

DOI: 10.5846/stxb202008052042

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. 生态学报, 2021, 41(23): 9239-9252.

Yang L J, Cao K J. Spatiotemporal pattern and driving mechanism of tourism ecological security in 85 counties and cities of Xinjiang. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(23): 9239-9252.

新疆 85 个县市旅游生态安全时空格局演变及驱动机制

杨良健¹, 曹开军^{1,2,*}

¹ 新疆大学旅游学院, 乌鲁木齐 830049

² 新疆历史文化旅游可持续发展重点实验室, 乌鲁木齐 830046

摘要: 旅游生态安全是区域生态安全的重要组成部分。科学评价区域旅游生态安全状况, 对区域旅游生态安全风险防控具有重要的现实意义。以新疆 85 个县市为研究对象, 兼顾 DPSIR 模型与数据包络分析方法 (DEA) 两者优势, 运用 Max-DEA 软件科学、系统地测度新疆各县市 2007—2017 年的旅游生态安全, 利用 ArcGIS10.6 和 GeoDa0.95i 软件的空间分析技术对新疆各县市的旅游生态安全时空格局演变特征进行分析, 并利用地理探测器探测旅游生态安全的关键影响因素。研究发现: (1) 时间上, 新疆多数县市的旅游生态安全指数逐年降低, 呈现出明显的恶化趋势; 空间上, 新疆各县市旅游生态安全等级两极分化现象严重, 且南疆县市的旅游生态安全水平总体优于北疆县市; (2) 新疆各县市的旅游生态安全存在明显的相关性, 旅游生态安全空间集聚态势明显; (3) 新疆旅游生态安全低-低类集聚区域范围有所扩散, 高-高类集聚区域范围则正在缩小, 负面空间溢出效应增强, 正面溢出效应减弱; (4) 影响新疆各县市旅游生态安全的主要因素有: 城镇化率、游客人数、游客密度、旅游空间指数、星级酒店数、植被指数、农牧民人均纯收入、旅游业对 GDP 的贡献率、旅游接待能力以及每万人拥有教师数。基于研究发现, 本文刻画了新疆旅游生态安全的驱动机制, 并提出相应的政策建议。研究成果对新疆各县市的旅游生态安全的保护具有重要的参考意义。

关键词: 旅游生态安全; DPSIR 模型; DEA 模型; 地理探测器; 县域尺度

Spatiotemporal pattern and driving mechanism of tourism ecological security in 85 counties and cities of Xinjiang

YANG Liangjian¹, CAO Kaijun^{1,2,*}

¹ College of Tourism, Xinjiang University, Urumqi 830049, China

² Key Laboratory of the Sustainable Development of Xinjiang's Historical and Cultural Tourism, Urumqi 830046, China

Abstract: Tourism ecological security is an essential part of regional ecological security. Evaluating regional tourism ecological security scientifically is important for preventing and controlling regional tourism ecological security risks. Considering the advantages of the Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) model and Data Envelopment Analysis (DEA), this study uses Max-DEA software to scientifically and systematically measure the tourism ecological security of 85 counties and cities in Xinjiang from 2007 to 2017. It also uses ArcGIS10.6 and GeoDa0.95i software's spatial analysis technology to analyze the spatial and temporal pattern evolution characteristics of the tourism ecological security. Afterward, the key influencing factors of tourism ecological security are detected using Geo Detector software. The results show that (1)

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目 (2019D01C051); 新疆维吾尔自治区社会科学基金项目 (18BGL089); 新疆维吾尔自治区高校科研计划人文社科项目 (XJEDU2018SY001); 新疆历史文化旅游可持续发展重点实验室项目 (LY2020-08)

收稿日期: 2020-08-05; 网络出版日期: 2021-07-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: caokaijun@xju.edu.cn

During the period of 2007—2017, 40.01% of the counties and cities in Xinjiang have experienced fluctuation and decline in tourism ecological security. Among them, 20% of the counties and cities rapidly dropped from the high level of tourism ecological security in 2007 to the low level of tourism ecological security in 2017, and 12.94% of the counties and cities have been in the low level of tourism ecological security. On the contrary, 22.35% of the counties' tourism ecological security index continued to rise with fluctuations based on a higher level of tourism ecological security state. Moreover, the polarization of the tourism ecological security level is severe in counties and cities of Xinjiang, and the tourism ecological security of counties and cities in southern Xinjiang is better than that in northern Xinjiang. (2) There is an obvious correlation between the tourism ecological security of various counties and cities in Xinjiang, and the spatial agglomeration trend of tourism ecological security has become more obvious. (3) The scope of low-low cluster areas of tourism ecological security in Xinjiang counties and cities has been diffused, while the scope of high-high cluster areas is shrinking. It indicates that the negatively spatial spillover effect is enhanced, but the positive spillover effect is weakened. (4) The main factors that affects tourism ecological security in Xinjiang counties and cities include the urbanization rate, number of tourists, tourist density, tourism spatial index, number of star hotels, vegetation index, net income of farmers and herders per capita, contribution rate of the tourism industry to gross domestic product (GDP), tourism reception capacity, and teachers per 10,000 people. This study constructs the driving mechanism of tourism ecological security and introduces corresponding policy recommendations based on the research findings. The research results have important reference significance for protecting tourism ecological security in Xinjiang.

Key Words: tourism ecological security; DPSIR model; DEA model; Geo Detector; county scale

近年来,在全域旅游、大众旅游迅速发展的时代背景下,以乡村旅游为核心的县域旅游,正逐步成为中国旅游产业的重要支撑及未来旅游业发展的新方向^[1]。自驾游、周边游、散客游等旅游形式的兴起也让县域旅游快速崛起,促进了县域旅游目的地的经济发展、旅游基础设施的建设与完善。但是,旅游产业早已不是“无烟产业”的标杆。游客的大规模空间位移,冲击着当地的旅游生态系统,造成了破坏生态环境、交通拥挤等一系列负面现象。此外,受制于各县域单元参差不齐的经济发展及旅游规划开发水平,县域旅游资源的不合理开发、利用现象也十分常见。这势必会导致县域旅游生态系统服务功能面临日益式微的风险。旅游生态系统是由自然、社会和经济3个不同性质的系统组成的复合系统^[2],是保障旅游目的地旅游生态安全的重要基础。为保障人类赖以生存和发展的环境条件及效用^[3],维护旅游生态系统服务功能,实现县域旅游可持续发展的目的,亟需对县域旅游生态安全相关问题展开研究。

旅游生态安全研究作为旅游可持续发展研究的重要组成部分,早已成为学界的研究热点。从研究内容来看,主要包括有旅游生态安全评价与测度^[4]、动态仿真模拟^[5]、障碍因子分析^[6]、动态预警分析^[7]、等级趋势预测^[8]、时空格局演变^[9]、评估与类型划分^[10]等;在研究方法上,旅游生态安全常见的研究方法包括生态足迹法^[11-12]、灰色关联度模型^[6-7]、马尔科夫链模型^[13-14]等;研究对象则包括有海岛^[15]、湿地^[16]、景区^[17]、城市^[18]、省域^[19]等。从以往的研究中可以发现,旅游生态安全的研究内容相对丰富多变,涵盖了旅游地理学、环境科学以及生态学等多方面的内容^[14],但是对于旅游生态安全测度与评价仍然不足。一方面,学界尚未构建完整统一的旅游生态安全测度指标体系。旅游生态安全系统作为一个综合的变量系统,对其评价和测度需要全面系统考虑。“驱动力-压力-状态-影响-响应”(DPSIR)指标框架综合了5个子系统,为更加系统地构建科学的测度指标体系提供了路径。另一方面,学界对影响旅游生态安全的因子进行识别后,较少深入探究其背后的影响因素及驱动机制。而且在研究方法上,学界多沿用以往的模型,缺乏创新性。彭红松等学者在进行旅游地旅游生态效率研究时,建议可寻求生态效率指标在生态安全和可持续发展等问题的应用^[20]。有学者基于此建议,将数据包络分析方法(Data Envelopment Analysis, DEA)运用于长江三角洲的旅游生态安全测度上,并取得良好成果^[21]。此外,在研究尺度上,作为经济发展重心的城市以及拥用旅游直接吸引物的景区

一直以来都是学界关注的重点,但缺乏介于两者间的县域尺度的旅游生态安全研究。在县域旅游迅速发展的背景下,尽早关注县域旅游生态安全测度、时空演变、驱动机制等相关科学问题,有利于对生态安全问题做出及时、有效地应对,从而达到旅游可持续发展的目的。鉴于此,本文以新疆 85 个县市为研究样本,兼顾 DPSIR 模型与 DEA 模型两者的优势,科学测度新疆各县市的旅游生态安全,利用 ArcGIS10.6 和 GeoDa0.95i 软件的空间分析技术对新疆各县市的旅游生态安全时空格局演变特征进行分析,采用地理探测器识别旅游生态安全的关键影响因素,最终刻画出县域旅游生态安全的驱动机制,并针对性地提出科学可行的政策建议。

1 研究区域

新疆维吾尔自治区地处中国西北边陲,毗邻西藏、青海、甘肃三省,与蒙古、俄罗斯、哈萨克斯坦等八个国家接壤(图 1),总面积达 166.49 万 km^2 ,约占我国国土面积的六分之一。作为古丝绸之路的交通要冲,“一带一路”战略的核心区,新疆有着悠久的历史文化底蕴,孕育出多元包容的特色人文景观。同时,新疆地形地貌素有“三山夹两盆”(“三山”是指北部阿尔泰山脉,中部天山山脉,南部昆仑山脉;“两盆”为北部准噶尔盆地与南部塔里木盆地)的典型特征。这一独特的地形地貌造就了壮丽秀美的自然景观,包括雪山、冰川、草原、沙漠、高山湖泊等一系列极具魅力和垄断性的自然景色。据文旅部官方资料显示(<https://zwfw.mct.gov.cn/scenicspot#>),截至 2019 年年末新疆共有 13 个 5A 级景区,在西北五省中排名第一。全域旅游、大众旅游时代的到来,新疆各县市政府依托丰富的特色旅游资源,大力扶持旅游产业的发展。旅游业成为许多县市的支柱产业,其对县域经济发展的贡献越来越高。但是,由于新疆地处西北干旱区,属于典型的旅游生态脆弱区,旅游业的快速发展业冲击着当地脆弱的旅游生态系统。因此,将新疆作为旅游生态安全研究区域具有一定的典型性。

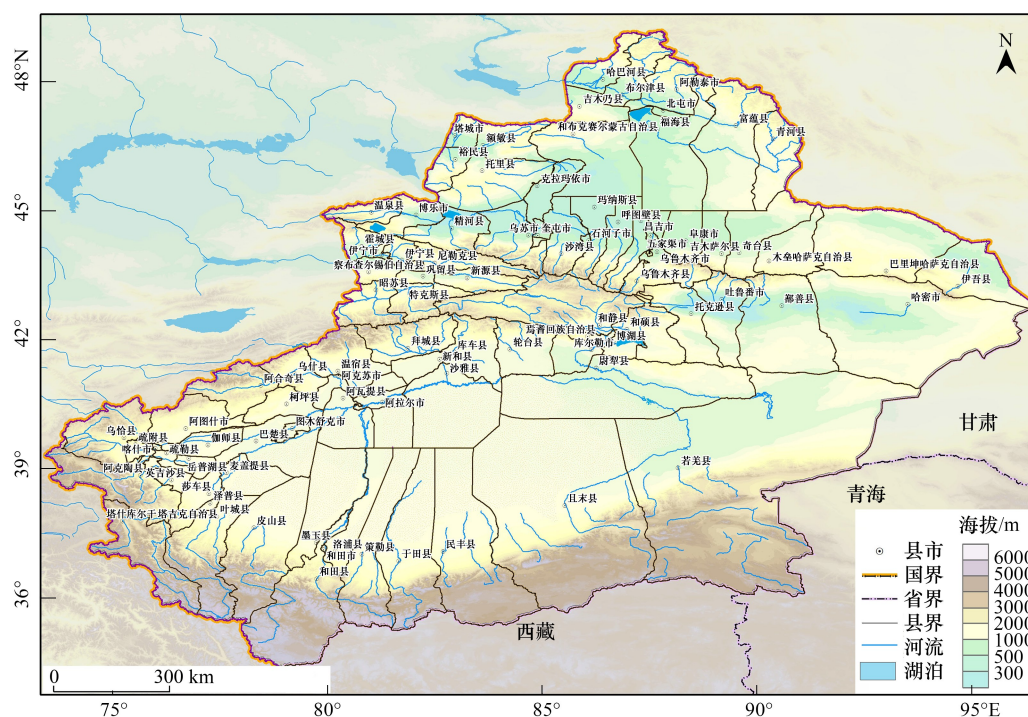


图 1 研究区地图

Fig.1 Study site map

2 研究方法与数据

2.1 DPSIR-DEA 模型

DPSIR 模型是在 PSR 和 DSR 的基础上演化而来,最先由欧洲环境署 (UNPE) 建立并使用^[21]。该模型可

从系统视角反映出旅游活动与生态环境之间的关系,并揭示各个子系统之间连续性的反馈机制^[22]。目前已在遗产地旅游可持续发展评价^[23]、低碳城市生态安全评价^[24]、湿地生态安全评价^[25]、耕地生态安全评价^[26]等领域广泛运用。

数据包络分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)是由两位美国学者 Charnes, Cooper 以及 Rhodes 于 1978 年提出用于测量相对效率的方法。基于经典的 CCR 以及 BBC 模型, Tone 提出了 SBM 模型,解决了输入或输出的非零松弛的问题以及非期望产出问题^[27]。然而,为了更好地区分相对有效的决策单元的效率, Tone 提出了 Super-SBM 模型^[28]。SBM-DEA 模型能够有效解决非期望产出的问题并测度环境效率^[21]。本文以 SBM-DEA 模型来测量区域旅游生态的相对效率,并以此评估区域旅游生态安全状况,其计算公式如下:

$$\rho^* = \min \rho = \min \frac{1 - \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{S_n^x}{x_n^{k'}} \right)}{1 + \left[\frac{1}{M+1} \left(\sum_{m=1}^M \frac{S_m^y}{y_m^{k'}} \right) + \sum_{i=1}^I \frac{S_i^b}{b_i^{k'}} \right]}$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{k=1}^K z_k^y y_m^k - s_m^y = y_m^{k'}, m = 1, \dots, M; \\ \sum_{k=1}^K z_k^y y_i^k + s_i^b = b_i^{k'}, i = 1, \dots, I; \\ \sum_{k=1}^K z_k^x y_n^k + s_n^x = x_n^{k'}, n = 1, \dots, N; \\ z_i^k \geq 0, s_m^y \geq 0, s_i^b \geq 0, s_n^x \geq 0, k = 1, \dots, K \end{cases} \quad (1)$$

式中, ρ 代表效率值, N, M, I 分别代表输入,期望产出和非期望产出的数量。 (s_m^y, s_i^b, s_n^x) , (y_m^k, b_i^k, x_n^k) , (z_k^y, x_k^x) 分别代表输入—输出的松弛变量,在时刻 t 生产单元 k 的输入—输出值,每个输入—输出值的权重。 ρ 值越大,旅游生态安全水平越高。

旅游生态安全系统是一个综合的变量系统。为了能够全面科学的测度新疆各县市的旅游生态安全,本文运用 DPSIR 模型构建系统的旅游生态安全评价指标体系,并利用 SBM-DEA 模型更加科学地测度新疆各县市的旅游生态安全指数。

2.2 指标选取与数据来源

本文以 DPSIR 模型构建旅游生态安全评价指标体系,在综合以往文献^[7-8, 10, 14, 18-19, 21, 29-30] 研究及县域数据获取实际情况的基础上,最终筛选出 18 个评价指标(表 1)。

驱动力(D):驱动力是旅游生态安全系统的源头,一般包括经济驱动力和社会驱动力。参考相关文献^[7, 21],本文选取人均 GDP,城镇化率,游客人数,年末人口数四个指标作为旅游生态安全的驱动力要素。旅游目的地的经济发展水平、劳动力、游客人数是 DPSIR 框架中旅游生态安全的重要驱动力。人均 GDP 可以表征当地居民的经济状况,城镇化率及年末人口数表征当地的劳动力潜力及现状。游客人数作为 DEA 模型中关键的投入指标,表征当地的游客量。

压力(P):旅游生态安全压力可分为社会生态压力和自然生态压力。经济发展水平的提升、游客的涌入不仅会对当地的社会、人口环境造成一定压力,还会导致生活废水、二氧化硫的大量排放,进而对自然生态环境造成损耗而增加自然生态压力。但是,受到县域尺度数据来源的限制,本文参考了相关文献^[8, 10],并从数据的可获取性方面考虑,选取的人口密度,游客密度,旅游空间指数三个指标均为社会压力指标。其中,人口密度表示人口与当地土地面积的比值,游客密度表示游客人数与当地年末总人口的比值,旅游空间指标表示游客人数与当地土地面积的比值^[10]。

状态(S):状态具体指旅游生态安全系统的自然、社会和经济状态。参考相关文献^[8, 29],本文选取星级酒店数, A 级景区数,旅行社数,植被指数四个指标作为旅游生态安全的状态要素。星级酒店数、旅行社数可以

反映出各县市的游客招徕、接待水平,A 级景区数表征当地旅游资源状况。植被指数则可以反映出各县市的植被覆盖状态。

影响(I):影响是旅游生态安全系统中重要的产出要素。参考相关文献^[14,29-30],本文选取农牧民人均纯收入,社会产品实现深度系数,旅游业对 GDP 的贡献率,第三产业占 GDP 比重四个指标作为旅游生态安全的影响要素。旅游业的发展最终要有利于推动当地的经济发展,才能有效达到旅游生态安全的目标。农牧民人均纯收入表征各县市的农牧民收入状况,社会产品实现深度系数为旅游总收入与社会商品零售总额的比值,表征各县市旅游业在促进社会产品价值实现过程中所起的作用程度^[29],旅游业对 GDP 的贡献率及第三产业占 GDP 比重分别从相对的概念来表征各县市旅游经济水平及其产业结构。

响应(R):响应作用于旅游生态系统,采取相关措施对其他子系统进行回应。参考相关文献^[1,13],本文选取旅游接待能力,每万人拥有教师数,第三产业投资占 GDP 比重三个指标作为旅游生态安全的响应要素。旅游从业者是旅游行业的直接相关者,但是新疆各县市的年鉴及社会统计公报中多数缺少旅游从业人数这一统计指标。因此,本文以第三产业人数占当地人数的比重来表征各县市的旅游接待能力。每万人拥有教师数可以反映出当地的教育水平及人才培养的潜力。第三产业投资是 DEA 模型中的投入要素,其占 GDP 比重反映出各县市的第三产业的发展潜力。

本文数据除了植被指数数据来自于中国科学院资源环境科学数据中心^[31]以外(表 1),其他数据主要从 2007,2012,2017 年的新疆各县市国民经济和社会发展统计公报、《新疆统计年鉴》、新疆各地州的统计年鉴、新疆各县市政府官方网站的政府工作报告以及新疆文化和旅游厅官方网站(<http://wlt.xinjiang.gov.cn/>)得来。个别缺失数据用滑动平均法补齐。由于数据量较大且时间跨度较长,缺失较多数据的县市以数据缺失的方式处理。最终,本文收集到新疆 85 个县市的完整数据。

2.3 指标处理

以旅游生态安全系统理论为指导,本文以 DPSIR 框架构建指标体系,运用 SBM-DEA 模型对数据进行处理。将驱动力、响应作为 SBM-DEA 模型中的投入要素,压力、状态和影响作为产出要素。其中,状态和影响作为期望产出要素,生态承载压力要素作为非期望产出要素(表 1)。由于各个指标的量纲、重要性有所不同,且加入了时间变量,因此本文借鉴杨丽等人的研究^[32],将时间变量纳入其中,采用改进后的熵值法对指标进行客观赋权,计算结果如表 1 所示。

2.4 空间自相关

2.4.1 全局空间自相关

运用空间自相关进行空间特征分析。以 Moran's I 来表示空间自相关关系的特征,其计算公式如下^[33]:

$$I = n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y}) (y_j - \bar{y}) / \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right) \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (2)$$

式中, I 表示 Moran's I ,其取值范围在 $[-1, 1]$ 。 n 为观测值的数量, y_i 和 y_j 分别表示第 i 和第 j 个研究区域的观测值, \bar{y} 为各个区域观测值的均值, w_{ij} 为研究区域 i 和 j 的空间权重。

2.4.2 局部空间自相关

局部空间自相关用于测量空间分异特征及高值聚集区、低值聚集区的空间分布特征,其计算公式为^[33]:

$$I_i = \frac{n^2}{\sum_i \sum_j w_{ij}} \times \frac{(x_i - \bar{x}) \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x})}{\sum_j (x_j - \bar{x})^2} \quad (3)$$

式中, x_i 和 x_j 分别表示第 i 和第 j 个研究区域的观测值, \bar{x} 为各个区域观测值的均值, w_{ij} 为研究区域 i 和 j 的空间权重。 I_i 为正值时表示局部空间单元相似值趋于空间聚集,为负值时表示趋于空间分散。

表 1 新疆旅游生态安全指标体系

Table 1 Index system of tourism ecological security in Xinjiang

维度 Dimension	指标 Index	指标单位 Unit	指标权重 Weight
驱动力 Driver	人均 GDP(X_1)	元	0.020
	城镇化率(X_2)	%	0.134
	游客人数(X_3)	万人	0.101
	年末人口数(X_4)	万人	0.019
压力 Pressure	社会人口压力		
	人口密度(X_5)	人/hm ²	0.076
	游客密度(X_6)	—	0.100
状态 State	生态承载压力		
	旅游空间指数(X_7)	人/hm ²	0.131
	星级酒店数(X_8)	个	0.103
	A 级景区数(X_9)	个	0.082
	旅行社数(X_{10})	个	0.034
	植被指数(X_{11})	—	0.009
	农牧民人均纯收入(X_{12})	元	0.009
影响 Impact	社会产品实现深度系数(X_{13})	—	0.048
	旅游业对 GDP 的贡献率(X_{14})	%	0.056
	第三产业占 GDP 比重(X_{15})	%	0.048
	旅游接待能力(X_{16})	%	0.011
响应 Response	每万人拥有教师数(X_{17})	人	0.002
	第三产业投资占 GDP 比重(X_{18})	%	0.018

2.5 地理探测器

地理探测器主要应用于探测和利用空间分异性^[34]。其主要包括分异及因子探测、交互作用探测、风险区探测以及生态探测四个探测器。本文运用分异及因子探测模型对新疆旅游生态安全的空间分异性,并探测各个指标多大程度上解释了旅游生态安全的空间分异。其计算公式为:

$$q = 1 - \frac{1}{N\sigma^2} \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2 \quad (4)$$

式中, q 值表示指标的探测值,取值范围在 $[0,1]$,其值越大表明指标对旅游生态安全的影响力越大。 h 为旅游生态安全指标的分类数, N_h 和 N 分别为分类 h 及新疆县市的单元数。 σ_h^2 和 σ^2 分别为分类 h 和新疆各县市旅游生态安全的方差。

3 分析结果

3.1 旅游生态安全时空格局

根据公式(1),通过 Max-DEA 软件计算出新疆各县市的旅游生态安全指数,将其导入到 ArcGIS 10.6 中进行可视化分析,如图 2 所示。

2007 年,新疆旅游生态安全指数最高的区域空间分布比较分散,主要分布在南疆地区,如阿合奇县、疏勒县、策勒县以及若羌县。旅游生态安全指数次高区域呈现环状分布。旅游生态安全指数最低区域主要分布于天山山脉区域附近,如哈密市、吐鲁番市、乌鲁木齐市、昭苏县等。2007 年为新疆旅游业的快速发展阶段,天山南北附近县市是新疆较早发展旅游业的区域。这个时期各县市盲目追求旅游经济效益,对旅游带来的负面效应没有足够的重视。从而导致天山附近县市的旅游生态安全水平较低。

2012 年,新疆旅游生态安全指数最高的区域主要集中于南疆地区,如若羌县、民丰县、策勒县、墨玉县等。旅游生态安全指数次高区域主要分布于阿勒泰地区、塔城地区、喀什地区以及和田地区一带,如布尔津县、塔城市、叶城县、和田县等。旅游生态安全指数最低区域呈现出明显的集中成片分布态势,如乌鲁木齐市、吐鲁

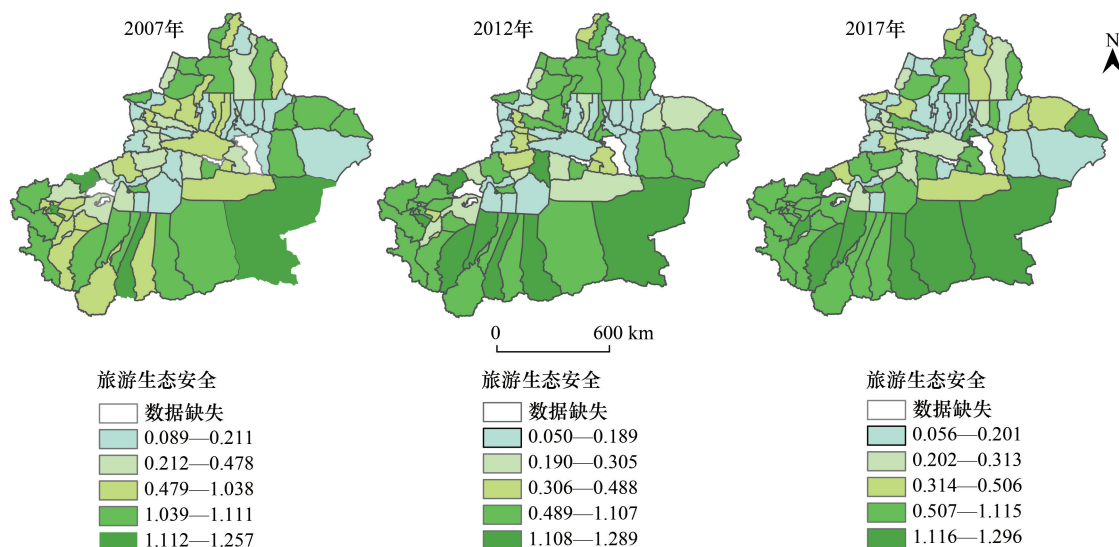


图 2 新疆旅游生态安全空间分布

Fig.2 Spatial distribution of tourism ecological security in Xinjiang

番市、阜康市等县市。这些县市大多为旅游资源相对丰富的地区,但是由于游客的大量涌进造成了一定程度上的生态破坏。

2017 年,新疆旅游生态安全指数最好的区域主要集中于南疆地区,如若羌县、墨玉县、皮山县、莎车县、阿合奇县等。旅游生态安全指数次高区域主要分布于喀什地区、和田地区、克孜勒苏柯尔克孜自治州,如巴楚县、于田县、乌恰县等。旅游生态安全指数最低区域主要集聚于天山北坡一带,如乌鲁木齐市、昌吉市、石河子市、奎屯市等县市。

以上运用可视化的方法初步观察了各县市旅游生态安全指数的分布状况。为了更加深入地剖析新疆各县市旅游生态安全的时空演化特征。本文对新疆各县市的旅游生态安全进行了等级划分。由于目前旅游生态安全等级并没有统一的划分标准^[6],本文将主要遵循数据的总体特征进行划分。因此,依据新疆各县市旅游生态安全指数的特征,本文将旅游生态安全划分为 3 个等级,旅游生态安全指数小于 0.5 为低级安全,大于 0.5 且小于 1 为中级安全,大于 1 为高级安全。通过对旅游生态安全指数的整理,将新疆 85 个县市 2007、2012、2017 三年的旅游生态安全等级趋势划分为高-高-高、高-高-低等 9 种类型(表 2)。从表 2 中可以发现,除了尉犁县经历了高-低-中 3 个安全等级,其他县市旅游生态安全都介于高级和低级两个等级之间。这表明新疆各县市的旅游生态安全等级分化十分严重。处于高-高-高等级趋势的县市占比最高,为 32.94%,其中呈波动上升趋势和波动下降态势的县市占比分别为 22.35%和 10.59%。处于低-低-低等级趋势的县市占比次之,达到了 24.7%,其中呈波动上升趋势和波动下降态势的县市分别为 11.76%和 12.94%。这在一定程度上说明处于高级安全的县市占有相对的优势,且其波动上升的态势更加明显。但是由高级安全下降为低级安全的县市(包括高-高-低和高-低-低)占比达到 20%,远高于由低等安全等级上升为高等安全等级(包括低-低-高和低-高-高)县市的 10.59%。这表明许多原本旅游生态安全状况较好的县市存在恶化风险的比例,要高于旅游生态安全较差县市优化改善的比例。

整体而言,2007、2012、2017 年新疆各县市的旅游生态安全指数均值分别为 0.6991、0.6449、0.6327,处于中等安全状态,呈现波动下降的趋势。但是,通过表 2 数据可知新疆各县市的旅游生态安全几乎介于高级和低级安全两者之间。这说明新疆旅游生态安全两极分化现象已经十分严重,且新疆整体旅游生态安全水平处于中等偏低的安全状态。这同时也表明新疆旅游生态安全状况不容乐观,需要采取积极的措施缓解旅游发展带来的压力。此外,在空间上,图 2 直观地显示出南疆各县市旅游生态安全状况整体优于北疆各县市,这主要

是由于南疆县市以人文旅游资源为主,游客量相对较少,游客对南疆旅游生态安全的影响相应较弱。而且南疆各县市大力发展特色林果业,积极树立“一县一品”的形象。旅游业的发展促进了林果产品的销售,提高了当地农牧民的收入,进而作用于旅游生态安全水平的提升。相反,北疆除了旅游发展较为成熟的县市,如布尔津县,以旅游业带动经济-社会-自然系统的良性循环,一直保持着较高等级的旅游生态安全。其他多数县市的生态保护并没有跟上快速发展的旅游业,从而导致旅游生态安全处于低级安全水平。

表 2 新疆 85 个县市旅游生态安全等级趋势

Table 2 The grade tendency of tourism ecological security in 85 counties and cities of Xinjiang

等级趋势 Grade tendency	动态 Dynamics	县市名称 Name	占比/% Proportion
高-高-高 High-High-High	波动上升	阿合奇县,阿克陶县,阿拉尔市,博乐市,布尔津县,和田县,吉木乃县,麦盖提县,民丰县,墨玉县,皮山县,且末县,沙湾县,疏附县,塔什库尔干塔吉克自治县,托里县,叶城县,伊吾县,英吉沙县	22.35
	波动下降	策勒县,伽师县,洛浦县,青河县,若羌县,疏勒县,温宿县,乌恰县,于田县	10.59
高-高-低 High-High-Low	快速下降	额敏县,富蕴县,和布克赛尔蒙古自治县,和田市,精河县,克拉玛依市,库尔勒市,玛纳斯县,鄯善县,温泉县,乌苏市	12.94
高-低-高 High-Low-High	“V”型上升	莎车县,五家渠市,岳普湖县	3.53
	“V”型下降	博湖县	1.18
高-低-中 High-Low-Medium	“V”型下降	尉犁县	1.18
高-低-低 High-Low-Low	快速下降	巴里坤哈萨克自治县,哈巴河县,和静县,呼图壁县,木垒哈萨克自治县,伊宁县	7.06
低-低-低 Low-Low-Low	波动上升	阿勒泰市,察布查尔锡伯自治县,阜康市,巩留县,霍城县,喀什市,吐鲁番市,伊宁市,泽普县,昭苏县	11.76
	波动下降	阿克苏市,阿瓦提县,奎屯市,奇台县,石河子市,特克斯县,乌鲁木齐县,乌什县,新和县,新源县,裕民县	12.94
低-低-高 Low-Low-High	快速上升	阿图什市,巴楚县,拜城县,和硕县,吉木萨尔县,轮台县,沙雅县	8.24
低-高-高 Low-High-High	快速上升	尼勒克县,乌鲁木齐县	2.35
低-高-低 Low-High-Low	“Λ”型上升	昌吉市,福海县,哈密市,库车市	4.71
	“Λ”型下降	塔城市	1.18

3.2 全局空间自相关

根据公式(2),并运用 GeoDa0.95i 软件计算得出新疆旅游生态安全的莫兰指数及其检验结果(表 3)。

表 3 新疆旅游生态安全全局空间自相关分析检验

Table 3 Global auto correlation test of tourism ecological security in Xinjiang

年份 Year	莫兰指数 Moran's <i>I</i>	期望值 Expected Value	平均值 Average Value	标准误差 Standard error	<i>Z</i>	<i>P</i>
2007	0.14087	-0.0119	-0.0126	0.0683	2.2481	0.013
2012	0.152944	-0.0119	-0.0171	0.0687	2.4752	0.012
2017	0.239619	-0.0119	-0.0137	0.0696	3.6386	0.001

从表 3 可以看出,相关的检验结果都通过了显著性检验($Z > 1.96, P < 0.05$)^[21],表明新疆各县市旅游生态安全存在明显的空间关联性。Moran's *I* 指数随着时间的变化而不断提升,2017 年达到了 0.239619。这表明新疆各县市旅游生态安全空间集聚态势越发明显。

从图 3 中,可以看到 2007,2012,2017 年新疆旅游生态安全 Moran's *I* 散点在 4 个象限相对均匀地分布,表明新疆各个县市的旅游生态安全的空间依赖性表现不明显。这也说明新疆旅游生态安全指数高值和低值并不十分聚集。这对于新疆旅游生态安全有两方面的影响。一方面,旅游生态安全高值区域空间溢出效应不强,难以带动邻近县市提升旅游生态安全;另一方面,旅游生态安全低值区域对周边县市的扩散作用也相对较

弱。究其原因,与新疆各县市间的交通距离有很大关系。新疆地域辽阔,各优质景点的距离较远。而游客入疆游玩多带有明确的选择性,其选择的景区知名度高,且往往相隔多个县市,甚至横跨天山南北。这也就导致了旅游资源品级较高的县市成为热门的旅游目的地,而旅游资源品级较低的县市成为冷门的旅游目的地,从而形成两极分化的局面。因此,对于热点旅游目的地,应该重视对生态破坏的积极响应,以提升旅游生态安全水平。

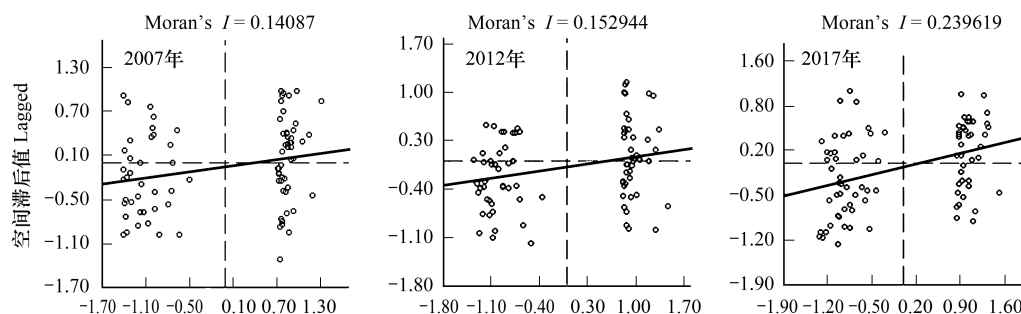


图3 新疆旅游生态安全 Moran's I 散点图

Fig.3 Moran's I scatter plot of tourism ecological security in Xinjiang

3.3 局部空间自相关

为进一步对新疆旅游生态安全进行空间计量分析,根据公式(3),运用 GeoDa0.95i 软件进行局部空间自相关分析,绘制出新疆旅游生态安全 LISA 聚集图(图4)。2007,2012,2017 年通过显著性检验的县市分别为 19 个(占比 22.35%)、13 个(占比 15.29%)、17 个(占比 20%)。

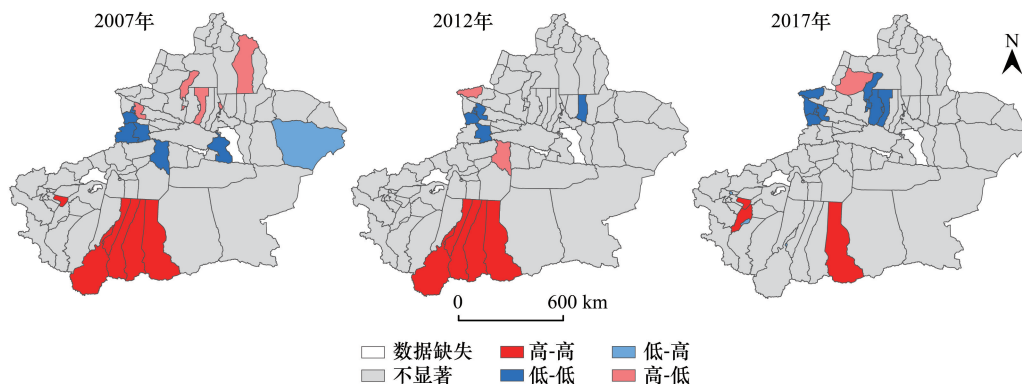


图4 新疆旅游生态安全 LISA 聚集图

Fig.4 LISA map of tourism ecological security in Xinjiang

如图4所示,可以发现2007年高-高类县市主要分布在和田、喀什地区一带,包括和田市、和田县、洛浦县、策勒县、于田县、民丰县以及岳普湖县;2012年高-高类县市主要集中于和田地区;2017年高-高类县市主要有民丰县和莎车县。2007—2017年高-高类县市都分布于南疆地区,各县市人文旅游资源丰富,其开发受制于当地的资源开发和经济发展水平,游客对旅游生态的压力较小,因此其旅游生态安全保持着相对较高的水平。另外,高-高类县市正逐年减少,聚集效应减弱。说明高值区域旅游生态安全的辐射效应正逐步弱化。2007年低-低类县市主要伊犁哈萨克自治州等地,包括有察布查尔锡伯自治县、昭苏县、特克斯县、库车县以及博湖县;2012年低-低类县市包括有伊宁市、伊宁县、察布查尔锡伯自治县、特克斯县、吉木萨尔县;2017年低-低类县市有所增加,主要分布于伊犁哈萨克自治州、昌吉哈萨克自治州、塔城地区等地,并向周边地区扩散。包括有伊宁市、奎屯市、伊宁县、察布查尔锡伯自治县、温泉县、克拉玛依市、石河子市、沙湾县、呼图壁县。

2007—2017 年,低-低类聚集区县市间旅游资源相对较为丰富,但多数县市以自然旅游资源为主,较容易受到人类活动的干扰破坏。高-低类县市以及低-高类县市数量逐年递减,表明不论是高值县市受低值县市的影响,还是低值县市受高值县市的影响都在减弱。综合来看,2007—2017 年新疆旅游生态安全聚集程度有所降低,但是低-低类聚集区域范围有所扩散,高-高类聚集区域范围则正在缩小,这表明整体而言新疆旅游生态安全恶化风险逐年增加,亟需采取有力的措施积极响应。

3.4 旅游生态安全驱动机制

通过剖析新疆旅游生态安全的时空演化格局特征,发现新疆旅游生态安全有恶化趋势,且南北疆存在严重的两极分化现象。为了针对性地对主要的影响因素进行控制,需对新疆旅游生态安全的因素进行探索,继而刻画出旅游生态安全的驱动机制。根据公式(4),本文运用地理探测器对新疆旅游生态安全的因素进行探测。将 2007,2012,2017 三年新疆各县市旅游生态安全数据导入 ArcGIS 10.6 中,运用 Jenks 自然断裂法分为 5 类。将旅游生态安全数据变量转化为类型变量。经过转化后的数据导入到地理探测器中,得到各县市旅游生态安全影响因子的结果(表 4)。

表 4 新疆旅游生态安全影响因素结果

Table 4 Impact factor results of tourism ecological security in Xinjiang

维度 Dimension	指标 Index	2007 q 值 2007 q Statistic	2012 q 值 2012 q Statistic	2017 q 值 2017 q Statistic	均值 Mean	排名 Rank
驱动力 Driver	人均 GDP	0.047	0.177	0.130	0.118	15
	城镇化率	0.165	0.139	0.295	0.200	3
	游客人数	0.225	0.183	0.280	0.230	1
	年末人口数	0.178	0.088	0.155	0.140	7
压力 Pressure	人口密度	0.137	0.081	0.155	0.124	12
	游客密度	0.108	0.096	0.168	0.124	12
	旅游空间指数	0.132	0.156	0.177	0.155	6
状态 State	星级酒店数	0.072	0.161	0.174	0.136	10
	A 级景区数	0.191	0.057	0.136	0.128	11
	旅行社数	0.067	0.038	0.190	0.098	17
	植被指数	0.181	0.143	0.267	0.197	4
影响 Impact	农牧民人均纯收入	0.135	0.247	0.255	0.212	2
	社会产品实现深度系数	0.091	0.105	0.130	0.109	16
	旅游业对 GDP 的贡献率	0.146	0.184	0.253	0.195	5
	第三产业占 GDP 比重	0.135	0.070	0.029	0.078	18
响应 Response	旅游接待能力	0.110	0.124	0.176	0.137	9
	每万人拥有教师数	0.064	0.116	0.232	0.138	8
	第三产业投资占 GDP 比重	0.082	0.137	0.139	0.119	14

驱动力子系统中,游客人数和城镇化率的 q 值相对较大。2017 年,城镇化率和游客人数的 q 值分别为 0.295、0.28,相较于 2007 年及 2012 年有所增长,表明城镇化和游客人数对新疆各县市的经济发展有着良好的驱动作用,进而对旅游生态安全产生重要影响。

压力子系统中,旅游空间指数的 q 值逐年递增,其均值在三者中排名第一,表明旅游空间指数在压力系统中起到了重要的作用。新疆地处西北干旱区,生态环境脆弱,游客的大量涌入,势必会对当地的旅游生态安全造成较大的压力。特别是对于土地面积较小的县市,旅游空间带来的压力十分明显。如伊宁市、喀什市、和田市以及石河子市,都是新疆的热门旅游目的地,但是旅游空间十分有限。此外,人口密度及游客密度也会对当地造成一定的压力。

状态子系统中,植被指数的 q 值逐年波动式递增,2017 年 q 值为 0.267,在三者中对状态子系统的影响最大。这说明了植被对新疆旅游生态安全的重要性。新疆各县市整体干旱少雨,水资源匮乏,不利于植被的生

长,自然生态环境极其脆弱。旅游的发展带来大量的人流,对新疆各县市的植被造成了明显的破坏。星级酒店、A 级景区数量对其对状态子系统也有重要影响,但其影响有利有弊。一方面,星级酒店、A 级景区数量越多代表当地的旅游发展状况越好,有着较强的接待能力;另一方面,星级酒店、A 级景区数量过多有可能会对资源的过度利用,较强的接待能力也会转变为对旅游生态安全的压力。要保持良好的旅游生态安全,需处理好旅游资源开发与保护的关系。

影响子系统中,农牧民人均纯收入及旅游业对 GDP 的贡献率的 q 值逐年递增,其均值在四个指标中排名前 2,表明两者对新疆各县市旅游生态安全有重要影响。各县市通过发展旅游业带动当地的经济。游客购买当地的土特产品,可以增加农牧民人均纯收入。新疆许多县市都有自己特色的林果产品,通过旅游市场的推广,进一步提升了知名度,如库尔勒香梨、哈密瓜、若羌红枣、精河枸杞、皮山核桃等。此外,游客的到来刺激了相关消费,其对新疆各县市的 GDP 的贡献率也将有所提升。

响应子系统中,旅游接待能力及每万人拥有教师数的 q 值逐年递增,2017 年两者的 q 值分别达到 0.137、0.138。表明二者对旅游生态安全的影响越来越大。旅游接待能力表征的是第三产业从业人数占当地人数比重,第三产业从业人数越多在一定程度上说明当地旅游接待能力越强。旅游接待能力的提升可以增强各县市的旅游经济驱动力,为游客食、住、行、游、购、娱等方面提供重要保障。每万人拥有教师数一定程度上可以表示当地的教育水平,教师可以为当地培养更多优质的人才,从而为增强新疆各县市的旅游生态安全提供智力支持。

根据生态系统理论,旅游生态安全的影响因素影响着其循环运作状态。为了保持旅游生态安全系统的良好运转,必须对其主要的影响因子进行控制^[21]。因此,本文将 2007—2017 年各个指标的 q 值均值进行排序(表 4),在每个子系统中遴选出 q 值均值最高的两个影响指标。分别为:城镇化率、游客人数、游客密度、旅游空间指数、星级酒店数、植被指数、农牧民人均纯收入、旅游业对 GDP 的贡献率、旅游接待能力以及每万人拥有教师数。并绘制新疆旅游生态安全的驱动影响机制图(图 5)。

本文将旅游生态系统分为投入和产出两大要素。投入要素包括驱动力、响应两大子系统,产出要素包括压力、状态、影响三大子系统。投入要素会影响产出要素,产出要素则会将相关生态问题反馈于投入要素。两要素的良性流动是旅游生态系统得以保障的前提。其中,驱动力是引发旅游生态安全问题的源头。旅游业对于社会经济发展具有较强驱动作用,其强大的关联效应,带动了相关行业就业岗位的增加,促进了各县市人民收入水平的提高。特别是对于南疆一些边远落后县市而言,旅游可成为乡村振兴的重要手段。但是,旅游发展的负面影响同样不容忽视。城镇化率的提升及游客人数的增加加剧了旅游生态系统的压力,导致了游客密度及旅游空间指数上升,进而引发旅游目的地居民生活空间变小等现象。巨大的旅游生态安全压力将会冲击旅游生态安全的状态,刺激当地星级酒店建设的同时,也会破坏当地植被。旅游生态安全状态受到冲击,则会诱发一系列正面或负面影响。一方面,旅游发展会促进当地经济发展,促进农牧民增收,起到旅游致富的积极影响;另一方面,旅游资源的开发,侵占农牧民的耕地或牧场,进而导致当地农牧民人均纯收入有可能因此减少,拉大贫富差距。旅游发展产生的影响将会驱动各地采取响应措施。良好的响应措施可以提升旅游生态安全的驱动力,并通过整个投入要素系统影响产出要素,从而提升投入产出的效率,增强旅游生态安全水平,促进旅游业的高质量发展。

4 结论及建议

4.1 结论

本文依据旅游生态安全理论本文将 DPSIR 模型与 DEA 模型结合在一起,科学测度新疆 2007,2012,2017 年三年的旅游生态安全指数,利用 ArcGIS10.6 和 GeoDa0.95i 软件的空间分析技术对新疆各县市的旅游生态安全时空格局演变特征进行分析,最后运用地理探测器对其影响因素进行探测并刻画了旅游生态安全的驱动机制。研究得出以下结论:

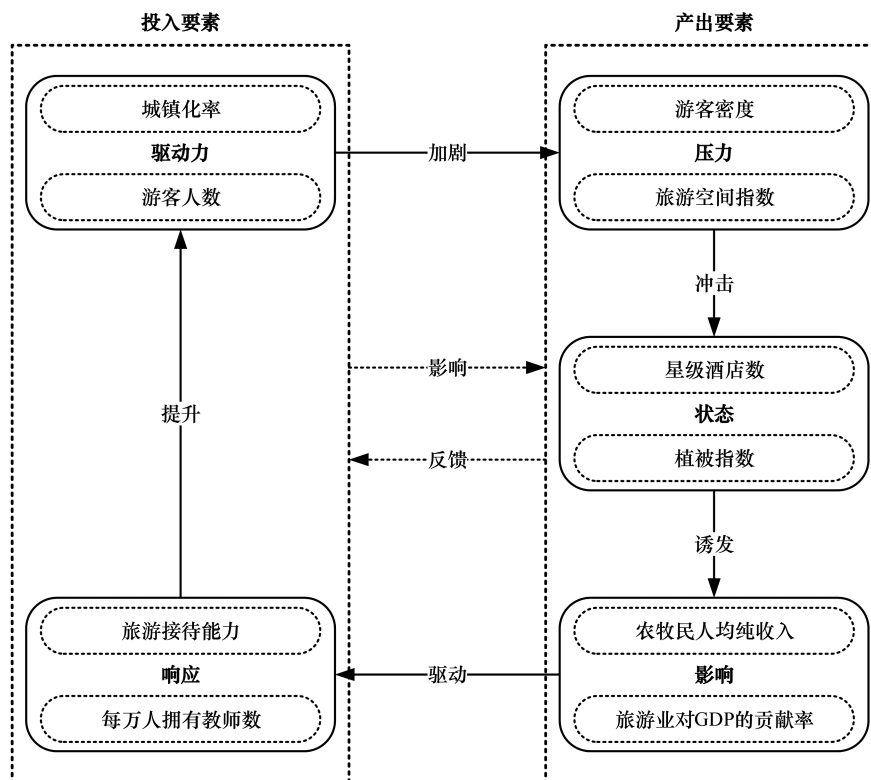


图5 新疆旅游生态安全驱动机制

Fig.5 Driving mechanism of tourism ecological security in Xinjiang

(1) 时间上,新疆多数县市的旅游生态安全指数逐年降低,呈现明显的恶化趋势;空间上,新疆各县市旅游生态安全等级两极分化严重,且南疆县市的旅游生态安全水平总体优于北疆县市。

(2) 新疆各县市的旅游生态安全存在明显的相关性,旅游生态安全空间集聚态势越发明显。

(3) 新疆旅游生态安全低-低类聚集区域范围有所扩散,高-高类聚集区域范围则正在缩小,负面空间溢出效应增强,正面溢出效应减弱。

(4) 影响新疆各县市旅游生态安全的主要因素有:城镇化率、游客人数、游客密度、旅游空间指数、星级酒店数、植被指数、农牧民人均纯收入、旅游业对GDP的贡献率、旅游接待能力以及每万人拥有教师数。

4.2 建议

随着新疆旅游业的快速发展,新疆各县市对旅游业日益关注、高度重视。本文根据研究发现,对新疆各县市的旅游生态安全改善提出以下几点政策建议:

(1) 坚持贯彻落实“旅游兴疆”基本政策,充分利用经济驱动在旅游生态安全中的积极影响。旅游活动本质上而言是经济活动。旅游生态安全问题的产生不能忽视旅游经济发展中的有利一面。新疆属于经济落后地区,旅游经济的发展能带来切实的经济利益,为新疆各县市经济的崛起注入充足活力。城镇化率及游客人数都为新疆各县市旅游经济驱动起到了重要作用,在一定程度上带动了相关行业的发展。但是,新疆许多旅游热点县市未能很好发挥经济驱动积极优势。对于旅游经济效益较好,但是旅游生态安全处于低水平的县市,如乌鲁木齐市,奎屯市,石河子市等县市,应当积极推行生态补偿政策,针对性实施退耕还林还草、植树造林、节能减排等保护性措施,加强旅游生态系统的韧性建设,打造山水林田湖草共同体。而对于旅游冷点县市则可以在保护生态的前提下,采取积极主动的旅游市场营销策略,开辟特色旅游市场,支持短距离旅游的发展,进而提升各县市的旅游经济驱动力。

(2) 大力发展旅游新业态,极力缓和旅游生态压力对旅游生态安全的影响。旅游生态压力的产生实质上

是旅游生态安全驱动力所带来的负面影响。本文通过研究发现游客密度及旅游空间指数为旅游生态安全的压力子系统的关键影响因素。因此,新疆各县市应当推进旅游业态转型升级,支持生态旅游、乡村旅游、全域旅游、冰雪旅游、康养度假旅游等新兴旅游业态发展,从而缓解传统大众旅游所带来的压力。

(3)科学制定旅游生态安全规划,保持旅游生态安全的良好状态。旅游生态安全的状态是旅游生态安全的具体反映。政府部门需要平衡旅游开发与环境保护之间的关系。本文的研究结果表明新疆星级酒店数和植被指数是新疆旅游生态安全的关键因子。星级酒店的建立是一把双刃剑,各县市应当制定切实可行的旅游生态安全规划,划定旅游生态保护红线,监督、约束酒店的违规扩建行为。此外,新疆各县市应当高度重视植被保护,将护林工程纳入旅游规划框架内,并积极落实。

(4)推动旅游产品创新,增强旅游发展的积极影响。农牧民人均纯收入及旅游业对 GDP 的贡献率是影响子系统的关键因子。因此,各县市可以深入挖掘本地特色的文化内涵,创新旅游产品供给,推出高品质的文旅创新型产品,提升新疆旅游产品的附加值。如将各县市特色的农牧产品打造成国家地理标志产品,实施“农业+旅游”的发展模式。进一步提高农牧产品与旅游的相关性,拓宽特色林果产品的销售渠道,提升各县市农牧民的人均收入水平的同时,促进当地 GDP 的增长。

(5)重视人才培养,提升旅游接待能力,保障有效的响应措施的实施。旅游生态安全响应对旅游生态安全至关重要。积极有效的响应措施可以提升旅游生态安全驱动力,并通过投入要素系统影响产出要素系统。本文研究发现旅游接待能力及每万人拥有教师数对旅游生态安全响应有重要影响。因此,各县市可适当加大对第三产业的投入,增加第三产业就业岗位,从而提升当地的旅游接待能力。此外,各县市政府应当重视教育发展,关注本地的人才培养,为当地旅游生态安全水平提供重要的智力保障。

由于本文是对县域单元进行相关数据的收集,数据统计收集存在限制。因此,没有将部分重要指标放入到 DPSIR 框架中,如污水排放量、二氧化硫排放量、空气优良天数占比等。此外,本文着重分析了新疆各县市的旅游生态安全时空格局及其驱动机制,并依据结论给出了相应的政策建议,相关建议有待实践检验。本文的研究贡献在于对县域尺度的旅游生态安全进行科学测度,剖析了旅游生态安全的时空演化格局,探测了旅游生态安全的主要影响因子,最终刻画出旅游生态安全的影响机制。未来的研究可进一步完善县域尺度旅游生态安全评价指标体系,进行县域旅游生态安全动态预警、趋势预测等方面的研究,构建相应的旅游生态安全防控机制,提升旅游生态安全研究的针对性和实用性。

参考文献 (References):

- [1] 徐冬,黄震方,胡小海,吕龙,曹芳东. 浙江省县域旅游效率空间格局演变及其影响因素. 经济地理, 2018, 38(5): 197-207.
- [2] 晋秀龙,陆林. 旅游生态学研究体系. 生态学报, 2009, 29(2): 898-909.
- [3] 傅伯杰,周国逸,白永飞,宋长春,刘纪远,张惠远,吕一河,郑华,谢高地. 中国主要陆地生态系统服务功能与生态安全. 地球科学进展, 2009, 24(6): 571-576.
- [4] 马国民,徐淑梅,李圆慧. 帽儿山景区旅游生态足迹研究. 地理与地理信息科学, 2011, 27(5): 109-112.
- [5] 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.
- [6] 周彬,钟林生,陈田,张爱平. 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.
- [7] 徐美,刘春腊,李丹,钟晓林. 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. 应用生态学报, 2017, 28(11): 3731-3739.
- [8] 周彬,虞虎,钟林生,陈田. 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.
- [9] 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.
- [10] 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. 地理科学, 2019, 39(1): 156-163.
- [11] 曹新向. 基于生态足迹分析的旅游地生态安全评价研究——以开封市为例. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(2): 70-75.
- [12] 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.
- [13] Tang C C, Wu X F, Zheng Q Q, Lyu N. Ecological security evaluations of the tourism industry in Ecological Conservation Development Areas: a case study of Beijing's ECDA. Journal of Cleaner Production, 2018, 197: 999-1010.

- [14] 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.
- [15] 肖建红, 于庆东, 刘康, 陈东景, 陈娟, 肖江南. 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.
- [16] 张晶, 罗峰. 旅游地生态安全评价——以杭州西溪湿地为例. 广西社会科学, 2012, (3): 64-67.
- [17] 时卉, 杨兆萍, 韩芳, 石天戈, 栾福明. 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.
- [18] 杨主泉, 张志明. 基于 PSR 模型的桂林市旅游生态安全动态评价. 福建林业科技, 2014, 41(1): 159-165.
- [19] 郑秋霞, 匡耀求, 黄宁生, 赵怡. 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.
- [20] 彭红松, 章锦河, 韩娅, 汤国荣, 张瑜. 旅游地生态效率测度的 SBM-DEA 模型及实证分析. 生态学报, 2017, 37(2): 628-638.
- [21] Ruan W Q, Li Y Q, Zhang S N, Liu C H. Evaluation and drive mechanism of tourism ecological security based on the DPSIR-DEA model. Tourism Management, 2019, 75: 609-625.
- [22] 张继权, 伊坤朋, Tani H, 王秀峰, 佟志军, 刘兴朋. 基于 DPSIR 的吉林省白山市生态安全评价. 应用生态学报, 2011, 22(1): 189-195.
- [23] 覃方铭, 马月伟, 贾子薇, 叶文. 夹金山脉大熊猫栖息地遗产旅游可持续发展评价. 地域研究与开发, 2019, 38(3): 89-94.
- [24] 张丽君, 李宁, 秦耀辰, 张晶飞, 王霞. 基于 DPSIR 模型的中国城市低碳发展水平评价及空间分异. 世界地理研究, 2019, 28(3): 85-94.
- [25] 王贺年, 张曼胤, 崔丽娟, 郭子良, 王大安. 基于 DPSIR 模型的衡水湖湿地生态环境质量评价. 湿地科学, 2019, 17(2): 193-198.
- [26] 麦丽开·艾麦提, 满苏尔·沙比提, 张雪琪. 叶尔羌河平原绿洲耕地生态安全评价及预警分析. 中国农业资源与区划, 2019, 40(7): 135-144.
- [27] 张建清, 张岚, 王嵩, 范斐. 基于 DPSIR-DEA 模型的区域可持续发展效率测度及分析. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(11): 1-9.
- [28] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509.
- [29] 王汝辉, 柳应华, 马志新, 邓攀. 西藏旅游产业的战略主导性分析. 中国藏学, 2014, (4): 92-101.
- [30] 李东, 邢素珍, 关靖云, 崔春雨, 陈玥彤, 王玉清. 干旱区绿洲荒漠交错带空间贫困分异特征、减贫需求与扶贫对策研究——以新疆和田地区为例. 干旱区地理, 2019, 42(4): 933-942.
- [31] 徐新良. 中国年度植被指数 (NDVI) 空间分布数据集. 中国科学院资源环境科学数据中心数据注册与出版系统 (<http://www.resdc.cn/DOI>), 2018. DOI:10.12078/2018060601 (引用日期: 2020 年 6 月 5 日).
- [32] 杨丽, 孙之淳. 基于熵值法的西部新型城镇化发展水平测评. 经济问题, 2015, (3): 115-119.
- [33] 李岩, 王珂, 刘巍, 李燕坤, 王时军, 张大红. 江苏省县域森林生态安全评价及空间计量分析. 生态学报, 2019, 39(1): 202-215.
- [34] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134.