

DOI: 10.5846/stxb201912022599

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. 生态学报, 2021, 41(1): 320-332.

Wang Z F, Chen Q Q. Spatio-temporal pattern evolution and trend prediction of tourism ecological security in the Yangtze River Economic Belt since 1998. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(1): 320-332.

# 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

王兆峰\*, 陈青青

湖南师范大学旅游学院, 长沙 410081

**摘要:** 旅游生态安全是旅游业可持续发展的基础。基于 DPSIR (驱动力-压力-状态-影响-响应, Driving force-Pressure-State-Impact-Response) 模型, 构建长江经济带旅游生态安全评价指标体系, 综合采用熵权 TOPSIS (逼近理想解排序法, Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) 法、空间变差模型、标准差椭圆模型、灰色动态模型等方法分析长江经济带 1998—2017 年旅游生态安全水平的时空动态演变特征, 并对其未来空间分布格局进行合理预测。研究发现: (1) 长江经济带旅游生态安全水平均值为 0.305, 综合指数由 0.207 上升至 0.439, 呈稳步提升态势, 安全状态由较不安全级上升至临界安全级; (2) 经济带旅游生态安全为不安全级和较不安全级的省区数量逐渐减少, 而处于临界安全级的省区数量持续增加, 整体正介于由中低级向高级过渡的关键阶段; (3) 旅游生态安全空间变异程度不断增强, 空间分异特征显著, 整体呈现出“东部>西部>中部”的空间演变格局, 同时低值区域具有明显的西南迁移现象; (4) 旅游生态安全空间分布格局呈东北-西南走向, 移动路径呈“西北→东北→东南”变化趋势, 空间分布范围经历了“分散-集聚”的过程。预测结果显示: 2018—2030 年旅游生态安全重心将向东北方向移动, 空间分布格局在东西和南北方向上均呈敛缩态势, 空间溢出效应不明显。

**关键词:** 旅游生态安全; 时空格局; 趋势预测; DPSIR 模型; 长江经济带

## Spatio-temporal pattern evolution and trend prediction of tourism ecological security in the Yangtze River Economic Belt since 1998

WANG Zhaofeng\*, CHEN Qingqing

Tourism College of Hunan Normal University, Changsha 410081, China

**Abstract:** Tourism ecological security is the basis of sustainable development of tourism. Based on Driving force-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) model, an evaluation index system for tourism ecological security in the Yangtze River Economic Belt is constructed. Meanwhile, a combination of entropy weight TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) method, spatial variation model, standard deviation ellipse model, grey dynamic model and other methods is adopted to analyze and characterize the spatio-temporal dynamics of security level for tourism ecology along the Yangtze River Economic Belt during the period between 1998 and 2017, further with which a sensible prediction is made for its future pattern of spatial distribution. The results are as follows: (1) The average level of tourism ecological security in the Yangtze River Economic Belt is 0.305, with the comprehensive indicator increases from 0.207 to 0.439 in a status of stable improving. The security level raises from less safety grade to critical safety grade. (2) The number of provinces with unsafe grade and less safe grade for tourism ecological security gradually decreases while that with critical safety grade increases. Overall, it is at the critical stage of transition from middle and low level to high level. (3) The

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771162); 湖南省国内一流培育学科建设项目资助(地理学-5010002)

收稿日期: 2019-12-02; 网络出版日期: 2020-11-19

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jdwzf@126.com

spatial variation degree of tourism ecological security keeps increasing with prominently spatial difference features. The overall spatial evolution pattern appears eastern > western > central tendency. At the same time, the low value area obviously migrates to the southwest. (4) The spatial distribution of tourism ecological security indicates northeast-southwest tendency, while the trajectory of gravity center presents the variational tendency of northwest→northeast→southeast. Spatial distribution range is distributed first and then gathered. The prediction results show that the gravity center of tourism ecological security will move to the northeast while the spatial distribution range will shrink in the east-west and north-south directions in 2018—2030. Therefore, the spatial spillover effect is not obvious.

**Key Words:** tourism ecological security; spatio-temporal pattern; trend prediction; DPSIR model; the Yangtze River Economic Belt

有着“国际黄金旅游带”美誉的长江经济带横跨我国东中西三大板块,囊括了上海、江苏、浙江等 11 个省市,GDP 和人口占全国比重四成有余,战略地位不言而喻。2017 年,长江经济带各省市共实现旅游总收入 5.06 万亿元,占 GDP 比重约为 13.64%。作为“第三利润源”和战略性支柱产业,旅游业在长江经济带经济体系中发挥着举足轻重的作用。然而,长期以来区域内粗放式的旅游业增长模式也导致其对生态环境的负面影响日益凸显,旅游生态安全事件层出不穷,成为制约长江经济带旅游产业持续发展的一大瓶颈。2018 年 4 月,习近平总书记在深入推动长江经济带发展座谈会上明确指出,要把修复长江生态环境摆在压倒性位置,探索出一条生态优先、绿色发展的新路子。这表明现阶段我们不仅要关注旅游业的经济效益,更要注重推进其与生态环境的协调发展。旅游生态安全作为旅游业可持续发展的重要研究领域,已成为衡量旅游业环境影响的主要指标<sup>[1-2]</sup>。对长江经济带展开旅游生态安全的系统性评价,不仅可以丰富和完善相关理论,对助推长江黄金旅游带及生态文明先行示范带建设也具有重要的现实意义。

系统梳理有关旅游生态安全的相关文献发现,旅游生态安全研究内容已逐渐从评价测度<sup>[3]</sup>向影响因素<sup>[4]</sup>、趋势预测<sup>[5]</sup>、空间效应<sup>[6]</sup>、驱动机制<sup>[7]</sup>、预警系统构建<sup>[8]</sup>等更深层次问题扩展;研究视角上,随着研究的不断深入,旅游生态安全呈现出旅游学、生态学、地理学、经济学、管理学等多学科交叉的复杂特点;研究尺度涉及海岛<sup>[9]</sup>、湖泊<sup>[10]</sup>、旅游景区<sup>[11]</sup>、岩溶旅游地<sup>[12]</sup>等微观层面以及市域<sup>[13]</sup>、省域<sup>[14]</sup>、国家<sup>[15]</sup>等中宏观层面,对不同评价尺度上的研究结果进行尺度关联是未来的研究趋势;在评价指标的构建上,多数学者沿用了生态安全的评价指标体系,并从经济、社会和自然环境三个维度进行具体指标的提炼,主要包括:CSAED(承载力-支持力-吸引力-延续力-发展力)模型<sup>[5]</sup>、TQR(威胁-质量-调控)模型<sup>[16]</sup>、IRDS(制度-监管-干扰-安全)模型<sup>[17]</sup>、PSR(压力-状态-响应)模型<sup>[18]</sup>及其改进形式 PSR-SEE(压力-状态-响应-社会-经济-环境)模型<sup>[15]</sup>和 DPSIR(驱动力-压力-状态-影响-响应)模型<sup>[8]</sup>等;研究方法主要以定量研究为主,学者们所选用的评价测度方法各异,主要包括:模糊综合评价法<sup>[3]</sup>、线性加权法<sup>[6]</sup>、改进 TOPSIS(逼近理想解排序法,Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution)法<sup>[14]</sup>、灰色关联投影法<sup>[19]</sup>、生态足迹法<sup>[20]</sup>等;在空间格局的演变分析上,多采用等级动态模型<sup>[3]</sup>、马尔可夫链<sup>[14]</sup>及空间自相关分析<sup>[15]</sup>对旅游生态安全水平的空间变化速度、空间转移特征和空间集聚特征进行描述;有关未来发展趋势的预测,学者们多是采用灰色 GM(1, 1)模型预测旅游生态安全的时间演变趋势<sup>[8]</sup>,也有少数学者引入 RBF 神经网络模型,但其普适性仍有待进一步考证<sup>[5]</sup>。

由于旅游生态安全是旅游生态学研究的新领域,目前仍处于探索阶段。现有研究值得肯定,但仍可从以下方面加以完善:(1)在数据来源上,缺乏长时间序列的监测数据用于旅游生态安全的评价,不利于系统地研究旅游生态安全的演替过程,也不利于后期开发保护的对比性评价,有待加强区域旅游生态安全时间序列的研究。(2)现有研究多关注不同时间截面的空间自相关性,缺乏对区域内部差异和趋势进行分析,且研究者关注旅游生态安全水平预测时,通常着眼于水平等级预测,少有学者对其未来的空间格局进行探讨,然而这样的探讨更有利于深刻把握旅游生态安全的空间演变格局及发展趋势,有利于合理制定区域旅游生态安全保护

策略。鉴于此,本文基于 DPSIR 模型,构建长江经济带旅游生态安全评价指标体系,在利用熵权 TOPSIS 法对长江经济带 1998 年以来旅游生态安全指数进行测度的基础上,运用空间变差模型、标准差椭圆模型对旅游生态安全的空间分异情况及空间格局演化特征进行深入探索,并借助灰色动态模型对其未来的空间分布格局进行预测,旨在为长江经济带旅游业的可持续发展提供科学的参考依据。

## 1 研究设计

### 1.1 评价指标体系构建

目前,有关旅游生态安全的内涵界定尚未在学术界达成共识。基于生态安全的理论基础,结合旅游业自身的发展特色,并参考已有学者的观点<sup>[7-8,15]</sup>,本文认为:旅游生态安全是指旅游地生态系统处于一种免受内外部不利因素威胁的健康状态和发展趋势,并在这种状态和趋势下,旅游地生态系统不仅能满足旅游业自身可持续发展的需求,且能够与旅游目的地综合状况和谐共荣、兼容平衡。旅游目的地状况涵盖经济、社会、环境、资源、人口等多个要素,且各要素之间彼此依赖、相互关联。旅游生态安全水平的高低取决于人与环境相互作用的和谐程度,良好的旅游生态安全状况反映了旅游目的地内经济系统、社会系统和自然环境系统均处于协调发展的稳定态势。

DPSIR 模型是欧洲环境署于 1993 年基于 PSR 和 DSR 框架的基础上建立而来,由于该模型具有综合性强、逻辑清晰的优点,在生态安全研究领域已经得到了广泛应用<sup>[21-23]</sup>。本研究将 DPSIR 模型的基本理论移植到旅游生态安全系统的研究中来,构建了相应的概念模型(图 1)。在此模型中,驱动力(D)作为旅游生态安全系统演化的“起源”,是引起旅游地环境变化的潜在原因,反映了旅游地社会经济和旅游产业增长的基本状况;压力(P)由驱动力引发而来,是造成旅游地环境问题的显性原因,主要涵盖旅游交通压力、旅游社会承载力、污染物排放强度及能源消耗强度等方面;状态(S)直接受到驱动力和压力的冲击作用,反映旅游生态安全系统的现实状况,从旅游经济状态、旅游设施状态、生态环境状态三方面加以表征;影响(I)使得生态环境状态变化对人类社会的反作用力得以凸显,研究主要从系统状态变化对旅游地产业经济结构、旅游市场行为产生影响的角度进行界定;响应(R)反映人类社会为补偿或减轻生态环境的变化,而采取的积极应对策略。响应对驱动力起到显著的推动作用,使得整个系统形成“闭环”,得以循环往复,同时它还可以用于缓解压力、

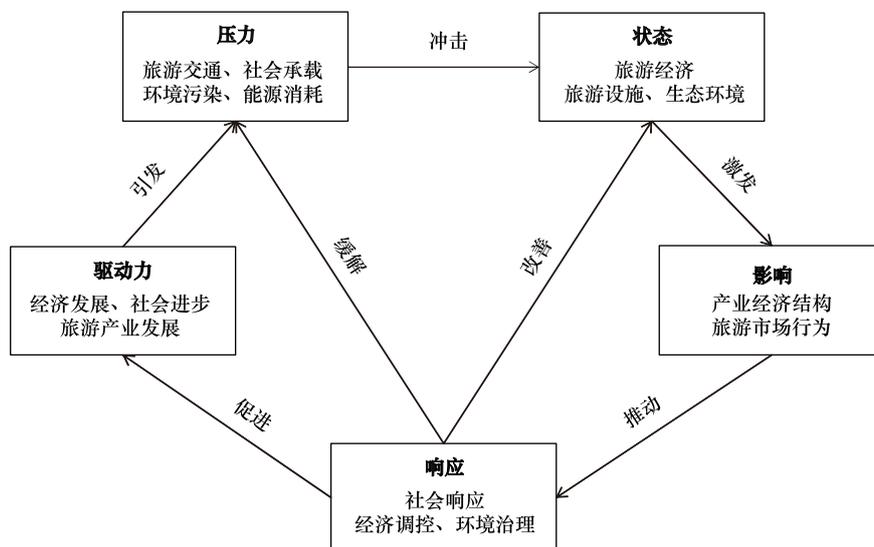


图 1 旅游生态安全评价 DPSIR 概念模型

Fig.1 DPSIR conceptual model of tourism ecological security evaluation

D: 驱动力, Driving force; P: 压力, Pressure; S: 状态, State; I: 影响, Impact; R: 响应, Response

改善状态,从而提升旅游生态安全系统的总体状况。

在模型构建的基础上,遵循系统性、层次性、科学性等原则并兼具数据的可获取性,围绕“经济-社会-生态环境-旅游产业”4 个子系统的存续发展状况和相互作用特征进行了具体评价指标的提炼,在甄选过程中尽量彰显出旅游产业自身的特色,并对各指标的内涵意义进行了剖析,架构完成了旅游生态安全系统的评价指标体系(表 1)。

表 1 长江经济带旅游生态安全评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of tourism ecological security in the Yangtze River Economic Belt

准则层 Standard level	要素层 Factor level	指标层 Index level	权重 Weight	指标意义 Index significance	参考文献 References
驱动力 Driving force	经济要素	D1 人均 GDP/元	0.0094	反映国民经济增长对旅游地生态环境的冲击	[7]
		D2 第三产业增长率/%	0.0049		
	社会要素	D3 城镇化率/%	0.0197	反映城市化发展和人口增长对旅游地生态环境的冲击	[16]
		D4 人口自然增长率/%	0.0107		
	旅游要素	D5 旅游收入增长率/%	0.0036	反映旅游业发展及游客量增长对旅游地生态环境的冲击	[14]
		D6 旅游人数增长率/%	0.0023		
压力 Pressure	旅游交通	P1 旅游交通压力/%	0.0114	反映游客流动及涌入对旅游地交通设施的冲击,采用旅游人数与交通客运量比值表征	[23]
	旅游社会	P2 人口密度/(人/km <sup>2</sup> )	0.0118	反映当地居民和游客对旅游地空间的占用程度,分别采用居民和游客数量与地区总面积的比值表征	[3,7,23]
		P3 旅游空间指数/(人/km <sup>2</sup> )	0.0054		
		P4 游客密度指数/%	0.0114	又称游居比,反映旅游者对当地居民生活的干扰程度,采用旅游人数与地区常住人口总数的比值表征	
	生态环境	P5 废水排放量/万 t	0.0144	反映污染物排放强度对旅游地生态环境造成的潜在破坏,主要表现为废水、废气、固体废物、生活垃圾污染等类型	[6,14]
		P6 SO <sub>2</sub> 排放量/万 t	0.0185		
		P7 固体废物产生量/万 t	0.0142		
		P8 生活垃圾清运量/万 t	0.0088		
	能源消耗	P9 万元 GDP 能耗/(吨标准煤/万元)	0.0053	反映旅游地物质能源消耗强度,衡量能源利用效率	[3]
	状态 State	旅游经济	S1 国内旅游收入/亿元	0.0643	反映系统运行对区域旅游经济发展水平的影响,其中
S2 旅游外汇收入/亿美元			0.0739	旅游经济密度采用旅游总收入与地区总面积的比值	
S3 人均旅游收入/元			0.0706	表征	
S4 游客接待数量/万人			0.0560		
S5 旅游经济密度/(亿元/万 km <sup>2</sup> )			0.0078		
旅游设施		S6 星级饭店数/个	0.0313	反映旅游地的游客接待能力	[3]
		S7 旅行社数/个	0.0433		
状态 State	生态环境	S8 园林绿地面积/hm <sup>2</sup>	0.0518	反映旅游地生态环境健康状况,良好的生态环境是旅游业持续发展的有效保障,也是旅游地的核心吸引要素	[16]
		S9 人均公园绿地面积/m <sup>2</sup>	0.0242		
		S10 建成区绿化覆盖率/%	0.0147		
		S11 自然保护区面积/hm <sup>2</sup>	0.0810		
影响 Impact	产业经济	I1 第三产业比重/%	0.0255	反映系统状态变化对旅游地产业结构水平和旅游产业发展的影响作用	[4]
		I2 旅游总收入占 GDP 比重/%	0.0254		
	旅游市场	I3 旅游者人均消费/(元/d)	0.0227	反映系统状态变化对旅游者消费行为的影响,也反映了旅游者对旅游资源的需求水平	[23]
		I4 旅游者停留天数/d	0.0390		
响应 Response	社会响应	R1 每万人校大学生数/人	0.0387	反映旅游地人口素质和旅游从业人员素质	[7]
		R2 每万人旅游院校在校学生数/人	0.0497		
	经济调控	R3 财政支出占 GDP 比重/%	0.0298	反映旅游地政府部门对生态环境投资的经济动力及为改善生态环境的资金投入力度	[14]
		R4 环境污染治理投资占 GDP 比重/%	0.0296		
	环境治理	R5 固体废物综合利用率/%	0.0221	反映旅游地环境保护与污染防治的技术水平	[4,6]

## 1.2 评价等级划分标准

迄今为止尚未形成对旅游生态安全评价的统一标准,在参考已有研究成果的基础上<sup>[8]</sup>,结合案例地的实际情况,本文根据“均分原则”,将贴适度 $[0, 1]$ 区间分成 5 等分,对应相应的旅游生态安全等级(表 2)。

表 2 长江经济带旅游生态安全评价标准

贴适度 Close-degree	$[0, 0.2]$	$(0.2, 0.4]$	$(0.4, 0.6]$	$(0.6, 0.8]$	$(0.8, 1]$
安全等级 Safety grade	I	II	III	IV	V
安全状态 Safety state	不安全级	较不安全级	临界安全级	安全级	非常安全级

## 1.3 研究方法

### 1.3.1 熵权 TOPSIS 法

熵权 TOPSIS 方法由熵权法和 TOPSIS 法组成,是一种适用于根据多项指标、对多个方案进行比较选择的分析方法,具有真实、可靠、直观的优点<sup>[24]</sup>。因此,本文借助该方法对长江经济带旅游生态安全水平进行评估,计算步骤如下:(1)采用极差法对评价指标进行标准化处理;(2)用熵值法计算各指标权重;(3)构建加权规范化决策矩阵;(4)确定正、负理想解;(5)计算各方案到正、负理想解的距离;(6)计算各方案与理想解的接近度,并按降序排列确定方案的优劣次序。贴适度在 0—1 之间,值越大,说明旅游生态系统越安全;反之,则越差。具体计算公式参见文献<sup>[25]</sup>。

### 1.3.2 空间变差模型

空间变差函数又称半变异函数,是解析空间变异规律和结构分析的有效手段<sup>[26]</sup>。本文运用该模型来揭示长江经济带旅游生态安全空间格局的演化规律,函数表达式为:

$$\gamma(k) = \frac{1}{2N(k)} \sum_{i=1}^{N(k)} [Y(x_i) - Y(x_i + k)]^2 \quad (1)$$

式中,  $Y(x_i)$  和  $Y(x_i + k)$  分别是  $Y(x)$  在空间单元  $x_i$  和  $x_i + k$  上的旅游生态安全值;  $N(k)$  为分隔距离为  $k$  的样本量。

克里金(Kriging)插值是以空间变差模型为依据对随机过程进行空间建模和插值的一种模拟<sup>[27]</sup>。在特定的有限区域内,克里金法能够给出最优线性无偏估计,函数表达式如下:

$$Y(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Y(x_i) \quad (2)$$

式中,  $Y(x_0)$  为未知点;  $Y(x_i)$  为已知样本点;  $\lambda_i$  为第  $i$  个样本点对未知点的权重;  $n$  为已知点的个数。

### 1.3.3 标准差椭圆模型

标准差椭圆模型是一种能够准确勾绘评价对象空间分布整体特征及时空演变过程的空间统计方法<sup>[28]</sup>,本文引入该方法对长江经济带旅游生态安全的空间分布方向特征加以呈现。标准差椭圆包括中心、长轴、短轴和转角 4 个基本要素<sup>[29]</sup>,其中中心点表示评价要素空间分布的相对位置、长轴和短轴分别表示要素在主要和次要方向上的离散程度,转角表示发展的主趋势方向。具体计算公式参考文献<sup>[29]</sup>。

### 1.3.4 灰色预测 GM(1, 1)模型

灰色 GM(1, 1)模型具有原理简单、预测精度高的优点,而且可以对原始数据进行预处理以获得较好的平滑性,使得预测更加有效<sup>[30]</sup>。受数据样本容量的限制,本文借助灰色 GM(1, 1)模型分别对标准差椭圆的中心经度  $x_1$ 、纬度  $x_2$ 、长轴  $x_3$ 、短轴  $x_4$  和转角  $x_5$  五个参数进行预测,以探究长江经济带旅游生态安全未来空间格局演变态势。

## 1.4 数据来源

文中所涉及的数据主要来源于相应年份的《中国统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》、《中国旅游统计年鉴》、长江经济带 11 个省市统计年鉴,11 个省市国民经济和社会发展统计公报以及环境状况公报等。部分数据

根据以上资料整理获得,对于缺失的数据,采用线性插值法将其补充完整。

## 2 实证结果

### 2.1 旅游生态安全时序演化特征

依据地理区位因素,将长江经济带划分为:东部(上海、江苏、浙江)、中部(安徽、江西、湖北、湖南)和西部(四川、云南、贵州、重庆)三大区域。基于熵权 TOPSIS 法,计算得出 1998—2017 年长江经济带及省市旅游生态安全综合指数。并为直观反映区域间及省市间旅游生态安全时序演化特征,文章绘制了相应的折线图(图 2)和箱线图(图 3)。

整体来看(图 2),1998—2017 年,长江经济带旅游生态安全综合指数由 0.207 上升至 0.439,年均增速为 4.05%,呈稳步提升态势。围绕生态文明先进示范带建设的目标,长江经济带先后制定了《长江经济带生态环境保护规划》、《2016—2017 年长江经济带生态环境保护行动计划》等政策性文件,相应的环保投入力度逐年增强,使得环境压力逐年缓解。同时,为助力旅游业的蓬勃发展,国务院出台了《关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》,指出要大力发展特色旅游业,把长江沿线培育成为国际黄金旅游带。长江经济带对生态环境和旅游业发展的重视,使得旅游生态安全状态整体朝利好方向发展,当前安全状态已由较不安全级上升至临界安全级。但需注意的是,经济带旅游生态安全指数均值仅为 0.305,且在研究期内,旅游生态安全提升幅度仅为 0.232,表明整体旅游生态安全水平仍具备较大的提升潜力和空间。

分区域来看(图 2),东部地区旅游生态安全指数除 2013 年出现小幅下降外总体呈逐步上升的演变趋势,安全系数均值为 0.372,安全指数从 1998 年的 0.234 逐步上升至 2017 年的 0.530,年均增速为 4.41%;中部地区旅游生态安全指数在 2003 年之前增速较为平缓,而后进入加速上升期,安全指数从初期的 0.190 上升到期末的 0.410,年均增速为 4.16%;西部地区旅游生态安全指数呈波动上升的演变趋势,在 1998 年为最小值 0.203,到 2017 年上升到最大值 0.401,年均增速为 3.66%。通过比较分析可知,东部地区旅游生态安全水平较高且提升速度较快,这主要缘于东部地区拥有区位和经济双重优势,科技创新实力雄厚,旅游业逐渐趋于规模化、集约化、低碳化发展,因而旅游生态安全状况改善较为显著,而中西部地区由于受自然因素及历史条件的制约,旅游业起步较晚,加之不完善的旅游开发机制,致使其旅游生态安全水平与东部地区仍有一定差距。

分省市来看(图 3),20 年间长江经济带各省市旅游生态安全指数均得到了不同程度的提升,但各省市旅游生态安全改善状况差异显著。以中位数为参照,各省市旅游生态安全指数排序为:“江苏(0.393)>上海(0.388)>四川(0.378)>浙江(0.339)>重庆(0.316)>云南(0.286)>湖北(0.261)>湖南(0.247)>安徽(0.247)>江西(0.235)>贵州(0.206)”,可见,江苏省旅游生态安全水平处于领先地位。以改善进度来看,浙江省在研究期内旅游生态安全水平提升了 0.342,年均增长率高达 5.27%,旅游生态安全优化进度远超其他省市,这与浙江省在拥有良好生态本底的基础上,树立生态优先的旅游发展理念,积极创建绿色旅游企业和生态景区,倡导人与自然和谐共处的绿色旅游消费方式密切相关<sup>[14]</sup>。而贵州省虽在评价期内旅游产业增长速度显著,但受制于其环境发展指数偏低的缘故,旅游生态安全指数仅提升了 0.122,年均增速为 2.83%,旅游生态安全优化进度相对滞后。

### 2.2 旅游生态安全类型空间演化特征

根据长江经济带旅游生态安全时序演化特征,选取 1998、2005、2011 和 2017 年作为代表性时间节点,在旅游生态安全水平测度的基础上,依据旅游生态安全等级划分标准(表 2),借助 ArcGIS 10.2 软件绘制了相应的旅游生态安全空间类型分布图(图 4)。

由图 4 可知,研究期内,长江经济带旅游生态安全状态隶属于 3 个等级,分别为:不安全级、较不安全级、临界安全级,尚未出现比较安全级和非常安全级的省市。详而述之,1998 年,不同旅游生态安全等级省市在空间分布上表现出显著的地带效应,旅游生态安全等级总体呈东西部优于中部的空间格局,其中较不安全级省市为上海、江苏、浙江、湖北、重庆、四川、云南共 7 个省市,占总数的 63.63%,其余中部地区四省及西部地区

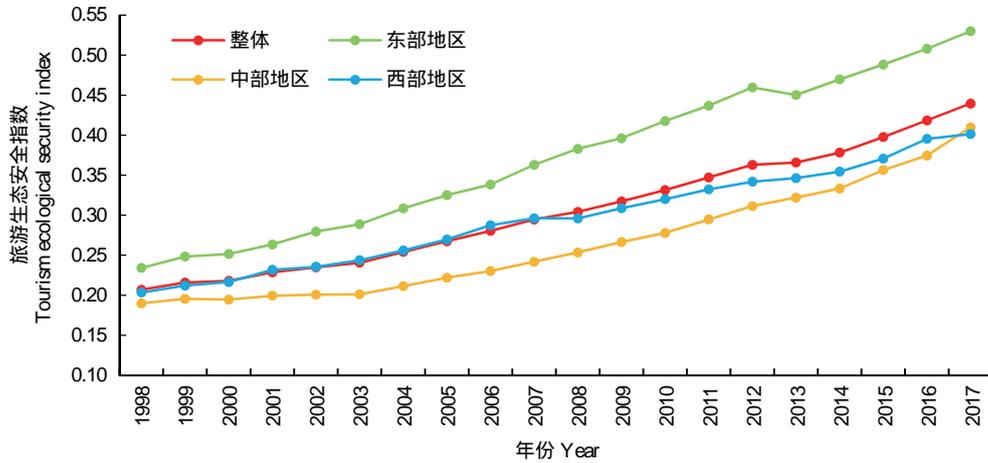


图 2 长江经济带及三大分区旅游生态安全水平变化趋势

Fig.2 Variational tendency on tourism ecological security in the Yangtze River Economic Belt and the three major zones

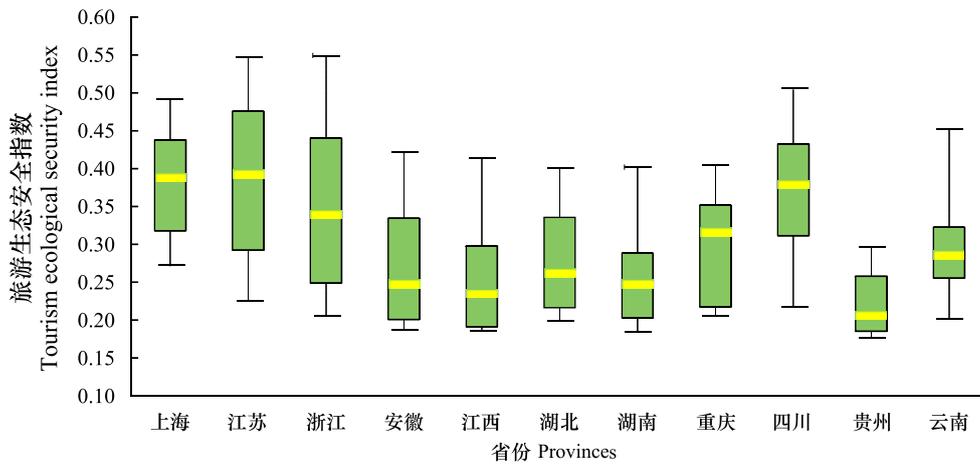


图 3 长江经济带各省市旅游生态安全水平箱线图

Fig.3 Box plots of tourism ecological security of each city and province in the Yangtze River Economic Belt

的贵州省则处于不安全级状态;2005年,除贵州省外,其余省市均为较不安全级,其比重上升至90.91%,整体处于较低水平均衡格局;2011年,上海、江苏、浙江、四川已跃升至临界安全级状态,占总数的36.36%,不安全级省市下降为零;2017年,除贵州省仍处于较不安全级外,其余10省市均上升为临界安全级状态,其比重提升至90.91%,整体进入中级水平均衡格局。从长江经济带旅游生态安全等级空间类型变化可知:区域内处于不安全级和较不安全级的省市数量逐渐减少,而处于临界安全级的省市数量持续增加,目前整体正处于旅游生态安全水平由中低级向高级过渡的关键阶段。

### 2.3 旅游生态安全格局演化的空间变差分析

空间变差函数可以对旅游生态安全空间结构的变异特征进行很好地表达。以1998—2017年的旅游生态安全指数作为空间变量赋予各区域单元的几何中心点,分别采用高斯、指数、球体和线性模型对变量数据进行拟合,选取拟合优度最高的模型。其中拟合度达到最优时的采样步长为10.48km,因此统一定义采样步长为10.48km。依据公式1计算得到各年份变差函数的拟合参数(表3)。同时,采用克里金(Kriging)插值剖析长江经济带各省市旅游生态安全水平的差异特征及分布形态,并基于Sufer软件对插值结果进行3D可视化表达。囿于篇幅限制,仅展示出1998、2005、2011和2017年的结果(图5)。

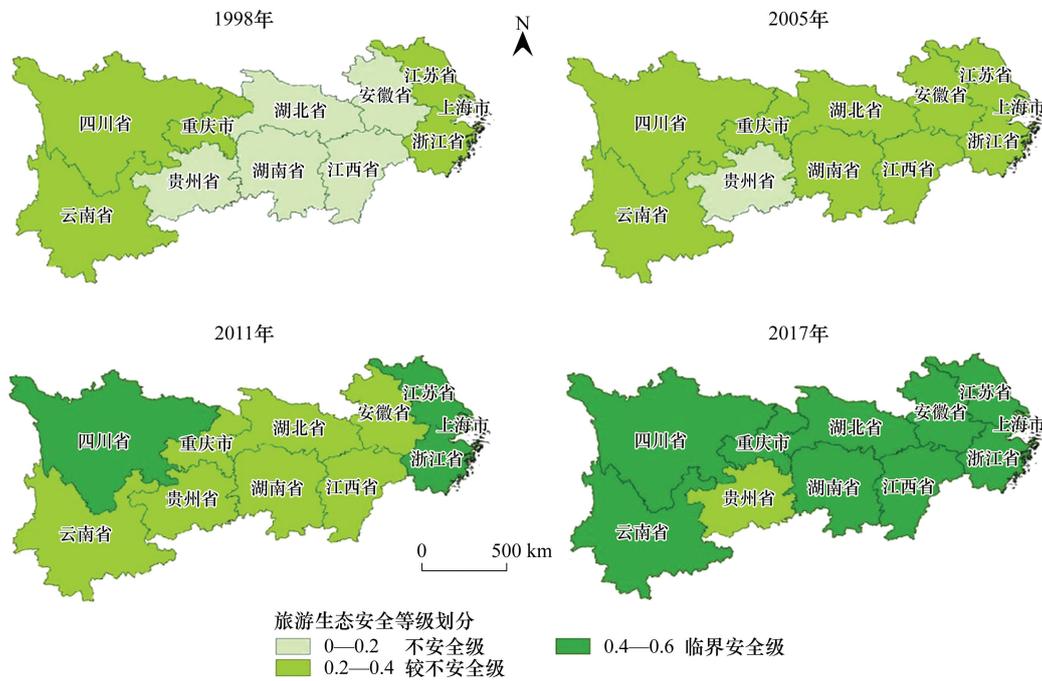


图 4 长江经济带旅游生态安全空间类型分布图

Fig.4 Spatial distribution of tourism ecological security types in the Yangtze River Economic Belt

表 3 长江经济带旅游生态安全空间变差函数拟合参数

Table 3 Spatial variation function fitting parameter of tourism ecological security in the Yangtze River Economic Belt

年份 Year	变程 Range/km	块金值 The nugget	基台值 The sill	块金系数 Nugget coefficient	拟合模型 Fitting model	决定系数 $R^2$ Determination coefficient
1998	30.99	$2.79 \times 10^4$	$2.73 \times 10^3$	0.898	指数	0.676
1999	30.99	$7.70 \times 10^4$	$2.83 \times 10^3$	0.728	指数	0.538
2000	30.99	$4.60 \times 10^4$	$4.82 \times 10^3$	0.905	指数	0.720
2001	30.99	$6.97 \times 10^4$	$3.54 \times 10^3$	0.803	球体	0.701
2002	28.86	$1.18 \times 10^3$	$1.86 \times 10^2$	0.936	高斯	0.936
2003	25.94	$1.14 \times 10^3$	$2.34 \times 10^2$	0.951	高斯	0.587
2004	28.36	$2.05 \times 10^3$	$2.17 \times 10^2$	0.905	高斯	0.771
2005	19.87	$1.52 \times 10^3$	$9.02 \times 10^3$	0.831	指数	0.598
2006	28.00	$2.47 \times 10^3$	$2.60 \times 10^2$	0.905	高斯	0.763
2007	26.10	$2.84 \times 10^3$	$2.58 \times 10^2$	0.890	高斯	0.537
2008	24.23	$2.83 \times 10^3$	$2.29 \times 10^2$	0.876	高斯	0.733
2009	25.13	$2.91 \times 10^3$	$2.68 \times 10^2$	0.891	高斯	0.690
2010	22.49	$3.00 \times 10^3$	$2.70 \times 10^2$	0.889	高斯	0.664
2011	21.96	$2.98 \times 10^3$	$2.46 \times 10^2$	0.879	高斯	0.868
2012	19.50	$3.34 \times 10^3$	$2.33 \times 10^2$	0.857	高斯	0.904
2013	9.15	$1.00 \times 10^5$	$9.06 \times 10^3$	0.999	指数	0.798
2014	3.72	$2.00 \times 10^4$	$5.95 \times 10^3$	0.966	高斯	0.791
2015	5.34	$1.00 \times 10^5$	$5.80 \times 10^3$	0.998	高斯	0.781
2016	6.47	$4.20 \times 10^4$	$8.68 \times 10^3$	0.952	指数	0.884
2017	6.93	$3.90 \times 10^4$	$4.41 \times 10^3$	0.912	球体	0.625

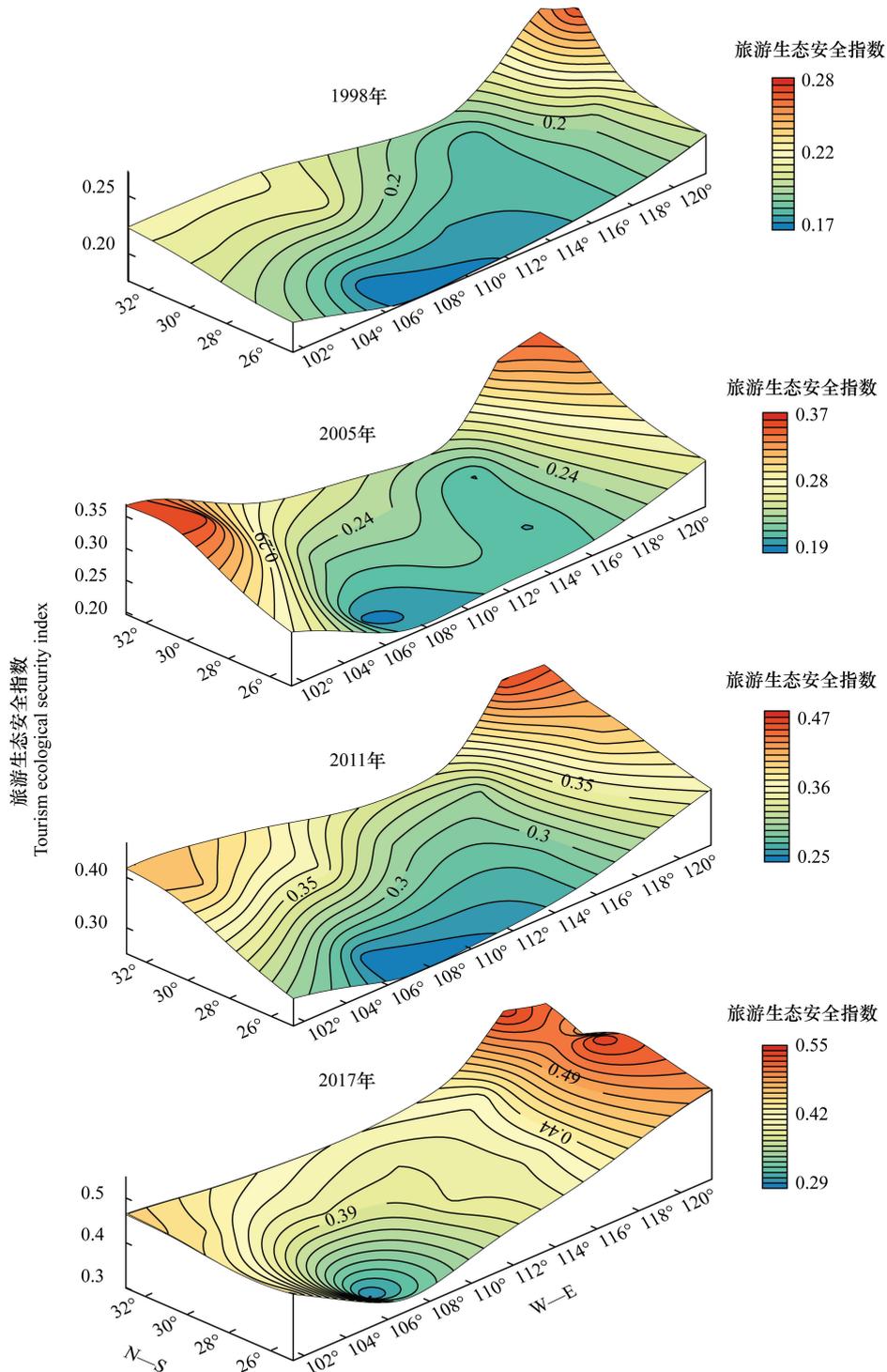


图5 1998、2005、2011和2017年旅游生态安全 Kriging 插值模拟

Fig.5 Kriging interpolation simulation for tourism ecological security in 1998、2005、2011 and 2017

拟合结果显示:研究期内,基台值和块金值均呈波动上升趋势,说明长江经济带旅游生态安全空间变异程度不断增强。块金系数反映了块金方差占空间异质性变异的大小,其值由1998年的0.898上升至2017年的0.912,说明在旅游生态安全整体空间格局演化中,由空间自相关引起的结构化分异逐渐减弱,而由随机成分引起的空间差异愈发显著。变程反映了区域旅游生态安全指数的空间相关距离,根据演变趋势可以大致分为

两大阶段:1988—2014 年,变程呈现波动式下降趋势,表明旅游生态安全空间关联效应的辐射范围缩小,高水平区域辐射涓滴作用下降;2015—2017 年,变程参数由 5.34 小幅上升至 6.93,这主要是由于该阶段高水平区分布的地域集聚性特征显著。从空间变差函数所选取的最优拟合模型可以看出,在不同时间截面下选取的模型有所差异,表明区域旅游生态安全状况在不同时期呈现出不同的结构特征。

从图 5 中可知:长江经济带旅游生态安全格局演化具有一定的延续性和规律性,空间分异层次特征显著,整体上呈现出“东部>西部>中部”的空间演变格局,同时低值区域具有明显的西南迁移现象。主要体现为:1998 年,东部地区形成以江苏省为核心的明显“峰状”结构,而西部地区“峰状柱体”较为低矮,中西部等值线趋于稀疏,表明东部地区旅游生态安全水平较高而中西部地区旅游生态安全发展状况较为均衡;2005 年,西部地区以四川省为核心的“峰状”结构开始突显,中部形成以贵州和安徽为中心的双“低谷”,东西部“峰体”等值线较为密集,表明四川省作为西部地区核心增长极地位开始显现,高水平区域呈集聚分布特征;2011 年,西部地区的“峰状”结构开始压缩,中部“低谷”地带消失,等值线进一步加密,表明整体非均衡性逐渐减弱;2017 年,东部地区形成以江苏、上海为高点的双“峰状柱体”结构,而以贵州为中心的“低谷”区特征明显,低值和高值区等值线均呈同心圆状对外扩散,表明区域旅游生态安全水平在增长极发展方面的差异逐步拉大。

#### 2.4 旅游生态安全标准差椭圆分析及趋势预测

通过上述对长江经济带旅游生态安全空间变异演化分析可知,旅游生态安全空间差异特征显著。因此,为多角度揭示长江经济带旅游生态安全空间格局特征,探究其未来的演化规律,以便有针对性地采取措施,本文基于标准差椭圆模型和灰色 GM(1, 1)模型对其空间分布方向特征及发展趋势进一步解析。

##### 2.4.1 旅游生态安全标准差椭圆分析

运用 ArcGIS Desktop 空间统计模块得到长江经济带旅游生态安全标准差椭圆的主要参数,在此基础上刻画标准差椭圆重心移动路径、移动距离(东西向和南北向)和移动趋势,并进一步获得长江经济带旅游生态安全空间分布格局,如图 6、7 所示。

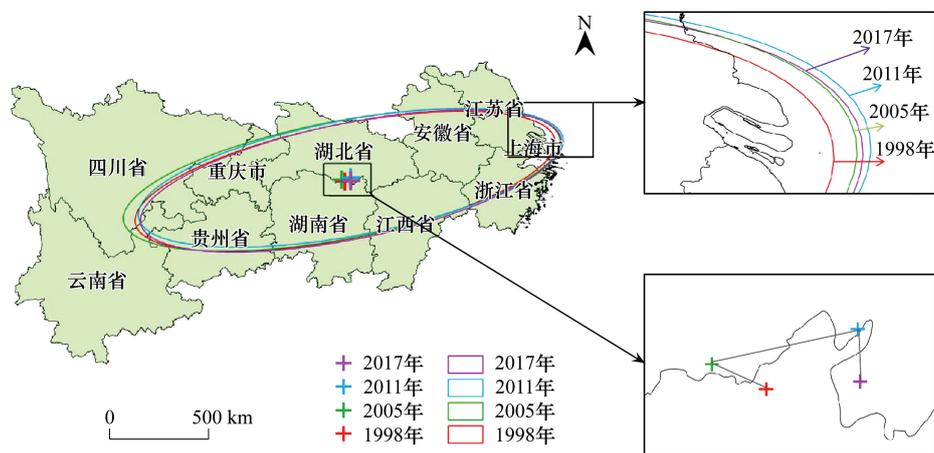


图 6 长江经济带旅游生态安全标准差椭圆分布及重心移动路径

Fig.6 The standard deviation ellipse and gravity center transfer path of tourism ecological security in the Yangtze River Economic Belt

1998—2017 年,长江经济带旅游生态安全空间动态演变特征显著,整体呈明显的“东北-西南”移动趋势,并最终向东北方向偏移(图 6)。以 2005 年和 2011 年为转折点可将旅游生态安全的重心转移路径划分为三个阶段,其中:1998—2005 年呈向西北移动趋势,2006—2011 年呈向东北移动趋势,2011—2017 年呈向东南移动趋势。移动距离上,标准差椭圆向东移动距离超过向西移动距离,向北移动距离超过向南移动距离,东西移动距离大于南北移动距离,其中东西移动总距离是南北移动总距离的 2.38 倍;总位移 25.96 km,其中向北移动 2.38 km,向东移动 24.48 km(图 7)。重心转移的原因在于:研究初期受西部大开发等国家政策的导向,

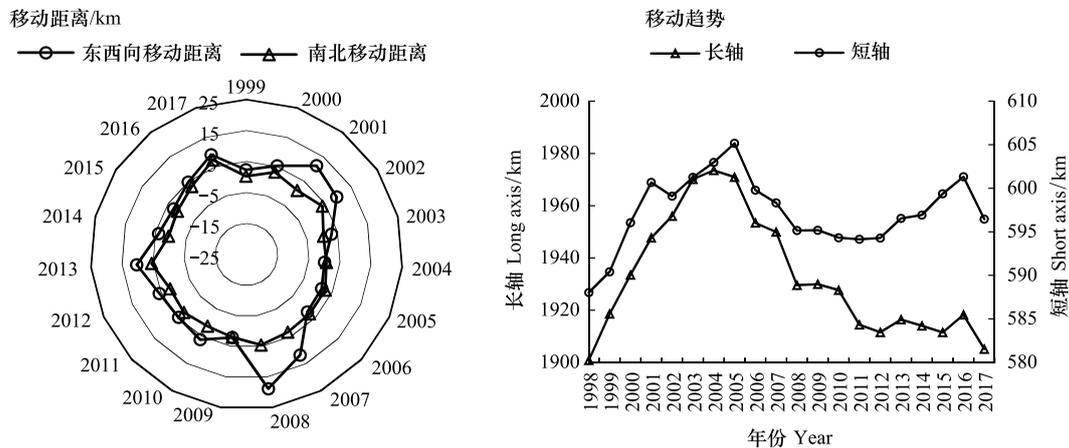


图7 1998—2017年长江经济带旅游生态安全重心移动距离及长短轴变化

Fig.7 The moving distance of gravity center of tourism ecological security in the Yangtze River Economic Belt and the variation of short and long axis from 1998 to 2017

且由于开发较晚,西部地区旅游地生态环境破坏压力尚未凸显且旅游经济效益有所提升,旅游生态安全重心向西转移,但这一时期主要注重旅游经济效益地提升,忽视了生态环境效益,随着旅游业发展对生态环境的负面影响日益凸显,旅游生态安全重心逐步向生态环境容量较高的东部地区转移。近年来,随着《长江经济带依托黄金水道发展的若干意见》等旨在推进长江经济带生态文明先行示范带建设的政策实施,促进了中西部地区旅游生态系统的恢复和发展;同时,中部地区湖南和湖北旅游经济的高速增长也减缓了标准差椭圆继续向东部地区大幅移动的趋势。

从标准差椭圆分布形状来看(图7),其长轴始终大于短轴,分布格局呈明显的东北-西南走向。具体来看:标准差椭圆分布范围在1998—2005年呈扩大趋势,该阶段标准差椭圆面积由 $81.90 \times 10^4 \text{ km}^2$ 增长至 $87.46 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,同时长轴与短轴分别由1998年的1900.82、588.02 km延长至2005年的1970.94、605.17 km,说明1998—2005年长江经济带旅游生态安全在南北和东西方向上均呈扩张态势,在空间分布上趋于分散。2006—2011年标准差椭圆分布范围呈收缩趋势,标准差椭圆面积由 $85.93 \times 10^4 \text{ km}^2$ 下降至 $83.49 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,长短轴分别由1953.41、599.79 km降至2011年的1914.42、594.14 km,表明旅游生态安全在南北和东西方向上呈集聚态势,空间溢出效应降低。2012—2017年,标准差椭圆面积由 $83.39 \times 10^4 \text{ km}^2$ 波动下降至 $83.28 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,降幅仅为 $1.09 \times 10^3 \text{ km}^2$ ,长轴由1911.51 km波动降至1905.13 km,短轴则由594.29 km上升至596.46 km,说明该阶段长江经济带旅游生态安全的空间分布格局较为稳定,虽然东西方向为旅游生态安全空间分布的主轴方向,但南北方向的发展也愈趋平衡。

#### 2.4.2 旅游生态安全空间格局预测

借助Matlab2018a软件,基于灰色GM(1, 1)模型,分别对长江经济带旅游生态安全标准差椭圆的五个参数构建时间序列模型,并采用残差检验和后验差检验法对预测结果进行检验。结果显示:五个参数的平均相对误差均小于5%,方差比和小误差概率的精度等级均为I级和II级,说明GM(1, 1)模型的预测结果可信度较高。在此基础上,借助Arcgis10.2软件对已预测得出的2020年、2025年、2030年的标准差椭圆参数进行可视化表达,勾勒出的空间分布格局如图8所示。

预测结果表明:2018—2030年长江经济带旅游生态安全重心整体向东北方向偏移,总位移32.77 km,其中向东、向北分别移动31.77 km、8.01 km,说明未来长江中下游地区将是影响长江经济带旅游生态安全空间分布格局的核心区域。转角由2018年的 $79.29^\circ$ 扩大为2030年的 $79.58^\circ$ ,呈小幅度逆时针旋转,表明未来长江经济带旅游生态安全“东北-西南”分布格局将进一步强化。就空间分布范围变化来看,标准差椭圆面积从2018年的 $83.63 \times 10^4 \text{ km}^2$ 降至2030年的 $82.24 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,长轴与短轴分别由2018年的1908.13 km、597.22 km

降至 2030 年的 1877.23、596.57 km,说明在未来相当长的一段时期内,长江经济带旅游生态安全的空间分布格局在东西和南北方向均呈敛缩态势,空间溢出效应不明显。因此可以预见,在未来一段时间内旅游生态安全问题的解决仍主要依赖上海、江苏、浙江等旅游经济发达且环境容量较高的沿海省市,旅游生态安全空间均衡发展仍是未来长江经济带旅游业可持续发展需要面对的一大重要挑战。

### 3 结论与建议

本文基于 DPSIR 模型,构建了旅游生态安全评价指标体系,并借助熵权 TOPSIS 法、空间变差模型、标准差椭圆模型、灰色动态模型等方法对长江经济带 1998—2017 年旅游生态安全时空演化特征及发展趋势进行了深入探索,研究结果显示:

(1) 研究期内,长江经济带旅游生态安全水平平均值为 0.305,综合指数由 0.207 上升至 0.439,呈稳步提升态势,安全状态由较不安全级上升至临界安全级,表明旅游生态安全状态整体朝利好方向发展但仍具备较大的提升潜力和空间。三大分区中,东部地区旅游生态安全状况较好且提升速度较快,中西部地区安全指数相对较低,与东部地区仍有一定差距。

(2) 长江经济带旅游生态安全状态隶属于不安全级、较不安全级、临界安全级 3 个等级,尚未出现比较安全级和非常安全级的省市。同时,区域内处于不安全级和较不安全级的省市数量逐渐减少,而处于临界安全级的省市数量持续增加,目前整体正处于旅游生态安全水平由中低级向高级过渡的关键阶段。

(3) 旅游生态安全空间变异程度不断增强,由空间自相关引起的结构化分异逐渐减弱,而由随机成分引起的空间差异愈发显著。空间分异层次特征明显,整体上呈现出“东部>西部>中部”的空间演变格局,同时低值区域具有明显的西南迁移现象。

(4) 旅游生态安全空间分布格局呈东北-西南走向,移动路径呈“西北→东北→东南”变化趋势,空间分布范围经历了“分散-集聚”的过程。预测结果表明:2018—2030 年长江经济带旅游生态安全重心将向东北方向移动,空间分布上将进一步向“东北-西南”格局转变,分布格局在东西和南北方向上均呈敛缩态势,空间溢出效应不明显。

基于长江经济带旅游生态安全时空演变特征分析,提出以下建议:为全面改善全流域旅游生态安全状况,应打破行政壁垒,牢固树立生态共同体理念,充分考虑在旅游合作发展和旅游生态系统保护政策的区域协调性和一体化管理,构建跨区域、跨流域、跨部门的生态安全联防联控机制,建设全流域生态环境监测站与旅游信息监测系统,实现区域间旅游生态安全信息的有效沟通,以减少空间效应对旅游生态安全的制约和影响;创新东中西部共抓大保护路径,其中,东部地区应继续发挥地区资金和人才优势,着力提升环保科技创新水平,有效支撑旅游地生态环境保护与修复重点工作,充分彰显其在环境修复中的先行示范作用。中西部地区应积极从东部甚至国外引进先进的环保理念与污染治理技术,加强旅游生态环境保护宣传教育,严格执行负面清单管理,淘汰一批环境风险大的旅游企业,坚决兜住旅游生态安全底线;同时,全流域应以主体功能区规划为基础,对长江经济带旅游地生态环境展开全面普查,明确各地生态安全隐患及风险因素,采取差别化的保护策略,实现全流域精细化管理,以缩小省市之间的空间差异,将长江经济带真正打造成为极具国家安全价值与旅游价值的绿色生态廊道。

需要指出的是,囿于旅游业综合性较强且旅游统计工作涉及范围较窄,难以将旅游业直接引发的环境污染、能源消耗等方面的统计数据单独剥离出来,这将是今后完善旅游生态安全评价指标的重难点所在。同时,



图 8 长江经济带旅游生态安全空间格局预测

Fig. 8 The prediction of spatial pattern of tourism ecological security in the Yangtze River Economic Belt

安全评价标准设定是进行旅游生态安全状况评价的基础,如何根据旅游生态安全系统运行特点设定更加规范有效的评价机制,仍有待进一步探讨。今后随着旅游生态安全评价指标与评价标准的逐步完善,上述评价结果仍有待进一步改进。此外,鉴于数据的可获取性,本文基于省域角度揭示了长江经济带过去-现在-未来旅游生态安全的时空演化规律,所得结果可在一定程度为该区域实施卓有成效的旅游生态规划和可持续发展提供科学支撑和理论参考。但若能将研究靶向聚焦于市域、县域等更微观层面,所得结论或更为科学准确,这也是未来深化长江经济带旅游生态安全研究的重要方向。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] Qian J W, Shen H W, Law R. Research in sustainable tourism: a longitudinal study of articles between 2008 and 2017. *Sustainability*, 2018, 10 (3): 590.
- [ 2 ] Liu J, Zhang J F, Fu Z B. Tourism eco-efficiency of Chinese coastal cities-Analysis based on the DEA-Tobit model. *Ocean & Coastal Management*, 2017, 148: 164-170.
- [ 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. *旅游科学*, 2018, 32(6): 17-32.
- [ 4 ] 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.
- [ 5 ] 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.
- [ 6 ] 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.
- [ 7 ] 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.
- [ 8 ] 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.
- [ 9 ] 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.
- [ 10 ] Nie N, Wang H, Xiong J X. Research on tourism ecological security of lake in Dongting Lake. *Applied Mechanics and Materials*, 2011, 71-78: 2657-2660.
- [ 11 ] 时卉, 杨兆萍, 韩芳, 石天戈, 梁福明. 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.
- [ 12 ] 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.
- [ 13 ] Jun Y X, Zi H Y, Shan F C. Research on tourism economic development from the perspective of ecological security: a case study of Xi'an. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, 237(5): 052006.
- [ 14 ] 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.
- [ 15 ] 李细归, 吴黎, 吴清, 周勇. 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.
- [ 16 ] 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.
- [ 17 ] 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. *资源科学*, 2015, 37(12): 2350-2361.
- [ 18 ] Huang C Q, Peng H J. Evaluation index system of tourism ecological environment security of islet in river and it's application. *Advanced Materials Research*, 2013, 788: 379-382.
- [ 19 ] He G, Yu B H, Li S Z, Zhu Y N. Comprehensive evaluation of ecological security in mining area based on PSR-ANP-GRAY. *Environmental Technology*, 2018, 39(23): 3013-3019.
- [ 20 ] 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.
- [ 21 ] 黄烈佳, 杨鹏. 长江经济带土地生态安全时空演化特征及影响因素. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(8): 1780-1790.
- [ 22 ] 赵文力, 刘湘辉, 鲍丙飞, 向平安. 长株潭城市群生态安全评估研究. *经济地理*, 2019, 39(8): 200-206.
- [ 23 ] 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.
- [ 24 ] 李博, 秦欢, 余建辉, 刘倩倩. 中国省域旅游资源竞争力评价及其格局演变. *经济地理*, 2019, 39(9): 232-240.
- [ 25 ] 李国兵, 田亚平. 珠三角旅游资源竞争力与旅游业发展水平的效度分析. *经济地理*, 2019, 39(3): 218-224, 239-239.
- [ 26 ] 车磊, 白永平, 周亮, 汪凡, 纪学朋, 乔富伟. 中国绿色发展效率的空间特征及溢出分析. *地理科学*, 2018, 38(11): 1788-1798.
- [ 27 ] 张子昂, 黄震方, 曹芳东, 王坤, 陈晓艳. 浙江省县域入境旅游时空跃迁特征及驱动机制. *地理研究*, 2016, 35(6): 1177-1192.
- [ 28 ] 郑德凤, 郝帅, 孙才志, 吕乐婷. 中国大陆生态效率时空演化分析及其趋势预测. *地理研究*, 2018, 37(5): 1034-1046.
- [ 29 ] 盖美, 朱静敏, 孙才志, 孙康. 中国沿海地区海洋经济效率时空演化及影响因素分析. *资源科学*, 2018, 40(10): 1966-1979.
- [ 30 ] Wang Y N, Wei F F, Sun C Q, Li Q Z. The research of improved grey GM (1, 1) model to predict the postprandial glucose in type 2 diabetes. *BioMed Research International*, 2016, 2016: 6837052.