

季海瑞,陈晓良,李啟霞.青海湖高寒生态脆弱区旅游生态安全时空变化特征及障碍因子[J].中国沙漠,2026,46(4):238-249.

青海湖高寒生态脆弱区旅游生态安全 时空变化特征及障碍因子

季海瑞^{1a},陈晓良²,李啟霞^{1b}

(1.青海师范大学 a.经济管理学院, b.地理科学学院, 青海 西宁 810016; 2.青海民族大学 旅游学院/青海省旅游文化研究所, 青海 西宁 810007)

摘要:在建设生态文明与打造国际生态旅游目的地背景下,高寒生态脆弱区旅游生态安全水平已成为衡量区域人地系统可持续发展的重要指标。本文以青海湖地区为研究对象,基于DPSIR框架构建评价指标体系,采用熵权-TOPSIS法对2005—2024年区域旅游生态安全水平进行动态测度,并运用障碍度模型识别制约其安全水平提升的主要因子。结果表明:(1)2005—2024年青海湖地区旅游生态安全指数呈显著上升趋势,经历了低位波动、稳步提升、阶段跃升的发展过程,系统协调性不断增强。(2)空间格局上,区域内县域间的旅游生态安全差异逐渐缩小,呈现出由初期明显的空间非均衡性向整体提升、均衡收敛的态势转变。(3)从系统结构看,生态状态与响应子系统的改善最为显著,生态环境质量的稳步提升构成了旅游生态安全的核心支撑。(4)障碍因子方面,旅游总收入占地区生产总值比重、旅游总收入、游客接待强度、居民收入带动效应及人口集聚压力是制约该区域旅游生态安全水平进一步跃升的主要因素。研究结果可为高寒生态脆弱区优化旅游开发模式、制定差异化生态保护政策提供科学依据与决策参考。

关键词:旅游生态安全;高寒生态脆弱区;DPSIR模型;障碍因子;青海湖地区

文章编号:1000-694X(2026)04-238-12

DOI:10.7522/j.issn.1000-694X.2026.00078

中图分类号:F59

文献标志码:A

0 引言

作为全球增长最快的行业之一,旅游业发展深度依赖于优越的自然环境^[1]。尽管其因低耗能特征曾被视为“无烟工业”和“永远的朝阳产业”,但作为一种综合性消费活动,其环境负面效应正随着产业规模扩张逐步凸显^[2]。大规模游客活动与资源过度开发,不仅冲击着地方生态系统的稳定性,更使旅游发展与生态保护陷入对立统一的二元矛盾之中^[3]。2022年党的二十大报告明确提出“人与自然和谐共生”的发展理念,为推动生态环境保护与旅游产业协调发展提供了重要战略指引。在此背景下,如何在促进旅游业发展的同时维护生态系统安全,已成为学术界关注的重要问题^[4]。

自20世纪90年代以来,旅游生态安全问题日

益成为国内旅游可持续发展领域的核心议题。现有研究呈现出显著的多学科交叉特征^[5-8],学者们围绕该领域的理论渊源、概念诠释及研究述评^[9-11],时空分布特征^[4]、影响因素与障碍因子^[6,12]、预警预测与类型划分^[13-14]及其与旅游业的互动关系^[15]等内容展开了系统探讨。研究对象方面,已有研究涵盖海岛^[16]、草原^[17]、湖泊^[18]以及典型景区^[19]等多种类型。研究方法方面,学者们在运用生态足迹法^[2]、马尔可夫链^[3]、DPSIR与模糊物元模型^[6-7]及线性加权法^[18]的基础上,进一步引入PSR、TQR以及动态仿真与神经网络等评价模型^[20-22],并结合地理探测器^[23]、灰色关联度^[24]、环评RIAM^[25]及GTWR等空间计量模型^[26],对旅游生态安全演变的驱动机理进行了精准识别。相应地,研究尺度也从全国层面、跨省域单元不断向流域^[27-28]、城市群^[29]及各类特殊地理单元

收稿日期:2026-03-18; 改回日期:2026-05-08

资助项目:青海省科技厅基础研究青年项目(2022-ZJ-954Q)

作者简介:季海瑞(1991—),女,青海西宁人,博士,副教授,主要从事青藏高原旅游经济和生态旅游研究。

E-mail: 1002171365@qq.com

(如边境、自然保护区等)^[30-33]细化。尽管国内关于旅游生态安全的研究已取得丰硕成果,但现有研究仍存在以下不足:一是现有研究多依赖短期截面数据,缺乏区域尺度下的长时序动态追踪;二是针对国家重要生态安全屏障及高寒生态脆弱区的关注相对不足。区别于常规地理单元,高寒生态系统在面临外部旅游活动干扰时,其表现出的胁迫-响应机理更为敏感且极易失衡。因此,开展此类区域的旅游生态安全长时序评估及机制研究,对于严守生态红线、保障生态安全屏障功能、推动区域可持续发展具有重要战略意义。

青海湖地区是中国最大的内陆咸水湖所在地,属于典型的高寒生态脆弱区,也是青藏高原东北部重要的水源涵养区,更是维护全国生态安全格局的关键屏障。习近平总书记多次强调,“保护好青海生态环境,是‘国之大者’”;青海“最大的价值在生态、最大的责任在生态、最大的潜力也在生态”;“承担着维护生态安全的重大使命”^[34]。高寒脆弱区的极端自然条件决定了其不可逾越的承载力底线。为避免生态退化,当地已严格实施沙化土地治理^[35]、湿地恢复^[36]及河流治污^[37]等一系列重大保护工程。然而,在严苛的生态红线约束下,旅游业发展面临保护与开发的双重压力。当前,青海湖生态旅游正逐步向体验型转变,整体处于生态约束下的适度开发期,产业发展对自然资源依赖度极高,且受到极为严格的环保规制^[38-39]。与此同时,旅游业作为地方经济支柱仍在持续扩张,2024年仅青海湖景区就接待游客442.6万人次,实现旅游收入4.1亿元^[40]。持续的高强度旅游活动对高寒草甸、湿地等核心生态系统形成了显著的环境胁迫。由此可见,如何精准测度旅游生态安全的演变态势,并有效缓解旅游快速扩张与脆弱生态系统之间的深层矛盾,已成为制约该区域高质量发展的核心因素。

基于此,本文以青海湖高寒生态脆弱区(以下简称“青海湖地区”)为研究对象,构建DPSIR框架下的旅游生态安全评价指标体系,运用熵权-TOPSIS法和障碍度模型,对2005—2024年旅游生态安全水平进行综合测度,探析其时空变化特征及主要障碍因子。本文旨在弥补现有研究在特殊地理单元与长时序演变机制上的不足,为高寒生态脆弱区旅游生态安全治理及区域可持续发展提供科学支撑与实践参考。

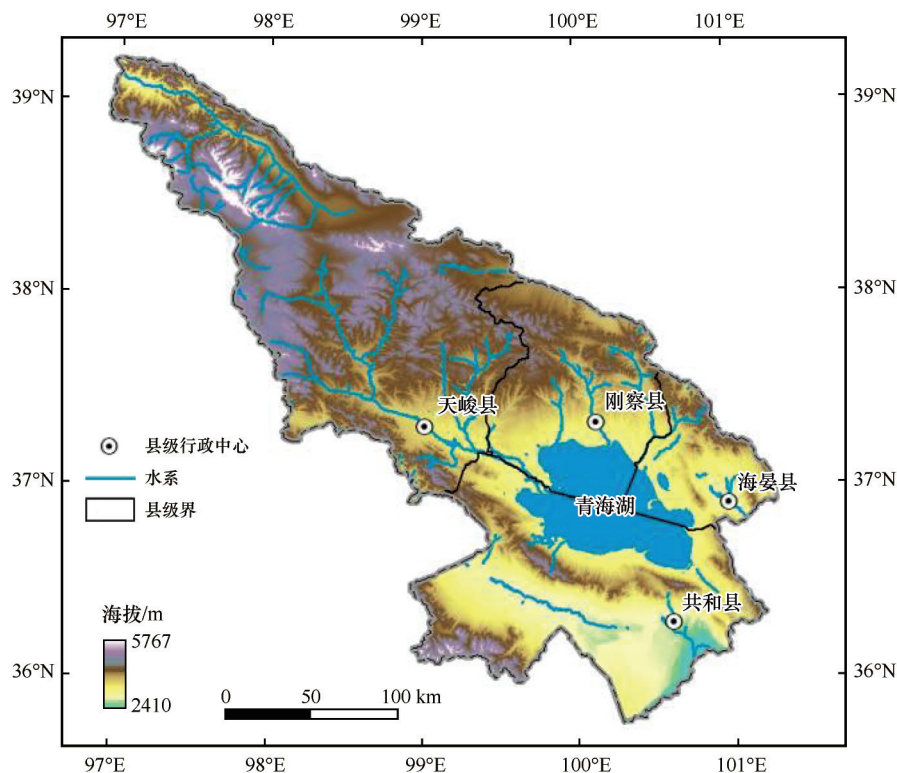
1 研究区、数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

青海湖地区位于中国青藏高原高寒区、西北干旱区与东部季风区的交会地带,海拔2 410~5 767 m,地势由西北向东南递减,地形以山地、盆地为主(图1)。区域内生态系统类型多样,包括森林、灌丛、草地、湿地、农田和荒漠等,是青藏高原东北部及黄河流域上游地区重要的水源涵养区和生态功能区。区域年均气温 $-0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,年降水量268.6~417.8 mm,属典型的高原大陆性气候^[41]。行政区划上涵盖海北藏族自治州海晏县、刚察县、海西蒙古族藏族自治州天峻县以及海南藏族自治州共和县,总面积29 661 km²。考虑到社会经济统计数据主要以县域为基本统计单元获取,故本文以区域涉及4个县作为评价单元进行分析。依托独特的高原湖泊景观与特色民族文化资源,该地区已发展成为青海省生态旅游的核心区域。近年来,随着交通基础设施改善与旅游服务体系完善,区域旅游接待能力持续提升,年均游客规模维持在较高水平^[40]。然而受高寒生态系统本底脆弱性制约,旅游活动对草地、湿地及水体环境构成潜在压力,生态保护与旅游发展间的矛盾日益显现^[36]。

1.2 数据来源

社会经济与旅游发展数据,来源于2005—2024年《青海省统计年鉴》以及海北藏族自治州、海南藏族自治州、海西蒙古族藏族自治州统计年鉴。部分指标及缺失年份数据,通过查阅国家统计局官网、青海省人民政府官网,以及研究区各县(共和县、海晏县、刚察县、天峻县)的国民经济和社会发展统计公报、政府工作报告和各县统计局、自然资源局等相关职能部门的公开数据进行补充。针对长时序跨度下少数缺失数据(2005—2009年PM₁₀浓度、旅行社数量及住宿餐饮业从业人数等),统一采用线性插值法补充,整体插补数据占比不足5%,以确保面板数据的连续性与完整性。此外,本文所需的生态状态指标(净初级生产力NPP、归一化水体指数NDWI、植被覆盖度FVC),均基于中分辨率成像光谱仪(MODIS)系列数据产品获取,数据统一来源于美国国家航空航天局(NASA)地球观测系统数据与信息系统(EOSDIS)平台(<https://www.earthdata>).



注:基于自然资源部标准地图服务网站审图号GS(2024)0650号标准地图制作,底图边界无修改

图1 研究区概况

Fig.1 Overview of the study area

nasa.gov/),其中植被净初级生产力(NPP)数据采用MOD17A3HGF V061年度产品(lpdaac.usgs.gov/products/mod17a3hgfV061/),空间分辨率为500 m^[42];归一化水体指数(NDWI)数据来源于MOD09A1 V061地表反射率8 d合成产品(www.earthdata.nasa.gov/data/catalog/lpcloud-mod09a1-061,空间分辨率为500 m^[43];植被覆盖度(FVC)数据来源于MOD13Q1 V061植被指数16 d合成产品(developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS_061_MOD13Q1),空间分辨率为250 m^[44]。

1.3 研究方法

1.3.1 评价指标构建

基于驱动力—压力—状态—影响—响应模型(DPSIR)构建旅游生态安全评价指标体系,综合参考相关研究成果^[3-4,6,12,21,23-24,27,30,45-52],考虑县域数据可获得性,剔除了部分不符合高寒地区实际的常规指标(如工业废气排放量、建成区绿化率等),最终筛选得到17个评价指标(表1)。

(1)驱动力(D):选取旅游收入增长率、游客增

长率及地区生产总值,以反映宏观经济与旅游规模扩张对区域生态系统的驱动作用。(2)压力(P):除选取人口密度与PM₁₀浓度反映基础环境压力外,针对高寒牧区面临的双重压力,本文选取了“肉类总产量”指标。该指标能间接表征草场载畜水平,客观反映旅游业扩张与传统畜牧业叠加下,草场超载对脆弱生态系统构成的直接压力,具有较强的区域解释力。(3)状态(S):经济状态选取旅游总收入、游客接待人次等指标以反映旅游接待能力;针对高寒自然本底敏感的特殊性,生态状态选取NPP、NDWI、FVC等3项遥感指标,这些指标有效弥补了常规统计数据(如森林覆盖率)对高寒草甸和湿地表征的局限性,能够客观、长时序地刻画脆弱区植被与水体的动态演变过程。(4)影响(I):选取人均地区生产总值、住宿餐饮从业人数及城镇居民可支配收入增长率,反映系统状态变化对促进地方经济与改善农牧民福祉的综合影响。(5)响应(R):选取旅游总收入占地区生产总值比重及第三产业增加值占地区生产总值比重,表征区域在面对高寒生态约束时,优化产业结构的宏观调控与响应能力。

表 1 青海湖地区旅游生态安全评价指标体系

Table 1 Evaluation index system for tourism ecological security in the Qinghai Lake region

子系统层	因子层/单位	指标释义及性质	权重	文献来源
驱动力 (D)	旅游收入增长率/%(D_1)	反映旅游地国内旅游经济的增长驱动(-)	0.0019	[3,23,27]
	游客增长率/%(D_2)	反映地方游客接待规模扩张程度(-)	0.0020	[4]
	地区生产总值/万元(D_3)	反映区域经济总量对旅游扩张的驱动作用(-)	0.0062	[45]
压力(P)	人口密度/(人·km ⁻²)(P_1)	反映游客与居民对旅游地的生态冲击(-)	0.0406	[46]
	肉类总产量/万 t(P_2)	间接反映草场载畜水平和生态压力(-)	0.0193	[47]
	PM ₁₀ 浓度(μg·m ⁻³)(P_3)	反映大气污染对旅游地生态环境的冲击(-)	0.0277	[48]
状态(S)	旅游总收入/亿元(S_1)	反映区域旅游经济发展水平(+)	0.1072	[12]
	游客接待人次/万人次(S_2)	反映旅游地旅游经济及市场效益的综合状况(+)	0.3010	[24]
	旅行社数量/个(S_3)	反映旅游地的游客接待能力(+)	0.0694	[27,49]
	净初级生产力/(g·m ⁻² ·a ⁻¹)(S_4)	反映旅游地生态系统生产功能状况(+)	0.0276	-
	归一化水体指数(S_5)	反映区域水分状况及水生态系统稳定性(+)	0.0079	-
	植被覆盖度/%(S_6)	反映区域植被覆盖程度及生态健康状况(+)	0.0304	-
影响(I)	人均地区生产总值/元(I_1)	反映旅游地收入和国民经济增长水平(+)	0.0468	[21,50]
	住宿餐饮业从业人数/人(I_2)	反映系统内驱动力等子系统运行变化对旅游地劳动力投入的综合影响(+)	0.0316	[51]
	城镇居民可支配收入增长率/%(I_3)	反映区域居民生活水平改善程度(+)	0.0678	[52]
响应(R)	旅游总收入占地区生产总值比重/%(R_1)	反映旅游产业在区域经济结构中的地位(+)	0.1636	[4]
	第三产业增加值占地区生产总值比重/%(R_2)	反映区域产业结构的合理性(+)	0.0492	[6,30]

1.3.2 熵权-TOPSIS 法

本文采用熵权-TOPSIS 法对青海湖地区旅游生态安全进行综合评价。该方法首先通过极差标准化处理消除量纲影响,之后基于指标变异程度计算客观权重,最后利用 TOPSIS 测度各评价单元与正、负理想解之间的距离,并以综合贴近度表征其旅游生态安全水平。具体计算方法参考文献[53]。

1.3.3 DPSIR 各子系统综合指数测度

为进一步揭示青海湖地区旅游生态安全评价系统内部结构特征及各子系统发展差异,在获得各指标客观权重基础上,对驱动力(D)、压力(P)、状态(S)、影响(I)和响应(R)5 个子系统分别进行加权求和计算,构建各子系统综合指数^[54]:

$$S_{k,i} = \sum_{j=1}^{n_k} w_j Z_{ij} \tag{1}$$

式中: $S_{k,i}$ 为第*i*个评价单元第*k*个子系统的综合指数; n_k 为第*k*个子系统所包含的指标数量; w_j 为第*j*项指标的客观权重; Z_{ij} 为第*i*个评价单元在第*j*项指标上的标准化值; $k=1,2,3,4,5$ 分别对应 D、P、S、I、R 子系统。 $S_{k,i}$ 值越大,表明该子系统综合水平越高;

反之,则说明其发展状况相对较弱。

1.3.4 障碍度模型

在全面评估青海湖地区旅游生态安全综合水平基础上,进一步探究影响系统安全状态的关键制约因素。常规综合评价模型侧重于反映整体安全态势,难以深入揭示系统内部各因子的限制因素。障碍度模型通过综合考量指标偏离度与权重的耦合作用,能够定量诊断复杂评价体系中对总体目标制约最显著的具体指标^[55]。鉴于该模型在限制因子识别方面的数理严密性,本文引入该模型测度 DPSIR 各子系统及具体指标的障碍程度。

首先计算指标偏离度:

$$I_{ij} = 1 - Z_{ij} \tag{2}$$

式中: I_{ij} 为第*i*个评价单元在第*j*项指标上的偏离度。偏离度越大,表明该指标与最优状态的差距越大。

进一步计算单指标障碍度:

$$O_{ij} = \frac{w_j I_{ij}}{\sum_{j=1}^n w_j I_{ij}} \times 100\% \tag{3}$$

式中: O_{ij} 为第*i*个评价单元第*j*项指标的障碍度; n 为

指标总数。

为揭示不同子系统对旅游生态安全系统的制约作用,对第 k 个子系统内各指标障碍度进行累加计算,构建子系统综合障碍度:

$$O_{k,i} = \sum_{j=1}^{n_k} O_{ij} \quad (4)$$

式中: $O_{k,i}$ 为第 i 个评价单元第 k 个子系统的综合障碍度; n_k 为该子系统所包含的指标数量($k=1,2,3,4,5$ 分别对应驱动力、压力、状态、影响和响应子系统)。综合障碍度越大,表明该子系统对旅游生态安全的制约作用越显著。

1.3.5 安全等级划分标准

目前,旅游生态安全等级划分在学术界尚无统一标准^[24],已有研究多依据各自数据特征制定分级方案^[56]。受研究区高寒脆弱生态本底的影响,本文测得的旅游生态安全综合指数整体处于低位,有效区间为0~0.60。若机械套用常规的0~1分级体系,高等级区间将因缺乏样本而失去比较意义,进而弱化对区域时空差异的刻画。为确保分级符合样本数据的实际分布规律,本文对有效区间[0,0.60]内的样本数据进行了基础的描述性统计分析。结果显示,样本数据在该区间内并未出现极端的聚类或断崖式分层,而是呈现出近似均匀的连续分布特征。基于此,本文采用等距分组原理设定0.15为分级步长,能够最大程度地保留各样本间的信息差异并避免主观干预。将青海湖地区旅游生态安全水平划分为4个等级:较低安全水平[0,0.15]、中等安全水平(0.15,0.30]、较高安全水平(0.30,0.45]和高安全水平(0.45,0.60]。

2 结果与分析

2.1 青海湖地区旅游生态安全的时空变化特征

2.1.1 时序变化特征

2005—2024年青海湖地区旅游生态安全综合指数总体呈现波动上升态势(图2)。2005—2011年为低水平波动阶段,指数由0.18下降至2008—2009年的0.17,随后上升至2011年的0.21,年际波动较小,整体维持在较低水平。2012—2018年为稳步提升阶段,指数从2012年的0.24持续上升至2017年的0.29,2018年小幅升至0.30,高于前期水平。2019—2024年为加速提升阶段,2019年指数跃升至0.37,2020—2023年在0.30~0.37波动,2024年进一

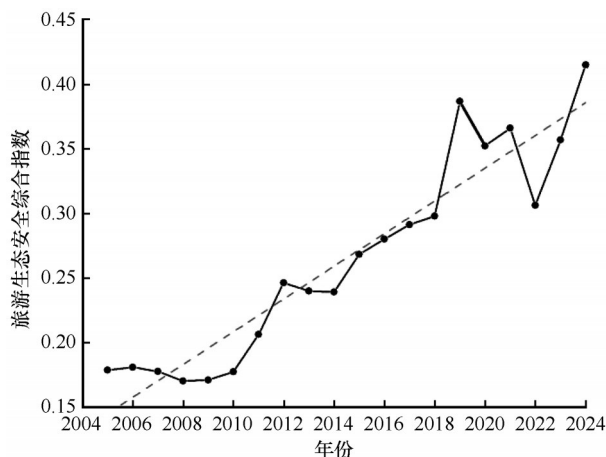


图2 2005—2024年青海湖地区旅游生态安全综合指数变化趋势

Fig.2 Trend of the tourism ecological security index in the Qinghai Lake region during 2005-2024

步提升至0.42,为研究期内最高值。总体来看,2005—2024年青海湖地区旅游生态安全综合指数由0.18升至0.42,整体呈低水平波动—稳步提升—阶段跃升的阶段性变化特征,表明区域旅游生态安全状况持续改善。与已有研究相比,青海湖地区旅游生态安全指数(0.18~0.42)明显低于西北地区(0.25~0.60)^[25],接近贵州喀斯特生态脆弱区(0.22~0.37)^[57],呈现低值约束特征。

青海湖地区旅游生态安全驱动力(D)子系统整体处于较低水平,各县指数基本维持在0.01左右,年际变化幅度较小,整体表现平稳。压力(P)子系统在各县域间呈现分化特征,天峻县长期维持在0.07以上,刚察县由0.05升至0.07,海晏县由0.07降至0.04,共和县整体处于0.01~0.04,县域间差异较为明显。状态(S)子系统增长幅度最为显著,共和县由0.04提高至0.29,海晏县由0.08提高至0.23,刚察县由0.06上升至0.20,天峻县由0.02提高至0.07,各县均呈持续上升态势,且增幅显著高于其他子系统。影响(I)子系统整体呈缓慢上升态势,海晏县由0.04增至0.15,增幅相对明显,共和县由0.01增至0.05,天峻县与刚察县在0.04~0.06波动,变化相对稳定。响应(R)子系统年际波动较为突出,天峻县2024年达到0.28,刚察县在2012年前后达到0.17后逐步下降至0.05,海晏县长期维持在0.03~0.05,共和县始终处于较低水平(图3)。从子系统结构看,青海湖地区旅游生态安全呈现状态主导—驱动力不足—压力与响应分化的特征。这与西北地区驱动力贡献显著不同^[25],本研究驱动力长期低位,旅

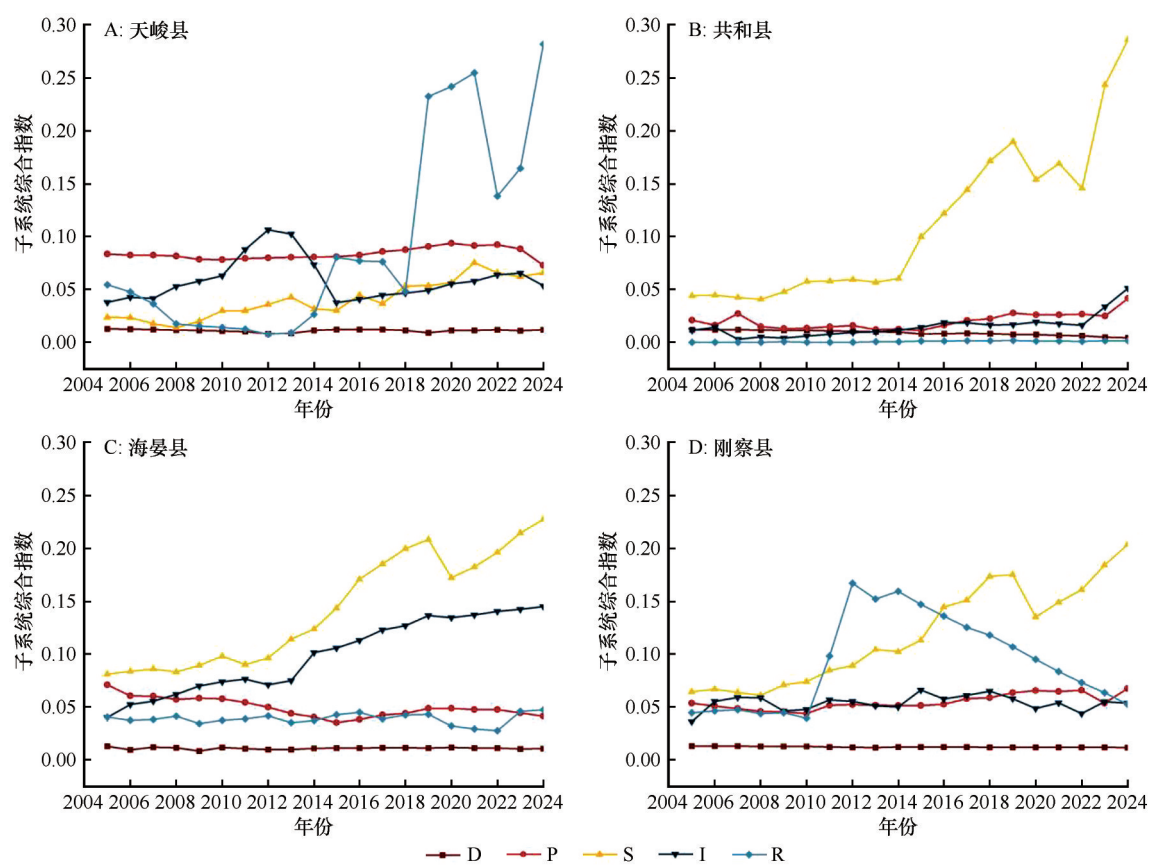


图3 2005—2024年青海湖地区各县旅游生态安全子系统综合指数变化趋势
Fig.3 Trends of the composite indices of tourism ecological security subsystems in counties of the Qinghai Lake region during 2005–2024

游生态安全水平提升主要依赖生态改善与政策管控,而非旅游规模扩张。

2.1.2 空间变化特征

2005—2024年研究区各县旅游生态安全水平空间变化特征如图4所示。从等级结构变化看,

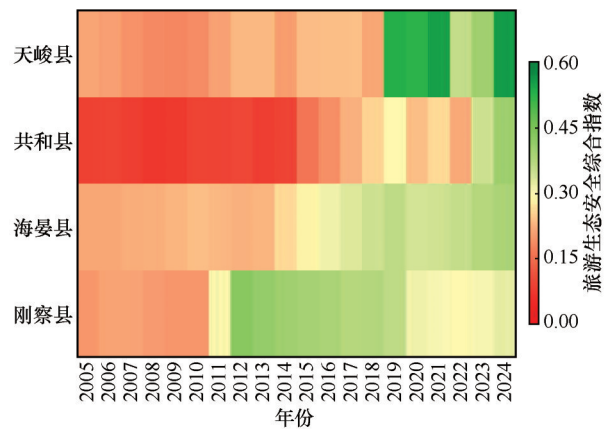


图4 2005—2024年青海湖地区各县旅游生态安全水平变化特征
Fig.4 Variation in tourism ecological security levels among counties in the Qinghai Lake region during 2005–2024

2005年研究区整体以中等安全水平为主,4个县域中3个处于中等安全水平,1个处于较低安全水平,区域旅游生态安全整体处于中低发展阶段。随着时间推移,各县域安全等级均呈现不同程度提升。至2024年,区域旅游生态安全水平显著提高,其中天峻县达到高安全水平,其余县域均提升至较高安全水平,区域整体安全等级实现明显跃升。从空间分布格局变化看,较低安全水平主要集中于研究期初期的共和县,并在后续年份逐步得到改善;中等安全水平在研究期前期占据主导地位,主要分布于天峻县、刚察县与海晏县等区域,并在时间演变过程中逐渐向较高安全水平转变;较高安全水平自研究中后期开始在部分县域出现,其中天峻县最先进入较高安全水平阶段,随后刚察县与海晏县相继达到该等级,并在研究后期逐渐成为区域主要的安全等级类型;高安全水平在研究后期开始出现,主要分布于天峻县,表明区域旅游生态安全水平逐步进入较高发展阶段。总体来看,青海湖地区旅游生态安全空间格局由研究初期的县域差异较为明显,逐步

演变为以较高安全水平为主导的相对均衡格局,呈现出整体提升、均衡收敛的空间变化特征。

2.2 青海湖地区旅游生态安全时空变化的形成机制

2.2.1 时序变化的形成机制

2005—2024 年青海湖地区旅游生态安全综合指数整体呈现低位波动—稳步抬升—阶段跃升的变化特征。这与西北地区^[25]、西藏自治区^[20]旅游生态安全整体改善的结论基本一致,表明在生态文明战略持续推进下,研究区旅游生态安全水平持续提高。从更长时间尺度看,2000 年前后青海湖地区整体生态安全处于“前预警”状态^[58]。与早期风险状态相比,2005 年以来指数持续上升,旅游系统与生

态系统的协调性呈阶段性改善。

从各阶段变化看,2005—2011 年处于低位波动阶段。该阶段旅游规模开始增长,但生态修复与管控体系尚处于推进初期(表 2),草地退化与湿地生态压力较为突出^[59],旅游扩张与生态承载间的矛盾尚未有效缓解,指数提升幅度有限。2012—2018 年进入稳步改善阶段,随着 2008 年综合治理工程的正式实施及相关管理条例的出台(表 2),生态质量逐步恢复,综合指数呈稳定上升态势。2019 年以后进入阶段跃升期。国家公园体制试点和自然保护地体系整合强化了空间管控与开发边界管理^[60],使得生态保护要求与旅游开发边界更加明确,进而促使旅游生态安全指数明显上升。

表 2 青海湖地区旅游生态安全演变阶段及关键政策节点

Table 2 Evolution stages and key policy nodes of tourism ecological security in the Qinghai Lake region

阶段	时间	相关政策文件
低位波动	2005—2011 年	《关于做好青海湖流域生态环境保护和综合治理工作有关事项的通知》([2005]2426 号) 《青海湖流域生态环境保护与综合治理规划》([2007]3729 号批复) 《青海湖流域生态环境保护条例》(2003 年通过,2022 年修正)
稳步提升	2012—2018 年	《青海湖流域生态环境保护与综合治理工程》正式启动实施(2008 年启动,实施期内) 《青海湖景区管理条例》(2014 年通过,2015 年施行)
阶段跃升	2019—2024 年	《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》 《青海湖国家公园总体规划(2023—2035 年)》([2024]43 号)

从子系统结构看,状态子系统改善幅度最为显著。生态状态指标整体改善,与张颖等^[61]关于青海湖流域生态保护成效阶段性评估的研究结论形成呼应。这表明生态本底的恢复为旅游生态安全水平提升提供了支撑。相比之下,驱动力子系统则长期处于较低水平,旅游收入与游客规模增长对综合指数的拉动作用有限,说明本阶段旅游安全水平提升主要源于生态质量改善与政策制度管控强化,而非单纯依赖规模扩张。这一变化特征表明旅游发展方式由规模扩张转向在生态约束条件下的结构性调整。

2.2.2 空间变化的形成机制

青海湖地区旅游生态安全县域差异格局在研究期内经历了由初期差异较为明显向逐步均衡收敛的演变过程。研究初期(2005—2010 年),区域旅游生态安全整体以中等安全水平为主,但县域间仍存在一定差异,这主要源于县域间生态本底条件与人口压力结构的不同。共和县农牧业活动强度较高,人口规模相对集中^[62],资源利用强度较大,生态承载压

力相对突出,旅游生态安全水平在研究初期相对较低;相比之下,天峻、刚察、海晏三县生态本底条件较优,人口密度较低,状态子系统优势明显,整体安全水平较高,由此在研究初期形成共和县相对较低、其余县域相对较高的区域差异格局。研究期中期(2015 年后),县域间旅游生态安全水平差异逐渐缩小,各县旅游生态安全水平整体提升并趋向较高安全水平阶段。这一变化与生态保护政策持续强化及自然保护地体系整合密切相关(表 2)。随着空间管控措施不断完善,各县在资源开发强度、旅游布局与生态保护标准方面趋于一致,早期因资源禀赋差异形成的发展强度差距逐渐减弱,从而推动安全水平向中高安全水平阶段收敛。穆学青等^[27]在黄河流域研究中指出,流域旅游生态安全存在空间异质性并呈动态调整趋势,本研究在青海湖地区尺度上提供了具体例证。此外,与祁连山国家公园跨区域治理背景下仍存在明显空间分化相比^[47],青海湖地区在统一行政管理框架下推进保护与开发协调,政策执行的连续性与一致性在一定程度上减弱了县域间制

度差异带来的影响。总之,青海湖地区旅游生态安全县域差异的演变,既受生态本底与人口压力结构差异影响,也与治理方式调整和空间管控力度增强密切相关,研究期内整体表现为安全水平稳步提升、县域差异逐步收敛的发展趋势。

2.3 青海湖地区旅游生态安全的障碍因素

2.3.1 障碍因子测算结果

由表 3 可知,旅游总收入占地区生产总值比重(R_1)与旅游总收入(S_1)在各节点年份中稳居青海湖地区旅游生态安全障碍度第一、二位,障碍度值分别为 23.67%~27.59% 和 14.18%~17.78%,是制约研

究区旅游生态安全水平提升的主要障碍因子。在其余障碍因子中,旅行社数量(S_3)排名由 2005—2015 年的第三位下降至 2024 年的第六位,制约作用逐步减弱;城镇居民可支配收入增长率(I_3)排名由 2005 年的第五位逐步上升至 2024 年的第三位(障碍度值 10.93%),制约作用日益凸显;游客接待人次(S_2)排名波动明显,于 2020 年跃升至第三位(障碍度值 10.12%),旅游承载压力阶段性加剧;人口密度(P_1)于 2024 年首次进入前七位,成为新兴障碍因子。旅游总收入占地区生产总值比重、旅游总收入、城镇居民可支配收入增长率与游客接待人次是影响青海湖地区旅游生态安全的主要障碍因子。

表 3 青海湖地区县域旅游生态安全的障碍因子排序

Table 3 Ranking of obstacle factors affecting tourism ecological security at the county level in the Qinghai Lake region

年份	项目	指标排序						
		1	2	3	4	5	6	7
2005	障碍因子	R_1	S_1	S_3	S_2	I_3	I_1	R_2
	障碍度/%	25.85	17.52	10.94	8.98	8.79	7.59	4.58
2010	障碍因子	R_1	S_1	S_3	S_2	I_3	I_1	R_2
	障碍度/%	26.90	17.62	10.61	8.66	8.17	6.90	5.33
2015	障碍因子	R_1	S_1	S_3	I_3	S_2	I_1	R_2
	障碍度/%	24.76	17.49	9.72	8.78	8.48	7.30	4.50
2020	障碍因子	R_1	S_1	S_2	I_3	S_3	I_1	R_2
	障碍度/%	23.67	17.78	10.12	9.89	7.50	7.00	4.63
2024	障碍因子	R_1	S_1	I_3	S_2	I_1	S_3	P_1
	障碍度/%	27.59	14.18	10.93	8.47	7.98	6.99	5.71

从子系统层面看,各子系统障碍度排名在研究期内保持高度稳定(图 5),由大到小依次为状态子系统(S)、响应子系统(R)、影响子系统(I)、压力子系统(P)和驱动力子系统(D)。状态子系统(S)障碍度值在 1.22~1.41,始终位居首位,旅游总收入(S_1)与游客接待人次(S_2)是该子系统重要的制约指标;响应子系统(R)障碍度值在 0.91~1.12,位居第二位,旅游总收入占地区生产总值比重(R_1)是主要制约指标;影响子系统(I)障碍度值在 0.58~0.65,位居第三位,城镇居民可支配收入增长率(I_3)的制约作用近年来持续凸显;压力子系统(P)障碍度值由 2005 年的 0.22 总体上升至 2024 年的 0.37,位居第四位,区域生态环境压力呈增大趋势;驱动力子系统(D)障碍度值始终居于末位,对旅游生态安全的制约程度相对有限。

2.3.2 障碍因素

参考徐少癸等^[6]、徐美等^[21]、吴清等^[55]的研究,本文沿用同一套 DPSIR 指标体系进行障碍度诊断,以保持综合评价与障碍因子分析的一致性。障碍度结果显示(表 3),旅游总收入与旅游总收入占地区生产总值比重长期位居前两位,表明旅游经济规模及其在区域经济结构中的相对地位,是影响研究区旅游生态安全水平的重要因素。随着旅游经济规模持续扩大,旅游活动强度与资源利用需求亦同步增加,在生态承载能力相对有限的高寒地区更容易转化为环境压力。同时旅游业在区域经济中的比重上升,强化了对旅游发展的结构性依赖,可能增强持续扩张动力,从而加剧生态保护与经济发展之间的协调压力。这与王振波等^[63]关于青藏高原旅游经济与生态环境存在显著交互胁迫关系的结

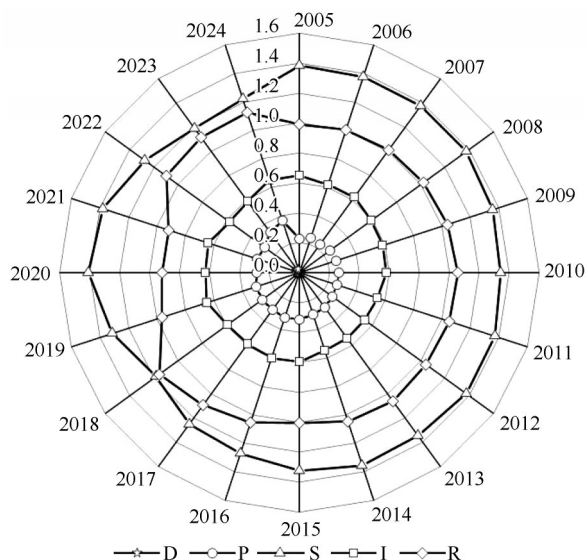


图5 2005—2024年青海湖地区旅游生态安全各子系统障碍度

Fig.5 Obstacle degree of each subsystem of tourism ecological security in the Qinghai Lake region during 2005–2024

论一致,均表明旅游经济扩张在一定阶段会对生态环境产生约束效应。游客接待人次在部分年份成为主要障碍因子,表明旅游活动规模增长对区域生态环境形成直接压力。青海湖流域草地与湿地生态系统恢复周期较长,对人为干扰较为敏感。王飞鸿等^[25]指出游客规模变化会显著影响旅游生态安全,本研究在流域尺度上的结果与其一致,表明在草地与湿地生态系统恢复能力有限条件下,旅游活动强度变化更容易影响旅游生态安全水平。城镇居民可支配收入增长率障碍度上升,说明居民收入增长相对有限。在生态管控较为严格的背景下,旅游发展若缺乏稳定的社会收益基础,其发展与保护政策的实施难以形成良性互动。余正军等^[20]在西藏的研究中强调高原旅游发展需兼顾社会效益,与本研究结果呈现出相似特征。需要说明的是,2024年人口密度首次成为主要障碍因子,表明人口与旅游活动的集聚加剧了资源消耗和环境压力,约束因素由经济结构问题逐步转向集聚压力,体现出障碍因子随发展阶段调整的特征^[64]。总之,青海湖流域旅游生态安全的障碍因素主要集中在旅游规模扩张及其经济结构影响、居民收入带动效应不足以及人口集聚带来的资源环境压力等方面。

3 讨论

研究期内青海湖地区旅游生态安全指数持续

上升,经历了低位波动—稳步提升—阶段跃升的发展过程,与西北地区^[25]及西藏自治区^[20]旅游生态安全整体改善趋势一致。然而,与西北地区旅游生态安全指数相比,青海湖地区指数明显偏低,呈现低值约束特征。这表明高寒生态系统相对脆弱的自然本底对区域旅游活动强度具有明显的阈值约束,在受限的生态承载力下,安全水平提升幅度存在客观限制。

在系统驱动机制上,青海湖地区表现为生态状态主导特征。研究期内,表征宏观经济与旅游规模的驱动力子系统长期处于低位,而生态状态与响应子系统改善最为显著。这说明安全水平提升并非依赖开发规模扩张,主要得益于高寒草甸退化治理、湿地恢复等生态修复工程及空间管控政策的落实。这与李智慧等^[12]关于旅游发展水平是影响旅游生态安全的核心因素及周彬等^[24]在浙江省发现游客数量增长率为主要障碍因子的结论形成对比,凸显了高寒脆弱区生态状态主导的独特性。在空间格局上,各县域安全等级由初期的非均衡状态演变为整体提升、均衡收敛。国家公园体制试点等统一的生态保护规制有效减弱了早期粗放开发造成的空间差异,促使区域人地关系向均衡方向转变。

障碍度诊断结果反映了高寒生态保护与旅游发展的内在矛盾。除旅游总收入及占比外,城镇居民可支配收入增长率与人口密度逐渐成为主要的制约因子。青海湖地区作为少数民族聚居区,传统畜牧业是牧民的主要生计方式。在严格的生态管控下,旅游业对居民收入的带动作用尚未充分发挥。若旅游收益无法持续增长,当地居民的生计压力可能加剧,进而转化为生态环境的潜在胁迫,制约旅游生态安全水平的进一步提升。

针对现有研究在高寒特定地理单元及长时序演化机理探讨方面的局限,本研究的创新主要体现在:一是构建了契合高寒脆弱区本底特征的评价体系,引入MODIS遥感反演数据(NPP、NDWI、FVC)表征植被与水体动态,并将表征草地载畜压力的肉类总产量纳入指标体系,量化了旅游胁迫与传统牧业叠加的生态压力;二是基于近20年的长序列面板数据,完整刻画了青海湖地区从粗放开发、综合治理到国家公园严格管控不同阶段的生态安全响应过程,揭示了生态修复工程的长期累积效应与国家公园制度管控的协同驱动机制。尽管如此,仍存在进一步深化的空间:(1)受限于社会经济统计数据,

本文以县域为基本评价单元,掩盖了环湖核心景区与外围区域的微观空间异质性。未来可结合POI、手机信令、高分遥感等多源空间数据,将尺度下沉至乡镇或网格单元。(2)针对居民收入等障碍因子,未来需运用空间计量模型解构多要素驱动机制,并重点关注社区生计脆弱性,探索兼顾生态保护与居民增收的利益协同路径。

4 结论

2005—2024年青海湖地区旅游生态安全水平整体呈持续提升趋势,经历了由低位波动向稳步提升再到阶段跃升的发展过程。研究初期旅游生态安全水平相对较低,随后逐步提升并在研究后期进入明显改善阶段。子系统结果表明,区域旅游生态安全水平的提升主要来源于生态状态改善与制度管控强化,而旅游发展驱动力对子系统的推动作用相对有限。

2005—2024年青海湖地区旅游生态安全由早期县域差异较为明显逐步向中高等级占主导的相对均衡格局转变,各县旅游生态安全水平整体提升,县域差异呈逐步收敛趋势。

旅游总收入及其占地区生产总值比重长期位居主要障碍因子,表明旅游规模扩张及其在区域经济结构中的相对地位,是制约旅游生态安全提升的重要因素。同时,游客接待规模、居民收入增长率及人口密度在部分年份成为主要障碍因子,反映出旅游活动强度与人口集聚对区域生态系统形成持续压力。

本文揭示了高寒生态脆弱区旅游生态安全低值约束-状态主导-制度驱动的演化特征,拓展了DPSIR框架在特殊地理单元的应用边界。区别于全国及东部地区旅游经济规模扩张驱动模式,本研究发现高寒区域旅游安全水平提升主要依赖生态本底改善与政策管控,这一结论为理解脆弱生态系统与旅游活动的互动关系提供了新的实证依据。此外,研究识别出旅游总收入占地区生产总值比重、游客接待强度、人口集聚压力为核心障碍因子。未来在青海湖国家公园建设过程中,应严格控制游客承载量上限、优化旅游收入结构,并建立社区参与的利益共享机制,以实现生态保护与旅游发展的协同增效。本研究可为青藏高原及其他高寒脆弱区优化旅游开发模式、制定差异化生态保护政策提供科学依据与决策参考。

参考文献:

- [1] 查瑞波,许进谔,王善杰.碳排放视角下入境旅游对共同富裕的影响[J].自然资源学报,2023,38(5):1210-1224.
- [2] 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(2):449-458.
- [3] 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[J].旅游科学,2018,32(6):17-32.
- [4] 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[J].经济地理,2017,37(3):210-217.
- [5] 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[J].重庆环境科学,2003,25(5):15-16.
- [6] 徐少葵,左逸帆,章牧.基于模糊物元模型的中国旅游生态安全评价及障碍因子诊断研究[J].地理科学,2021,41(1):33-43.
- [7] 石丹,关婧文.基于DPSIR-物元的吉林省旅游生态安全时空格局测度及障碍诊断[J].生态学报,2022,41(8):1653-1664.
- [8] 李竹,吴卫.长江中游旅游生态效率与区域生态安全的空间一致性研究[J].长江流域资源与环境,2022,31(3):537-550.
- [9] 卢璐,曾坚,于天虎.旅游生态安全研究进展[J].生态科学,2023,42(2):238-247.
- [10] 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[J].水土保持研究,2006,13(2):209-212.
- [11] 周彬,朱宇辰,虞虎,等.旅游生态安全研究现状、评述与展望[J].生态学报,2025,45(3):1049-1058.
- [12] 李智慧,靳诚,魏俊伟,等.中国旅游生态安全时空格局演化及影响因素研究[J].地理与地理信息科学,2025,41(5):134-142.
- [13] 杨利,丁富艳,杨可欣.重庆市旅游生态安全评价及趋势预测[J].四川旅游学院学报,2022(5):51-57.
- [14] 秦晓楠,程钰.中国旅游城市生态安全系统评估与类型划分研究:基于节点权重约束网络DEA模型[J].地理科学,2019,39(1):156-163.
- [15] 王凯,刘美伦,谭佳欣.旅游产业集聚与旅游生态安全的互动关系研究:以长江中游城市群为例[J].中南林业科技大学学报(社会科学版),2024,18(2):70-82.
- [16] 周彬,乔荟潼,肖芳珍,等.基于变权理论和灰色云模型的海岛旅游地生态安全评价:以舟山群岛为例[J].生态学报,2026,46(4):1976-1991.
- [17] 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[J].地理科学进展,2008,27(2):80-88.
- [18] 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[J].哈尔滨师范大学自然科学学报,2003,19(6):100-105.
- [19] 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[J].社会科学家,2009(11):91-94.
- [20] 余正军,杨梦妮,韩朝阳.基于PSR模型的西藏旅游生态安全分析[J].西藏民族大学学报(哲学社会科学版),2023,44(1):

- 140–146.
- [21] 徐美,刘春腊.张家界市旅游生态安全评价及障碍因子分析[J].长江流域资源与环境,2018,27(3):605–614.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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[J].地理科学,2015,35(5):599–607.
- [25] 王飞鸿,黄婷,蒋伟峰,等.中国西北地区旅游生态安全的时空特征及影响因素[J].安徽师范大学学报(自然科学版),2025,48(4):360–369.
- [26] 何小芊,刘亚菲.基于GTWR模型的长江经济带旅游生态安全影响因素时空特征[J].长江流域资源与环境,2026,35(1):156–173.
- [27] 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.
- [28] 吕雅诗,刘敏,闫旭刚.汾河流域旅游生态安全时空格局演变与影响因素[J].地域研究与开发,2023,42(5):87–93.
- [29] 肖钊富,李瑞,吕宛青.成渝城市群旅游生态安全时空格局演化研究[J].世界地理研究,2023,32(10):122–133.
- [30] 田里,闫子豪,王桀.边境旅游生态安全时空格局及影响因素分析[J].生态经济,2023,39(7):149–156.
- [31] 张鹏,丘萍.岩溶地区旅游生态安全评价及趋势分析:以广西为例[J].中国岩溶,2014,33(4):483–489.
- [32] 郑永贤,薛菲,张智光.森林旅游景区生态安全IRDS模型实证研究[J].资源科学,2015,37(12):2350–2361.
- [33] Wang Y, Wu C S, Wang F F, et al. Comprehensive evaluation and prediction of tourism ecological security in droughty area national parks: a case study of Qilian Mountain of Zhangye section, China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 28: 16816–16829.
- [34] 才让多杰.让绿水青山永远成为青海的优势和骄傲[N/OL].青海日报,2025–05–12.
- [35] 魏小星.青海湖东沙化治理过程中土壤酶活性及养分含量特征[J].草业科学,2017,34(7):1408–1418.
- [36] 李惠梅,李荣杰,晏旭昇,等.青海湖流域生态风险评价及生态功能分区研究[J].生态环境学报,2023,32(7):1185–1195.
- [37] 刘泽碧,窦筱艳,毛旭锋,等.青海湖流域沉积物重金属生态风险评价及来源解析[J].环境工程学报,2025,19(5):1061–1073.
- [38] 何敏.青海湖国际生态旅游目的地示范区创建取得阶段性成效[N].青海日报,2025–1–14.
- [39] 苏昊,杜鸣溪,刘秋雨,等.青海湖国家公园旅游线路生态环境潜在压力评估[J].干旱区资源与环境,2026,40(3):186–197.
- [40] 路国珍.青海湖主景区首次实现经营性收入超门票收入[N].青海日报,2025–03–10.
- [41] 曹生奎,曹广超,陈克龙,等.青海湖高寒湿地生态系统服务价值动态[J].中国沙漠,2014,34(5):1402–1409.
- [42] Running S, Zhao M. MODIS/Terra net primary production gap-filled yearly 14 global 500m SIN grid V061 [DS]. NASA EOS-DIS Land Processes Distributed Active Archive Center, 2021. doi.org/10.5067/MODIS/MOD17A3HGF.061
- [43] Vermote E. MODIS/Terra surface reflectance 8-day 13 global 500m SIN grid V061 [DS]. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center, 2021. doi.org/10.5067/MODIS/MOD09A1.061
- [44] Didan K. MOD13Q1 MODIS/Terra vegetation indices 16-day 13 global 250 m SIN grid V061 [DS]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center, 2021. doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.061
- [45] 魏丽蓉,程占红,石烨,等.黄河流域旅游生态安全的演化特征和影响因素分析:基于社会网络分析视角[J].干旱区地理,2026,48(2):245–254.
- [46] 刘倩倩,张鑫,吴寒青.基于模糊物元模型的旅游生态安全测度及障碍因子分析:以安徽省为例[J].林业经济,2022,44(8):42–60.
- [47] 陈正逸.祁连山国家公园县域旅游生态安全的时空演变及障碍因素研究[D].西宁:青海师范大学,2023.
- [48] 徐美,刘春腊,李丹,等.基于改进TOPSIS-灰色GM(1,1)模型的张家界市旅游生态安全动态预警[J].应用生态学报,2017,28(11):3731–3739.
- [49] 王兆峰,陈青青.1998年以来长江经济带旅游生态安全时空格局演化及趋势预测[J].生态学报,2021,41(1):320–332.
- [50] 张志明,许欢科.基于PSR模型的桂林喀斯特世界自然遗产地旅游生态环境安全评价与诊断[J].桂林师范高等专科学校学报,2019,33(1):13–18.
- [51] 陆保一,明庆忠,史鹏飞,等.基于DPSIR-SBM框架的旅游生态安全时空动态及影响路径:以云南省为例[J].地理与地理信息科学,2023,39(6):134–142.
- [52] 刘延国,廖彦淞,王青,等.生态旅游视域下的岷江上游贫困山区生态安全评价[J].中国农业资源与区划,2018,39(2):189–195.
- [53] 张戢,陈佳,黄馨,等.水资源约束下的河西走廊城市经济脆弱性时空演变及其影响因素[J].中国沙漠,2019,39(1):203–211.
- [54] 马金涛,苗红,温胜强,等.基于P-S-R模型的甘肃省旅游生态安全时空格局演变[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2020,35(3):118–124.
- [55] 吴清,陈嘉琳,焦义彬,等.基于DPSIR框架的中国省域乡村旅游生态安全时空演变及障碍因子研究[J].旅游科学,2025,39(6):109–127.
- [56] 杨良健,曹开军.新疆85个县市旅游生态安全时空格局演变及驱动机制[J].生态学报,2021,41(23):9239–9252.
- [57] 郭向阳,明庆忠,杨春宇,等.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[J].经济地理,2023,43(10):190–200.
- [58] 王宏,李晓兵,乔云伟.青海湖流域生态安全评价[J].地球环境学报,2010,1(3):230–238.
- [59] 张明,崔军,曹学章.青海湖流域草地退化时空分布特征[J].

- 生态与农村环境学报, 2017, 33(5): 426–432.
- [60] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2019(19): 16–21.
- [61] 张颖, 钞振华, 杨永顺, 等. 基于PSR模型的青海湖流域生态环境保护效果评价[J]. 草业科学, 2016, 33(5): 851–860.
- [62] 周笃珺, 马海州, 山发寿, 等. 青海湖流域及周边地区的草地资源与生态保护[J]. 资源科学, 2006, 28(3): 94–101.
- [63] 王振波, 梁龙武, 褚昕阳, 等. 青藏高原旅游经济与生态环境协调效应测度及交互胁迫关系验证[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(9): 1352–1366.
- [64] 贾海发, 杜鹏阳. 基于DPSIR-TOPSIS和障碍度模型的青海省生态安全评价及障碍因子诊断[J]. 农业现代化研究, 2024, 45(2): 296–305.

Spatiotemporal variation characteristics and obstacle factors of tourism ecological security in the alpine ecologically fragile area of Qinghai Lake

Ji Hairui^{1a}, Chen Xiaoliang², Li Qixia^{1b}

(1. a. School of Economics and Management / b. School of Geographic Sciences, Qinghai Normal University, Xining 810016, China; 2. School of Tourism/Qinghai Tourism and Culture Research Institute, Qinghai Minzu University, Xining 810007, China)

Abstract: Against the backdrop of advancing ecological civilization and establishing international eco-tourism destinations, evaluating tourism ecological security has emerged as a key benchmark for gauging the sustainable development of human-environment systems in high-altitude cold ecologically vulnerable areas. Taking the Qinghai Lake region as the research object, this paper constructs an evaluation index system based on the DPSIR framework. The entropy-weighted TOPSIS method is employed to dynamically measure the level of tourism ecological security from 2005 to 2024, and the obstacle degree model is utilized to identify the primary factors restricting its improvement. The results indicate that: (1) From 2005 to 2024, the tourism ecological security index of the Qinghai Lake region showed a significant upward trend, undergoing a developmental process characterized by low-level fluctuation, steady improvement, and stage-wise leap, with the system's coordination continuously enhancing. (2) In terms of spatial patterns, the disparities in tourism ecological security among counties have gradually narrowed, shifting from initial spatial non-equilibrium toward a trend of overall improvement and balanced convergence. (3) From the perspective of system structure, the status and response subsystems exhibited the most significant improvements, with the steady enhancement of ecological environment quality forming the core support for tourism ecological security. (4) Regarding obstacle factors, the proportion of total tourism revenue in regional GDP, the scale of total tourism revenue, tourist reception intensity, the driving effect on resident income, and population aggregation pressure are the main bottlenecks restricting further leaps in regional tourism ecological security. The findings provide a scientific basis and decision-making reference for optimizing tourism development models and formulating differentiated ecological protection policies in high-altitude cold ecologically vulnerable areas.

Key words: tourism ecological security; high-altitude cold ecologically vulnerable area; DPSIR model; obstacle factor; Qinghai Lake region