5833 | 0.4167 | |
| SL | DL | 22 | 0.5833 | 0.4167 | 0 | 0 | |
| | RL | 76 | 0.3405 | 0.4750 | 0.1845 | 0 | |
| | SL | 27 | 0.0556 | 0.5833 | 0.3611 | 0 | |
| | CL | 1 | 0 | 1.0000 | 0 | 0 | |
| CL | DL | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | RL | 9 | 0.2727 | 0.5455 | 0.1818 | 0 | |
| | SL | 5 | 0.1250 | 0.8750 | 0 | 0 | |
| | CL | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

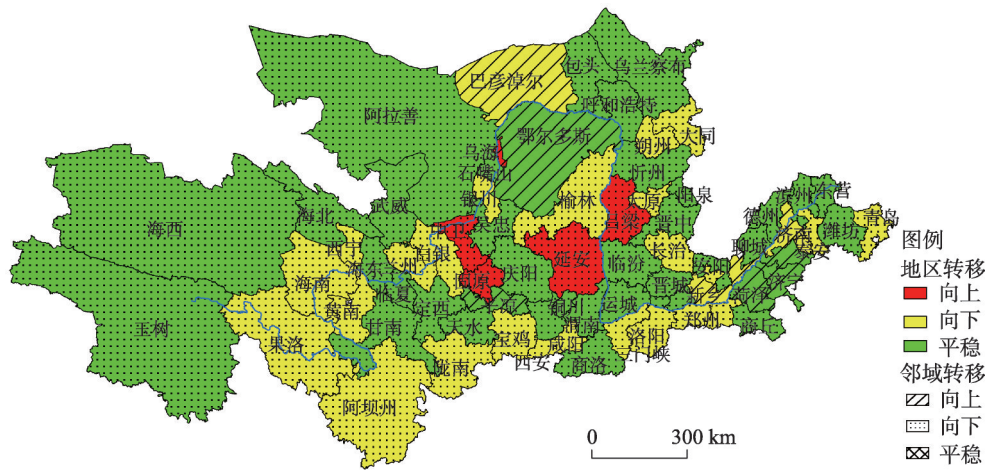


图6 2008—2017年黄河流域旅游生态安全类型转移及邻域转移类型空间格局

Fig. 6 The spatial pattern of the types of tourism ecological security transfer and neighbor transfer types in the Yellow River Basin from 2008 to 2017

0.3064、0.3405和0.2727。说明在不同邻域背景下，RL保持自身不变的概率大于向上或向下转移的概率，同时也说明了其存在一定程度的“俱乐部趋同”现象，各类型转移概率时空变化存在一定的空间惯性。③就SL而言，旅游生态安全SL与DL、RL、SL和CL层级为邻，其向上转移的概率分别为0.1481、0.1741、0和0，向下转移的概率分别为0.4260、0.4127、0.6389和1，说明以DL和RL类型为邻域背景时，其向上转移的概率大于以SL和CL为邻域背景，而其向下转移的概率小于以SL和CL为邻域背景。④旅游生态安全的动态演化特征具有时空异质性特征。当旅游生态安全处于DL的地级市（州、盟）与DL地区相邻时，其处于DL的概率为0.4366，大于同期不考虑空间滞后因素时的0.3960。而就RL地区而言，当其与RL地区相邻时，其自身仍为RL的概率为0.5264，小于不考虑空间滞后因素时的概率0.5358。同理，SL区域仍为自身的概率为0.3611，小于不考虑空间滞后条件时的0.4336。由此可见，在不同邻域背景下的旅游生态安全等级类型具有显著差异性。

4.3 旅游生态安全的驱动因素分析

在中国经济增长新旧动能转换和绿色发展的时代背景下，为提升黄河流域旅游生态安全等级，促进流域高质量及集约型发展，需进一步探析2008—2017年黄河流域旅游生态安全的主要驱动因子。本文选择面板分位数回归方法对黄河流域旅游生态安全的驱动因素进行估计，其中在面板分位数模型估计中，选择了10%、25%、50%、75%和90% 5个具有代表性的分位点，面板分位数回归结果揭示了在黄河流域旅游生态安全条件分布中所有变量弹性系数的变化。为避免数据出现内生性问题，仅考虑最小二乘法是不够的，因此在文中列出普通OLS回归和面板分位数回归的估计结果。同时，为了避免出现伪回归现象，在进行面板分位数回归之前，需对各变量进行平稳性检验。本文选择Levin, Lin和Chu's t-test (LLC检验)、ADF-Fisher Chi-square (ADF检验)和PP-Fisher Chi-square (PP检验) 3种常用的单位根检验方法进行面板数据平稳性检验，以3种检验结果的平稳性一致为准（表7）。由表7可知，各变量均在1%的显著水平下通过单位根检验，表明面板数据具有时间序列上的平稳性，下一步可进行面板分位数回归分析。

从面板分位数回归结果估计（表8）及其分位数回归可视化结果（图7）来看，总体上环境污染因素对旅游生态安全具有显著的负向抑制作用，旅游发展水平、经济发展水平、劳动力投入量、旅游负荷水平、区域绿化程度、政府干预与教育水平则对旅游生态安全具有显著的促进提升作用，但各变量在不同分位点上影响系数大小具有显著差异性。具体来看：

① 在旅游发展水平变量（lnTDL）影响系数变化方面，旅游发展水平对黄河流域旅游生态安全在各分位点均具有显著提升作用，且在低分位点影响系数高于高分位点，为低等级旅游生态安全地区提升其安全等级的重要途径。旅游生态安全低等级城市产业结构相对不合理，旅游产业发展后劲相对不足，因此旅游发展水平变化将大大提升此类地区旅游生态安全的正向边际效应，进而推动地区产业结构朝向合理化和高级化方向演变，从而在产业间的协调发展和效

表7 面板数据单位根检验

Tab. 7 Unit root test of panel data

| 变量 | LLC 检验值 | ADF 检验值 | PP 检验值 | 结果 |
|-------|-------------|------------|------------|----|
| lnTES | -22.0610*** | 10.1282*** | 16.5920*** | 平稳 |
| lnTDL | -26.2052*** | 21.3770*** | 5.5180*** | 平稳 |
| lnEDL | -26.8446*** | 12.5169*** | 26.6660*** | 平稳 |
| lnLI | -16.2025*** | 9.7789*** | 6.4812*** | 平稳 |
| lnEP | -30.1274*** | 23.3750*** | 35.7319*** | 平稳 |
| lnTLL | -21.1290*** | 6.5375*** | 22.3218*** | 平稳 |
| lnRGL | -9.9460*** | 4.7944*** | 5.9382*** | 平稳 |
| lnGI | -9.1612*** | 4.8403*** | 5.9532*** | 平稳 |
| lnEL | -10.7989*** | 3.3142*** | 3.4957*** | 平稳 |

注：***表示在1%水平下显著。

表 8 OLS与面板分位数回归结果估计
Tab. 8 OLS and panel quantile regression results estimation

| 变量 | (1) OLS | (2) q10 | (3) q25 | (4) q50 | (5) q75 | (6) q90 |
|-------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| lnTDL | 0.401*** (5.38) | 0.533*** (3.61) | 0.447*** (4.13) | 0.358*** (3.34) | 0.288*** (2.77) | 0.385*** (4.18) |
| lnEDL | 0.567*** (6.99) | 0.931*** (5.80) | 1.159*** (9.85) | 0.551*** (4.72) | 0.390*** (3.45) | 0.0543 (0.54) |
| lnLI | 0.421*** (4.84) | 0.517*** (3.00) | 0.571*** (4.51) | 0.351*** (2.79) | 0.305** (2.51) | 0.328*** (3.05) |
| lnEP | -0.168** (-2.10) | -0.343** (-2.17) | -0.173 (-1.49) | -0.120 (-1.05) | -0.0337 (-0.30) | 0.0060 (0.06) |
| lnTLL | 0.258*** (8.10) | 0.276*** (4.37) | 0.255*** (5.51) | 0.184*** (4.00) | 0.317*** (7.14) | 0.241*** (6.12) |
| lnRGL | 0.187*** (4.86) | 0.268*** (3.51) | 0.268*** (4.79) | 0.129** (2.33) | 0.146*** (2.72) | 0.125*** (2.62) |
| lnGI | 0.123*** (3.04) | 0.144* (1.79) | 0.155*** (2.62) | 0.0501 (0.86) | 0.162*** (2.85) | 0.121** (2.42) |
| lnEL | 0.238*** (6.69) | 0.312*** (4.42) | 0.250*** (4.83) | 0.272*** (5.31) | 0.207*** (4.17) | 0.175*** (3.99) |
| Cons | 1.535*** (9.76) | 1.849*** (5.94) | 1.918*** (8.40) | 1.195*** (5.27) | 1.445*** (6.59) | 1.379*** (7.10) |
| N | 730 | 730 | 730 | 730 | 730 | 730 |

注：括号内为t统计量；***、**、*分别表示在1%、5%、10%水平下显著。

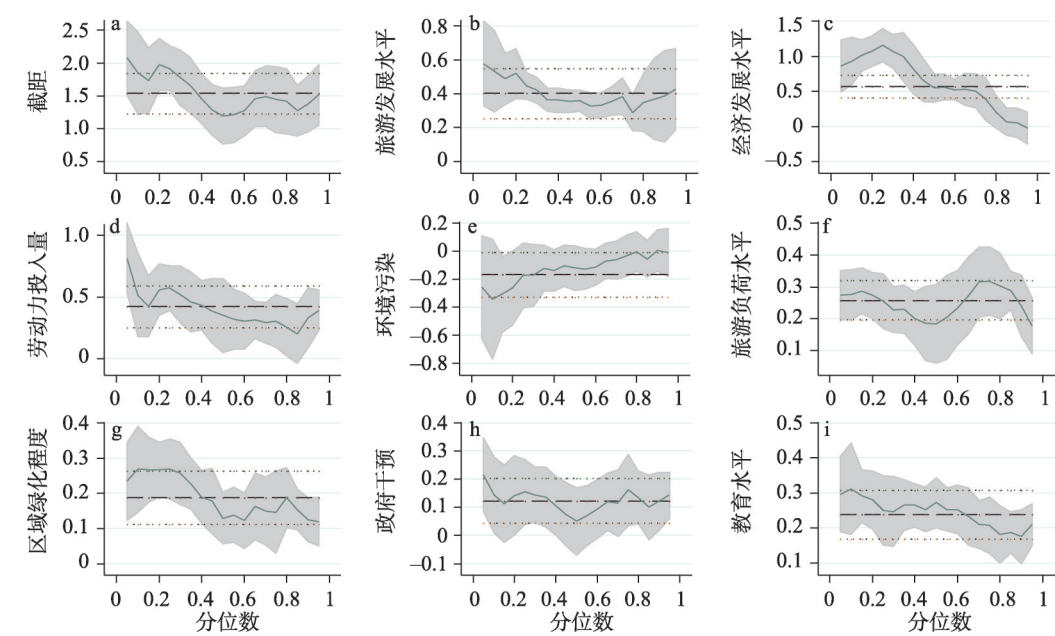


图7 黄河流域旅游生态安全分位数回归结果

Fig. 7 Quantile regression results of tourism ecological security in the Yellow River Basin

率导向原则的基础上,实现资源配置最优化和宏观经济效益最佳。此外,旅游业发展过程中资源消耗低、污染少、可循环发展的绿色产业,是区域政府拉动经济增长、创造美丽环境以及人与自然环境和谐相处的重要驱动力量,故其成为影响旅游生态安全等级提升的重要变量。

②在经济发展水平变量($\ln EDL$)影响系数变化方面,经济发展水平在低分位点上对旅游生态安全的影响系数先升后降,具有显著的正向作用。总体上,区域经济发展水平对旅游生态安全的影响存在倒“U”型关系,且在所有变量中的正向影响系数最大,但是在高分位点上这种显著作用明显降低,尤其在90%分位数水平下达到最低且不显著,说明提高低等级旅游生态安全地区经济发展水平对其旅游生态安全等级提升至关重要。

③在劳动力投入量变量($\ln LI$)影响系数变化方面,劳动力投入量对旅游生态安全具有显著的正向提升作用,这与李细归等的研究一致^[54]。在各分位点上的影响系数呈现倒“N”型趋势,总体上低分位点上劳动力投入量对旅游生态安全的影响系数大于高分位点。旅游业是典型的劳动密集型产业,劳动力投入量的多寡可揭示出各区域在不同时期旅游业的发展状态,旅游业发展起始阶段对劳动力需求量大,注重“量”的供给,而当旅游业发展到一定程度,对劳动力的需求由从“众”向从“优”转变,劳动力人员的素质和流向均会对区域旅游生态安全的空间异质性产生影响。

④在环境污染变量($\ln EP$)影响系数变化方面,环境污染对旅游生态安全具有显著负向抑制作用,黄河流域以能源重化工为主的产业结构、产业规模过高、资源环境效率较低导致生态空间遭受挤占^[53]。如黄河流域以煤为主的能源消费结构导致流域大气煤烟型污染严重,而二氧化硫作为煤炭燃烧过程中最主要和最多的污染排放物,对流域旅游生态安全产生重要影响。结合实证研究结果来看,环境污染分位数回归估计系数的绝对值随着分位数的增大而减小,且负向效应在10%、25%分位数上较大,说明环境污染是黄河流域低等级旅游生态安全地区的主要障碍因素,表明加强此类单元旅游生态安全的环境保护与污染治理,是提升此类地区旅游生态弹性与韧性的重要途径。环境污染对旅游生态安全等级较高地区的负向影响效应较弱,主要归因于旅游生态安全等级较高地区的环境规制强度、能源利用消费结构、绿色减排技术已经相对逐渐成熟与完善。

⑤在旅游负荷水平变量($\ln TLL$)影响系数变化方面,旅游负荷水平对流域旅游生态安全同样具有正向影响效应,且呈现倒“N”型趋势。旅游负荷水平是影响流域旅游生态安全的重要因素,由面板分位数结果可知,在低分位点区域和高分位点区域旅游负荷水平对旅游生态安全均具有显著且较大的正向影响,但在该分位段随着游客数量的增多,其对旅游生态安全的影响程度均有下降趋势,说明黄河流域旅游发展经历了“游客涌入—可控的游客规模压力—游客规模压力增加”的历程,但仍未超出区域旅游环境合理承载能力范围。

⑥在区域绿化程度变量($\ln RGL$)影响系数变化方面,区域绿化程度在低分位点对旅游生态安全的影响系数高于高分位点,说明较低等级旅游生态安全单元绿化水平较低,资源本底欠佳且对旅游业承载能力有限,此类单元绿化程度对旅游生态安全提升的边际效应较大。而旅游生态安全等级较高地区绿化水平在一定程度上要好于低等级旅游生态安全地区,区域旅游承载能力和恢复力较强,因此绿化程度对较高等级旅游生态安全地区的影响较小。

⑦在政府干预变量($\ln GI$)影响系数变化方面,政府干预是影响流域旅游生态安全的外在调控力,政府可通过加大环保资金投入、加强环保宣传、整合旅游资源、提高管

理效率等途径影响旅游生态安全。实证回归结果显示,黄河流域政府调控力对旅游生态安全的影响大致呈“W”型,说明在不同分位点上政府干预对旅游生态安全的影响不尽相同,因此政府应因时因地采取差别化干预措施来提升区域旅游生态安全。需要注意的是,政府干预对低分位点的影响系数相对较大,说明政府部门应更加关注并加强等级较低旅游生态安全地区的旅游生态安全维护与治理,因地制宜地建立旅游生态补偿机制和完善旅游环境保护法律法规。

⑧在教育水平变量($\ln EL$)影响系数变化方面,高教育水平地区居民的环境保护意识较强,旅游出行方式趋向绿色低碳,购买的产品更为环保,对旅游生态安全提升具有促进作用。而由于高教育群体的分布具有空间错位性特征,因此对旅游生态安全等级低分位点单元的影响程度更强,而对旅游生态安全高分位点单元的边际效益相对较小。本文研究证实了这一点,教育水平在10%和25%分位点上对旅游生态安全的影响系数分别为0.312和0.250,明显高于75%和90%分位点上的0.207和0.175,这也进一步说明提升低等级旅游生态安全单元的教育水平,对其旅游生态安全等级上行至关重要。

5 结论和讨论

5.1 结论

本文以系统论为切入视角,基于DPSIR模型构建了测度黄河流域旅游生态安全的理论框架和评价指标体系,分析了2008—2017年黄河流域旅游生态安全的动态演化特征及驱动机理,研究结果能够客观地反映出黄河流域旅游生态安全状态及演变趋势。主要结论如下:

①时间序列方面,箱型图显示黄河流域旅游生态安全值整体上较低(0~0.55),且呈收敛趋势。核密度曲线有向“双峰”形态发展的趋势,说明黄河流域旅游生态安全较高等级的单元有扩大趋势。空间上,黄河流域旅游生态安全具有显著的空间相关性,流域旅游生态安全总体上不断趋好,这也在一定程度上印证了黄河流域旅游生态安全提升是一个持续的、渐进的过程,符合事物发展遵循波浪式前进、螺旋式上升的历史进程。

②动态演化特征上,黄河流域旅游生态安全类型转移具有“路径依赖”与“自身锁定”效应。安全类型转移通常发生在相邻等级之间递次转移,跨等级转移概率较小,且下行风险明显。黄河流域旅游生态安全类型转移在地理空间上并非是孤立存在的,某一单元旅游生态安全等级状态与邻域状态紧密相关,反映出邻域背景在其动态变化过程中起着相当重要的作用,且其动态演化特征具有明显的时空异质性特征。

③影响因素方面,黄河流域旅游生态安全受到环境污染、旅游发展水平、经济发展水平、劳动力投入量、旅游负荷水平、区域绿化程度、政府干预和教育水平等方面的综合影响。其中,环境污染对低层级旅游生态安全单元的负向抑制效应较为明显,旅游负荷水平对较高层级旅游生态安全单元影响的边际效应系数较大,而其余指标均对等级较低旅游生态安全地区影响的边际效应系数较大,反映出以上变量自身结构优化和综合发展质量提升,是黄河流域较低等级旅游生态安全单元提升其旅游生态系统弹性与韧性的关键。

5.2 讨论

在黄河流域生态保护和高质量发展上升为重大国家战略,中国旅游业由规模扩张向质量提升的新时代背景下,本文重点对黄河流域旅游生态安全动态演变特征及驱动因素进行系统且深入研究,对推动黄河流域生态保护和旅游高质量发展意义重大。首先,本

文将研究尺度缩小至地级市(州、盟)尺度,能够更好地解释市域尺度旅游生态安全的异质性和规律性。集成多元地理学方法,考察了黄河流域旅游生态安全发展的时空特征和地理关联规律,识别制约区域旅游生态安全的瓶颈,为黄河流域制定相应的旅游生态安全策略提供了科学依据。其次,本文将传统马尔科夫法和空间马尔科夫法结合应用到旅游生态安全研究中,能够有效地测度流域各地级市(州、盟)旅游生态安全的动态转移过程与规律,直观揭示出旅游生态安全动态演化的异质性特征和邻域背景影响,弥补了以往仅采用传统马尔科夫单一方法的不足,明晰了未来黄河流域旅游生态安全的改进方向。最后,更重要的是,本文采用面板分位数回归模型对黄河流域旅游生态安全的驱动因素进行探析,旨在寻求对旅游生态安全时空变化更为全面科学的解释,丰富了旅游生态安全影响机理的研究方法。事实证明,该方法强调了不同旅游生态安全层级背景下驱动因素的动态异质性变化趋势,从而避免了均值回归的理想化模式,能更好地反映出各自变量对旅游生态安全影响的现实情况,为今后同类地区更全面、系统和动态地探查旅游生态安全驱动机理提供了研究方法借鉴。

黄河流域作为中国生态安全的关键区域,其生态环境本底却很薄弱,水土资源匹配条件差,部分区域大气复合型污染凸显,导致部分河段生态功能丧失^[55]。值得注意的是,本文对黄河流域旅游生态安全的测度结果显示,目前黄河流域旅游生态安全状况不容乐观,敏感级和临界安全级单元仍存在较大下行转移风险。此外,上文研究表明黄河流域旅游生态安全空间分布具有显著的空间相关性,这表明黄河流域旅游生态系统是一个有机整体,因此,未来黄河流域生态保护要树立“一体化”意识和“一盘棋”思想,加强跨区域旅游生态保护联防联控,同时要更加注重黄河流域旅游专项规划、生态环境保护、国土空间开发规划制定的系统性、整体性与协同性。再次,黄河流域旅游生态安全格局存在显著的空间差异性特征,其旅游业生态化与高质量发展要从实际出发,充分考虑上中下游的空间地域差异,坚持“宜水则水、宜山则山、宜工则工、宜商则商、宜游则游”的原则,促使整个流域生态资产增值。最后,地方政府自觉践行绿色发展理念,加快旅游生态保护补偿标准体系建设,建立跨省域旅游生态补偿的协调机制。鼓励生态旅游与农业、林业、文化、海洋等相关产业或行业融合发展,与美丽乡村建设相结合。同时,加快打造具有国际影响力的黄河文化旅游带,提高公众及游客的环境保护意识,倡导低碳出行和生态旅游集约节约发展模式。

旅游生态安全时空动态演变规律及机理研究是践行生态文明和建设“美丽中国”的生动实践。本文结合黄河流域实际情况,基于DPSIR理论模型框架选取了26项指标建立了较为全面的评价指标体系,评估黄河流域2008—2017年旅游生态安全状况及机理,研究结论客观反映了黄河流域旅游生态安全状态及演变趋势,可为黄河流域生态保护和旅游业高质量发展提供重要借鉴。在未来研究中仍有必要应用大数据(如卫星遥感影像数据、污染监测站点数据、旅游流大数据、旅游企业大数据、景区兴趣点(POI)等)进一步丰富旅游生态安全的评价指标体系。此外,囿于数据限制,本文仅研究了黄河流域2008—2017年旅游生态安全变化状况,后续有待选择更长时间序列样本数据,更为深入地探究黄河流域旅游生态安全及其作用机制进行探究。

参考文献(References)

- [1] Weng Gangmin, Pan Yue, Li Lingyan. The eco-security grading and spatial-temporal evolution of tourism based on improved DPSIR-DS model: A case study of the five northwestern provinces along the Silk Road. *Tourism Science*, 2018, 32(6): 17-32. [翁钢民, 潘越, 李凌雁. 基于改进DPSIR-DS模型的旅游生态安全等级测度及时空演变分析: 以“丝绸之路”沿线五省区为例. *旅游科学*, 2018, 32(6): 17-32.]

- [2] Peng H S, Zhang J H, Lu L, et al. Eco-efficiency and its determinants at a tourism destination: A case study of Huangshan National Park, China. *Tourism Management*, 2017, 60(6): 201-211.
- [3] 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. *Tourism Management*, 2019, 75: 609-625.
- [4] Edward J R. The UK heritage coasts: An assessment of the ecological impacts of tourism. *Annals of Tourism Research*, 1987, 14(1): 71-87.
- [5] Morrison P, Selman P. Tourism and the environment: A case study from Turkey. *Environmentalist*, 1991, 11(2): 113-129.
- [6] Jones C, Munday M. Exploring the environmental consequences of tourism: A statelite account approach. *Journal of Travel Research*, 2007, 46(2): 164-172.
- [7] Aryal S, Cockfield G, Maraseni T N. Globalisation and traditional social-ecological systems: Understanding impacts of tourism and labour migration to the transhumance systems in the Himalayas. *Environmental Development*, 2018, 25: 73-84.
- [8] Farrell B H, Runyan D A. Ecology and tourism. *Annals of Tourism Research*, 1991, 18(1): 26-40.
- [9] Cole D N, Monz C A. Impacts of camping on vegetation: Response and recovery following acute and chronic disturbance. *Environmental Management*, 2003, 32(6): 693-705.
- [10] Jurado E N, Tejada M T, García F A, et al. Carrying capacity assessment for tourist destinations. Methodology for the creation of synthetic indicators applied in a coastal area. *Tourism Management*, 2012, 33(6): 1337-1346.
- [11] McCool S F, Lime D W. Tourism carrying capacity: Tempting fantasy or useful reality. *Journal of Sustainable Tourism*, 2001, 9(5): 372-388.
- [12] Arrobas F, Ferreira J, Brito-Henriques E, et al. Measuring tourism and environmental sciences students' attitudes towards sustainable tourism. *Journal of Hospitality, Leisure, Sport & Tourism Education*, 2020, 27: 100273. DOI: 10.1016/j.jhlste.2020.100273.
- [13] Hedlund T. The impacts of values, environment concern, and willingness to accept economic sacrifices to protect the environment on tourists' intentions to buy ecologically sustainable tourism alternatives. *Tourism and Hospitality Research*, 2011, 11(4): 278-288.
- [14] Tokarchuk O, Gabriele R, Maurer O. Estimating tourism social carrying capacity. *Annals of Tourism Research*, 2021, 86: 102971. DOI: 10.1016/j.annals.2020.102971.
- [15] Zhang Y S, Li X, Su Q, et al. Exploring a theme park's tourism carrying capacity: A demand-side analysis. *Tourism Management*, 2017, 59(6): 564-578.
- [16] Simón F J G, Narangajavana Y, Marqués D P. Carrying capacity in the tourism industry: A case study of Hengistbury Head. *Tourism Management*, 2004, 25(2): 275-283.
- [17] Sorice M G, Shafer C S, Ditton R B. Managing endangered species within the use preservation paradox: The Florida manatee (*Trichechus manatus latirostris*) as a tourism attraction. *Environmental Management*, 2006, 37(1): 69-83.
- [18] McCool S F, Lime D W. Tourism carrying capacity: Tempting fantasy or useful reality? *Journal of Sustainable Tourism*, 2001, 9(5): 372-388.
- [19] Cao Xinxiang, Chen Taizheng, Wang Weihong. Ecological security evaluation of tourism destination: A case of Kaifeng city. *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13(2): 209-212. [曹新向, 陈太政, 王伟红. 旅游地生态安全评价研究: 以开封市为例. *水土保持研究*, 2006, 13(2): 209-212.]
- [20] Zhang Peng, Qiu Ping. Ecological security evaluation and influencing factors of island tourist destination: A case analysis of Zhejiang and Fujian provinces. *Journal of Zhejiang Ocean University (Humanities Sciences)*, 2019, 36(1): 30-39. [张鹏, 丘萍. 海岛旅游地生态安全评价及影响因子: 基于浙江和福建的案例. *浙江海洋大学学报(人文科学版)*, 2019, 36(1): 30-39.]
- [21] Zhou Daqing. Division of government and market based on tourism ecology security. *Economic Geography*, 2011, 31(3): 514-517. [周大庆. 旅游生态安全视野的政府与市场分工. *经济地理*, 2011, 31(3): 514-517.]
- [22] Xiong Haoqin, Li Xuguang, Jiang Wenhua, et al. Study on measures of ecological safety of the exploitation of tourism in Wulong county. *Chongqing Environmental Science*, 2003, 25(3): 15-16, 23. [熊好琴, 李旭光, 姜文华, 等. 武隆县旅游开发中的生态安全对策研究. *重庆环境科学*, 2003, 25(3): 15-16, 23.]
- [23] Li Yajuan. Research on tourism ecological security in Wuhan city [D]. Wuhan: Central China Normal University, 2011. [李亚娟. 武汉市旅游生态安全研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2011.]
- [24] Zhang Jinhe, Zhang Jie, Wang Qun. Measuring the ecological security of tourist destination: Methodology and a case study of Jiuzhaigou. *Geographical Research*, 2008, 27(2): 449-458. [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. 地理研究, 2008, 27(2): 449-458.]
- [25] Lv Jun. The origin of tourism ecological security thought and its security state diagnosis. *Journal of Finance and Economics Theory*, 2007(5): 35-38. [吕君. 旅游生态安全思想的缘起及其安全状态诊断. 内蒙古财经学院学报, 2007(5): 35-38.]
- [26] Zou Jiahong, Zhao Yonghua, Wang Huiqin. Research on tourism ecological security in China. *Journal of Xiangtan Normal University (Social Science Edition)*, 2008, 30(1): 74-76. [邹家红, 赵永华, 王惠琴. 我国旅游生态安全研究. 湘潭师范学院学报(社会科学版), 2008, 30(1): 74-76.]
- [27] Lv Jun, Chen Tian, Liu Limei. Analysis about ecological security system of region tourism development: Taking "gegental grassland tourist center of Siziwang Banner of Inner Mongolia" as an example. *Progress in Geography*, 2008, 27(2): 80-88. [吕君, 陈田, 刘丽梅. 区域旅游发展的生态安全系统分析: 以内蒙古自治区四子王旗为例. 地理科学进展, 2008, 27(2): 80-88.]
- [28] Zhou Guohai. Evaluation and maintenance of the ecological security status of tourist destinations: Take Wulingyuan Scenic Area as an example. *Social Scientist*, 2009(11): 91-94. [周国海. 旅游地生态安全状态评价与维护: 以武陵源风景名胜区为例. 社会科学家, 2009(11): 91-94.]
- [29] Li Shujuan, Chen Yangyang. Assessment of ecological security of coastal wetland tourism in Shandong province. *Scientific and Technological Management of Land and Resources*, 2012, 29(4): 6-13. [李淑娟, 谌杨杨. 山东省滨海湿地旅游生态安全评价研究. 国土资源科技管理, 2012, 29(4): 6-13.]
- [30] You Weibin, He Dongjin, Wu Liyun, et al. Temporal-spatial differentiation and its change in the landscape ecological security of Wuyishan scenery district. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(21): 6317-6327. [游巍斌, 何东进, 巫丽芸, 等. 武夷山风景名胜区景观生态安全度时空分异规律. 生态学报, 2011, 31(21): 6317-6327.]
- [31] Shi Hui, Yang Zhaoping, Han Fang, et al. Characteristics of temporal-spatial differences in landscape ecological security and the driving mechanism in Tianchi scenic zone of Xinjiang. *Progress in Geography*, 2013, 32(3): 475-485. [时卉, 杨兆萍, 韩芳, 等. 新疆天池景区生态安全度时空分异特征与驱动机制. 地理科学进展, 2013, 32(3): 475-485.]
- [32] Zhou Bin, Zhong Linsheng, Chen Tian, et al. Spatio-temporal pattern and obstacle factors of ecological security of tourism destination: A case study of Zhejiang province. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(5): 599-607. [周彬, 钟林生, 陈田, 等. 浙江省旅游生态安全的时空格局及障碍因子. 地理科学, 2015, 35(5): 599-607.]
- [33] Zheng Qiuxia, Kuang Yaoqiu, Huang Ningsheng, et al. Spatiotemporal measurement and diagnosis of obstacle factors on tourism eco-security in Guangdong province. *Research of Soil and Water Conservation*, 2017, 24(5): 252-258. [郑秋霞, 匡耀求, 黄宁生, 等. 广东省旅游生态安全时空测度及障碍因子诊断. 水土保持研究, 2017, 24(5): 252-258.]
- [34] Zhou Bin, Yu Hu, Zhong Linsheng, et al. Developmental trend forecasting of tourism ecological security trends: The case of Mount Putuo Island. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(23): 7792-7803. [周彬, 虞虎, 钟林生, 等. 普陀山岛旅游生态安全发展趋势预测. 生态学报, 2016, 36(23): 7792-7803.]
- [35] Wang Xue, Zhang Zulu, Zhang Chao, et al. Estimation and prediction of ecological security status of Shandong province. *Journal of Ludong University: Natural Science Edition*, 2011, 27(2): 173-178. [王学, 张祖陆, 张超, 等. 山东省旅游生态安全状态评价与预测研究. 鲁东大学学报: 自然科学版, 2011, 27(2): 173-178.]
- [36] Wu Chunyou, Guo Lingling, Yu Jingtao. Dynamic simulation of regional ecological security of tourism. *Systems Engineering*, 2013, 31(2): 94-99. [武春友, 郭玲玲, 于惊涛. 区域旅游生态安全的动态仿真模拟. 系统工程, 2013, 31(2): 94-99.]
- [37] Liu Huan. Spatial-temporal evolution and influence mechanism of tourism ecological security in coastal cities based on PSR model: Taking coastal cities in the Bohai Rim region as an example [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2019. [刘欢. 基于PSR模型的滨海城市旅游生态安全时空演变及影响机理: 以环渤海地区沿海城市为例[D]. 南京: 南京师范大学, 2019.]
- [38] Dong Xuewang. Ecological security evaluation of tourist destinations: A case of Wudalianchi national park. *Natural Science Journal of Harbin Normal University*, 2003, 19(6): 100-105. [董雪旺. 旅游地生态安全评价研究: 以五大连池风景名胜区为例. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2003, 19(6): 100-105.]
- [39] Feng Yafen, Jia Tiefei. The ecological security tourism development model and empirical research: A case study on Salawusu River Basin of Inner Mongolia. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2009, 23(6): 181-186. [冯亚芬, 贾铁飞. 旅游开发的生态安全导向模式及其实证研究: 以内蒙古萨拉乌苏河流域旅游开发为例. 干旱区资源与环境, 2009, 23(6): 181-186.]
- [40] Pan Huiqin, Huang Shaohui, Ye Yuyao. Ecological security evaluation of tourism island: A case of Hailing Island. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2013, 40(20): 171-177. [潘慧琴, 黄少辉, 叶玉瑶. 海岛型旅游地生态安全评价: 以

- 海陵岛为例. 广东农业科学, 2013, 40(20): 171-177.]
- [41] Xiao Jianhong, Yu Qingdong, Liu Kang, et al. Evaluation of the ecological security of island tourist destination and island tourist sustainable development: A case study of Zhoushan Island. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(6): 842-852. [肖建红, 于庆东, 刘康, 等. 海岛旅游地生态安全与可持续发展评估: 以舟山群岛为例. 地理学报, 2011, 66(6): 842-852.]
- [42] Cao Xinxiang. A study on ecological security alarm assessment of tourism destination: The case of Kaifeng City in Henan province. *Environmental Science and Management*, 2006, 31(3): 39-43. [曹新向. 旅游地生态安全预警评价指标体系与方法研究: 以开封市为例. 环境科学与管理, 2006, 31(3): 39-43.]
- [43] Cao Xinxiang. Ecological security evaluation of tourism destination based on ecological footprint analyses. *Economic Geography*, 2006, 26(6): 1062-1066. [曹新向. 旅游地生态安全评价模型及实证研究: 基于生态足迹模型的分析. 经济地理, 2006, 26(6): 1062-1066.]
- [44] Xu Mei, Liu Chunla. Tourism ecological security evaluation and obstacle factors analysis of Zhangjiajie. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, 27(3): 605-614. [徐美, 刘春腊. 张家界市旅游生态安全评价及障碍因子分析. 长江流域资源与环境, 2018, 27(3): 605-614.]
- [45] Li Xigui, Wu Li, Wu Qing, et al. Evaluation on tourism ecological security and diagnosis of its obstacle indicators in China. *Ecological Economy*, 2017, 33(6): 90-95. [李细归, 吴黎, 吴清, 等. 中国旅游生态安全测度及障碍因子诊断研究. 生态经济, 2017, 33(6): 90-95.]
- [46] Bao Qingqing, Liu Shengfeng. Dynamic evaluation of ecological security and analysis of obstacle factors in Karst tourist destinations: An example of Guilin city. *Carsologica Sinica*, 2017, 36(3): 407-414. [鲍青青, 刘胜峰. 喀斯特旅游地生态安全动态评价与障碍因子分析: 以桂林为例. 中国岩溶, 2017, 36(3): 407-414.]
- [47] Li Xigui, Wu Qing, Zhou Yong. Spatio-temporal pattern and spatial effect of Chinese provincial tourism eco-security. *Economic Geography*, 2017, 37(3): 210-217. [李细归, 吴清, 周勇. 中国省域旅游生态安全时空格局与空间效应. 经济地理, 2017, 37(3): 210-217.]
- [48] Qiao Jiajun, Zhu Qiankun, Xin Xiangyang. Spatial characteristics and influencing factors of rural poverty in the Yellow River Basin. *Resources Science*, 2020, 42(1): 184-196. [乔家君, 朱乾坤, 辛向阳. 黄河流域农区贫困特征及其影响因素. 资源科学, 2020, 42(1): 184-196.]
- [49] Jiang Guiyan, Yun Yingxia, Ren Lijian, et al. Spatial-temporal discrimination and the related obstacle factor diagnosis for the valley cities urban eco-security in China west based on the improved TOPSIS method. *Journal of Safety and Environment*, 2020, 20(1): 342-351. [蒋贵彦, 运迎霞, 任利剑, 等. 基于改进 TOPSIS 模型的西部河谷型城市生态安全时空分异及障碍因子诊断. 安全与环境学报, 2020, 20(1): 342-351.]
- [50] Pu Yingxia, Ma Ronghua, Ge Ying, et al. Spatial-temporal dynamics of Jiangsu regional convergence with spatial Markov chains approach. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(5): 817-826. [蒲英霞, 马荣华, 葛莹, 等. 基于空间马尔可夫链的江苏区域趋同时空演变. 地理学报, 2005, 60(5): 817-826.]
- [51] Zhou Liang, Che Lei, Zhou Chenghu. Spatio-temporal evolution and influencing factors of urban green development efficiency in China. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(10): 2027-2044. [周亮, 车磊, 周成虎. 中国城市绿色发展效率时空演变特征及影响因素. 地理学报, 2019, 74(10): 2027-2044.]
- [52] Liu Shuaibin, Yang Shan, Wang Zhao. Characteristics and formation mechanism of China's provincial urbanization spatial correlation based on population flow. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(4): 648-663. [刘帅宾, 杨山, 王钊. 基于人口流的中国省域城镇化空间关联特征及形成机制. 地理学报, 2019, 74(4): 648-663.]
- [53] Jin Fengjun, Ma Li, Xu Die. Environmental stress and optimized path of industrial development in the Yellow River Basin. *Resources Science*, 2020, 42(1): 127-136. [金凤君, 马丽, 许堞. 黄河流域产业发展对生态环境的胁迫诊断与优化路径识别. 资源科学, 2020, 42(1): 127-136.]
- [54] Li Xigui. GIS-based research on the spatio-temporal pattern evolution and influence mechanism of China's provincial tourism ecological security [D]. Wuhan: Central China Normal University, 2016. [李细归. 基于 GIS 的中国省域旅游生态安全时空格局演化及其影响机理研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2016.]

Dynamic evolution characteristics and driving factors of tourism ecological security in the Yellow River Basin

MU Xueqing^{1,2}, GUO Xiangyang^{1,2,3}, MING Qingzhong⁴, HU Cheng^{1,2}

(1. School of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 2. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China; 3. School of Business Administration, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550025, China; 4. Institute of Tourism and Cultural Industry, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650221, China)

Abstract: It is of great theoretical and practical importance to measure and examine tourism ecological security in the Yellow River Basin (YRB). The purpose of this study is to promote coordinated and sustainable development of the tourism economy and ecological environment. From the perspective of watershed sustainable development, this paper constructs the theoretical framework and index system of tourism ecological security in the YRB based on DPSIR system model, and analyzes its dynamic evolution characteristics and driving factors by using improved TOPSIS method, kernel density estimation, spatial autocorrelation, traditional and spatial Markov chains and quantile regression panel method. The results showed that: (1) There has been an evolutionary trend toward a dual-core form of tourism ecological security over time, as its average value fluctuates and then rises. The overall tourism ecological security level was relatively low (0-0.55), shifting from the predominant risk level in 2008 (accounting for 89.04%) to the levels of predominant risk and deterioration in 2017 (60.27% and 31.51%, respectively). A large downward risk remains. (2) In terms of dynamic evolution characteristics, the transfer of tourism ecological security risks and sensitive levels had "path dependence" and "self-locking" effects. In practice, however, the probability of maintaining the initial state of the deterioration level and the critical safety level was relatively small. And the type of transfer was usually accomplished during a subsequent level transfer. Its dynamic change process was strongly influenced by regional factors. Its characteristics of dynamic evolution were characterized by significant spatial and temporal heterogeneity. (3) Tourism ecological safety was most significantly influenced by environmental pollution in lower-level units. The tourism load level had a greater positive marginal effect on higher-level areas; however, economic development and level of tourism development have a greater positive marginal effect on areas with lower ecological tourism security levels.

Keywords: tourism ecological security; dynamic evolution characteristics; spatial Markov chain; panel quantile regression; Yellow River Basin