

# 长江中游城市群旅游生态效率空间网络结构演变及其效应<sup>1</sup>

黄冬春，王兆峰 \*

(湖南师范大学旅游学院，湖南长沙 410081)

**【摘要】：**将 DEA 窗口分析法与超效率 SBM 模型结合，测度分析 2011~2020 年长江中游城市群旅游生态效率动态变化，利用修正引力模型和社会网络分析方法研究旅游生态效率空间网络结构演变，最后采用面板数据回归模型分析其网络效应。研究结果表明：(1) 研究期间长江中游城市群旅游生态效率整体均值为 0.719，总体呈波动下降趋势，区域差异显著。(2) 整体网络密度和网络关系数分别波动上升至 0.1627 和 123，网络等级度和网络效率虽有小幅下降，但基本稳定在 0.2 和 0.8 左右，可见城市群旅游生态效率关联网络结构松散，具有一定层级特征，且溢出渠道不畅。(3) 武汉、长沙、南昌、孝感和宜春等城市的各项个体指标始终大于均值，在旅游生态效率关联网络中占据处于中心地位；常德、益阳、黄冈、宜昌、襄阳等城市各项个体指标始终低于均值且排名相对滞后，在网络中处于边缘位置。(4) 整体网络密度提升、网络等级度和网络效率降低有利于城市群整体旅游生态效率的提升，缩小区域差异；同时，个体网络中心性指标的上升对城市旅游生态效率具有显著促进作用。

**【关键词】：**旅游生态效率；DEA 窗口分析法；空间关联；网络效应；长江中游城市群

**【中图分类号】：**F293     **【文献标识码】：**A     **【文章编号】：**1004-8227(2023)11-2326-12

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj202311008

党的二十大报告重点强调，深入实施区域协调发展战略，统筹产业结构调整、污染治理和生态保护[1]，为加快旅游高质量发展和构建国土空间开发保护新格局提供逻辑遵循和实践指向。长江中游城市群作为我国跨区域旅游合作的重要地域单元[2]，2020 年旅游收入高达 15 002 亿元，约占地区生产总值的 32.69%，旅游业已成为城市群经济社会高质量发展和区域一体化的重要抓手。然而，旅游活动大规模、高强度的发展模式导致城市群资源短缺[3]、环境污染[4]、发展不协调[5,6]等问题显化，成为新时期长江中游城市群旅游深化协作的现实困境。旅游生态效率即在旅游产业发展过程中创造更多的经济价值，同时减少资源消耗与环境污染[7,8]，是评价区域旅游业高质量发展水平的关键指标。在旅游发展要素区域共享、旅游产业关联带动和旅游活动空间流动等多要素作用下，旅游生态效率的提升并非只关乎单个城市，而是存在空间溢出的外部性[9]。鉴于此，深入剖析长江中游城市群旅游生态效率空间网络结构演变及其效应，对于推进区域旅游高质量发展、生态环境联保共治具有重要的参考价值。

随着人们环保意识的不断增强和旅游业的快速发展，旅游业对生态环境的影响越来越引起关注，生态效率这一概念被引入旅游研究领域，即在保证旅游经济效益的同时，尽可能减少对生态环境的负面影响[10]。既有文献中旅游生态效率量化测度的研究方法包括指标体系法[11]、旅游碳足迹模型[12,13,14]和数据包络分析法[8,15,16]等。数据包络分析法可以处理旅游生态效率多

<sup>1</sup> 收稿日期：2023-03-10；修回日期：2023-04-27

基金项目：国家自然科学基金项目(41771162)

作者简介：黄冬春(1999~)，女，硕士研究生，主要研究方向为旅游地理与区域旅游经济。E-mail: 1628423585@qq.com

\* 通讯作者 E-mail: jdwzf@126.com

投入多产出的问题，因而在测度旅游生态效率研究中广泛应用。因传统 DEA 模型忽视非期望产出，且无法解决投入产出松驰性问题，故学者多倾向于采用 SBM-DEA[17]、超效率 SBM[18]、三阶段 DEA 模型[19]等改进后的模型。探究旅游生态效率空间关联关系是区域生态学和旅游地理学的研究重点[20]:省域层面上，吕洁华等[21]利用空间滞后变系数回归模型揭示中国旅游产业生态效率省际空间溢出效应显著。Liu 等[22]和 Wang 等[23]基于社会网络分析法揭示中国省域旅游生态效率空间关联关系呈典型的网络结构，程慧等[24]借助 QAP 分析法补充探究省域旅游生态效率网络的影响因素。市域层面上，杨玉珍等[25]利用空间杜宾模型发现黄河流域市域间旅游生态效率的空间溢出效应显著；Sun 等[20]以长三角城市群为研究对象，探究发现长三角城市群旅游生态效率的空间网络结构日益松散，随着网络联系强度的减弱，导致区域旅游生态效率显著下降。

通过文献梳理发现：已有研究常用的 DEA 改进模型采用截面数据进行表达，囿于不同年份决策单元的前沿面并不相同，其效率值在时间上不存在可比性，所测算的整体旅游生态效率也是相对静态的。同时旅游生态效率空间关联网络的研究内容多停留在空间结构的描述性特征和影响因素，研究尺度局限在全国省域[22,23,24]、发达城市群长三角城市群[20]等旅游地。基于此，尝试作出边际贡献如下：(1)研究尺度上，以典型跨区域旅游合作功能区长江中游城市群为考察对象，弥补现有研究对欠发达城市群空间协同作用关注不足的缺陷。(2)研究方法上，将超效率 SBM 模型和 DEA 窗口分析法结合，既考虑非期望产出的问题，又有效测度决策单元不同年份动态效率，使城市群旅游生态效率时序变化测算结果更为精准有效。(3)利用面板回归模型揭示长江中游城市群空间网络结构变化对旅游生态效率的影响效应，以丰富旅游生态效率的理论研究体系，为构建长江中游城市群旅游高质量发展新格局提供决策参考。

## 1 研究方法与数据来源

### 1.1 旅游生态效率测算

#### 1.1.1 旅游生态效率指标体系

遵循旅游生态效率的核心思想即以最少的旅游资源投入和环境代价，获得最大的旅游经济效益，集中体现旅游经济发展与资源环境利用的关系[10]。借鉴王胜鹏等[7]、林文凯等[15]、杨玉珍等[25]和刘佳等[26]学者研究，投入指标：以资源、资本和劳动力作为旅游投入指标。在传统经济意义上，土地和资本都是旅游业中重要的生产要素之一，但旅游土地利用数量难以准确衡量，因此在研究中通常会选取与旅游业紧密相关的资源要素进行代替，比如旅游景区、星级酒店和旅行社数量等指标[15,25,26]。而旅游业的资本要素，则通常使用旅游业固定资产投资进行衡量[7,27]。劳动力要素采用城市旅游从业人员进行考量[7,27]。产出指标：期望产出指标选择旅游总收入[15,26,27]和游客接待总量[7,15,25]两大最为直观的旅游经济效益产出指标；将旅游废水、废气和烟粉尘等污染排放物作为非期望产出指标[15,26]，鉴于缺少完整旅游环境污染的统计指标，故将旅游污染排放指标值均按旅游收入占 GDP 的比例进行分离，详见表 1。

表 1 旅游生态效率测算指标

类型	指标体系	具体指标	单位	计算方式
投入	资源	旅游景区	个	-
			个	-

	星级酒店		
	旅行社	个	-
资本	旅游固定资产投资	亿元	第三产业固定资产投资×旅游占比
劳动力	旅游从业人数	万人	第三产业从业人数×旅游占比
产出	旅游总收入	亿元	-
	游客接待总量	万人	-
产出	旅游废水排放量	万 t	旅游占比换算
	旅游 SO <sub>2</sub> 排放量	t	旅游占比换算
	旅游烟粉尘排放量	万 t	旅游占比换算

### 1.1.2 超效率 SBM 模型

旅游生态效率生产过程存在复杂的投入产出要素，采用超效率 SBM 模型既可以有效解决多投入多产出问题，考虑投入产出的松弛性，还可以测度包含非期望产出的效率值，以保证决策单元评价的准确性[25]，具体公式如下：

$$\begin{aligned}
\min \rho = & \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left( \frac{\bar{x}}{x_{ik}} \right)}{\frac{1}{r_1 + r_2} \left( \sum_{s=1}^{r_1} \frac{y_s^d}{y_{sk}^d} + \sum_{q=1}^{r_2} \frac{y_q^u}{y_{qk}^u} \right)} \\
& \left\{ \begin{array}{l} \bar{x} \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j; \quad y^d \leq \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{sj}^d \lambda_j \\ \bar{y}^d \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{qj}^d \lambda_j; \quad \bar{x} \geq x_k \\ \bar{y}^d \leq y_k^d; \quad \bar{y}^u \geq y_k^u; \\ \lambda_{ij} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n; \\ s = 1, 2, \dots, r_1; \quad q = 1, 2, \dots, r_2 \end{array} \right. \quad (1)
\end{aligned}$$

式中： $\rho$  代表旅游生态效率； $n$  代表决策单元； $m$ 、 $r_1$ 、 $r_2$  分别为城市旅游生态效率的投入、期望产出和非期望产出； $x$ 、 $y^d$ 、 $y^u$  则表示相应矩阵中的元素； $\lambda_{ij}$  为决策单元所占权重。

### 1.1.3 DEA 窗口分析法

DEA(数据包络分析)窗口分析法应用移动平均法原理来实现效率的跨时段测算。该方法以一定连续时间段作为一个窗口期，并选取其中的所有决策单元作为参考集。通过比较同一时间段内不同决策单元间，以及不同时间段内相同决策单元间的效率变化，来反映效率的动态变化[28]。在确定窗口宽度  $d$  时，Charnes 等学者认为，当  $d=3$  或  $4$  时效率测度最为可信且稳定[29]。因此，本文将  $3$  作为 DEA 窗口分析法的窗口宽度，根据决策单元各个时点上的效率均值得出最终可比较的效率值，计算过程详见参考文献[30]。

## 1.2 旅游生态效率空间网络构建

旅游是流动现象中最具代表性且显著的类型之一。旅游业的特性决定了旅游生态效率的投入要素具有高度流动性，而生态环境基础也存在显著地理差异，因此旅游生态效率在不同区域间会产生明显的空间关系[21]。根据流动空间理论[31]，城市旅游生态效率空间关联是指旅游生态要素及其溢出在不同城市之间动态流动所产生的地理空间上的联结关系。同时，根据城市空间相互作用理论[32]，城市旅游生态效率关联网络则是包含多种要素及要素间交互关系的复杂系统，其复杂性主要体现在主体要素多元化、层次结构差异化与交互关系抽象化[35]。各要素间的交互关系是导致旅游生态效率网络结构复杂的关键。

### 1.2.1 修正引力模型

空间关联矩阵的构建是社会网络理论与方法应用的基础，诸多文献表明，引力模型是量化测度区域旅游生态效率空间关联强度，构建空间关联矩阵的有效方法[20,22,24]。引力模型可以有效反映某属性值随地理空间距离衰减的变化特征。新经济地理学理论认为地理空间距离是导致旅游生态效率溢出效应持续衰减的关键因素[21,25]，这也与经济引力理论相吻合。经济增长提升城市旅游生态效率的同时，也会导致城市旅游污染排放向周边城市转移，即对周边城市旅游生态效率产生负向溢出效应[21]。因此，参考刘佳等[33]和程慧等[24]学者的研究，引入考虑经济地理距离的修正引力模型，以 GDP 构建引力系数，从而测度长江中游城市群旅游生态效率的空间关联强度，具体计算公式如下：

$$\begin{aligned}
F_{ij} &= K_{ij} \frac{N_i N_j}{D_{ij}^2}, \quad K_{ij} = \frac{G_i}{G_i + G_j}, \\
D_{ij}^2 &= \left( \frac{d_{ij}}{g_i - g_j} \right)^2
\end{aligned} \tag{2}$$

式中:  $F_{ij}$  为长江中游城市群城市旅游生态效率联系强度;  $K_{ij}$  为引力系数;  $N$  为城市旅游生态效率;  $d_{ij}$  为城市间的最短时间距离;  $G$  和  $g$  分别表示城市 GDP 和人均 GDP。为了更好地比较城市间联系强度, 借鉴已有研究[33,34], 将矩阵各行数据的均值作为阈值, 并对矩阵进行二值化处理: 若联系强度大于阈值, 则赋值 1, 表示城市间存在旅游生态效率联系, 反之则赋值 0, 表示不存在联系。

### 1.2.2 社会网络分析方法

社会网络分析方法可以精确量化社会主体间各种网络关系, 并将网络拓扑结构进行可视化处理[34], 那么, 城市旅游生态效率关联网络中的一个“节点”可表示城市群中的一个城市, 节点之间的“线”可表示城市间旅游生态效率的空间相关性, 对分析城市旅游生态效率关联网络特征具有良好的适用性。同时, 社会网络分析是通过对社会关系、社会结构而不是属性的分析, 研究关系结构对群体功能或个体的影响[35]。借鉴社会网络分析中网络关系数、网络密度、网络效率和网络等级度等指标, 探究长江中游城市群旅游生态效率空间关联网络的整体特征; 利用度数中心度、中间中心度和接近中心度指标, 以分析各节点城市在城市群旅游生态效率网络中的地位和作用, 相关指标公式见参考文献[33]。

### 1.3 研究区域与数据来源

本文研究对象为长江中游城市群 28 个城市, 由于仙桃、潜江和天门 3 个城市缺乏数据, 故剔除。2011 年以前的旅游景区、旅行社和星级酒店数据缺失较多, 故选取 2011~2020 年期间数据作为旅游生态效率的研究样本。(1)旅游生态效率投入产出指标数据主要来源于湘赣鄂三省及各城市对应年份的统计年鉴及国民经济和社会发展统计公报。部分旅游景区数据来自国家文化和旅游部、各市级文化和旅游部官方网站等, 少数缺失值采用插值法补充完整。(2)城市间最短时间距离来自高德地图中最短出行时间。

## 2 实证结果与分析

### 2.1 长江中游城市群旅游生态效率动态变化

基于 MaxDEA Ultra 8 软件, 采用超效率 SBM 窗口模型测度 2011~2020 年长江中游城市群各城市旅游生态效率, 结果如表 2 所示。从整体上看, 长江中游城市群旅游生态效率处于较低水平, 各年份平均值始终位于生产前沿面以下。年度效率平均值由 2011 年的 0.8 下降至 2020 年的 0.694, 总体呈下降趋势。说明在城市群旅游产业发展过程中仍然存在较大的旅游资源要素闲置、生态破坏等问题, 造成产出不足, 需要积极优化旅游产业结构, 引进先进技术和高素质人才, 提高资源利用效率, 推动旅游产业绿色低碳发展。从城市尺度来看, 城市间旅游生态效率值差异显著, 新余、九江、鹰潭、武汉、衡阳等城市的旅游生态效率较高, 其效率均值大于 1 或接近生产前沿面, 主要在于这些城市旅游资源较为丰富, 产业发展基础较好, 拥有较高游客接待能力和环境治理技术, 旅游发展对生态环境负面影响较小。而鄂州、抚州、南昌、孝感等城市旅游生态效率较低, 其效率均值仅约 0.5, 结合相关数据, 这些城市一味追求旅游经济产出增长, 劳动、资本和资源等要素投入过大, 未考虑资源有限性和生态环境破坏等问题, 存在投入冗余、产出不足, 导致旅游生态效率较低。

表2 2011~2020年旅游生态效率值

城市	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	均值	排名
武汉市	0.853	1.006	1.030	1.043	0.991	0.949	0.941	0.987	1.105	1.012	0.992	4
黄石市	1.008	1.012	0.953	0.803	0.672	0.617	0.643	0.664	0.627	0.656	0.666	5
宜昌市	0.712	0.738	0.744	0.736	0.712	0.736	0.678	0.675	0.682	0.618	0.603	2
襄阳市	0.902	0.916	1.041	1.019	0.822	0.756	0.716	0.706	0.692	0.622	0.619	1
鄂州市	0.556	0.569	0.542	0.581	0.519	0.473	0.471	0.482	0.521	0.445	0.416	8
荆门市	0.601	0.662	0.647	0.621	0.610	0.607	0.61	0.640	0.635	0.692	0.603	4
孝感	0.710	0.725	0.718	0.695	0.569	0.572	0.558	0.527	0.540	0.498	0.491	5

市													
荆 州 市	20	0.7 40	0.8 54	0.7 26	0.7 95	0.7 15	0.7 80	0.7 73	0.7 45	0.7 08	0.5 35	0.7 8	1
黄 冈 市	05	0.7 74	0.8 15	0.6 33	0.7 75	0.5 23	0.7 24	0.6 59	0.5 24	0.6 34	0.5 56	0.6 3	2
咸 宁 市	61	1.1 16	0.6 66	0.5 85	0.5 70	0.5 76	0.6 15	0.6 55	0.7 74	0.7 20	0.7 84	0.6 1	2
长 沙 市	62	0.7 79	0.7 99	0.7 86	0.7 61	0.7 98	0.9 37	0.9 19	0.8 12	0.7 42	0.8 10	0.8 2	1
株 洲 市	15	0.8 46	0.8 89	0.7 49	0.7 54	0.7 03	0.8 59	0.7 30	0.7 67	1.0 50	0.8 06	0.8 4	1
湘潭 市	35	0.8 32	0.8 75	0.8 67	0.8 52	0.9 46	0.8 96	0.8 72	0.7 39	1.0 07	0.8 72	0.8 0	1
衡 阳 市	17	1.0 42	1.0 39	1.0 57	0.9 40	1.0 55	0.9 85	0.9 28	0.9 05	1.0 1	0.91 88	0.9 88	5

岳阳市	67	0.8 19	1.0 15	1.0 29	1.0 45	0.9 26	1.0 50	1.0 74	0.9 29	1.0 21	0.8 78	0.9 78	6
常德市	31	1.0 29	1.0 19	1.0 14	1.0 15	1.0 12	0.9 79	0.8 68	0.8 06	0.6 97	0.6 47	0.9 47	8
益阳市	56	0.6 09	0.7 93	0.6 25	0.7 08	0.7 31	0.8 33	0.7 29	0.7 22	0.7 83	0.6 19	0.7 19	1 9
娄底市	24	0.8 68	0.8 30	0.8 98	0.7 66	1.1 74	0.9 74	0.9 84	0.8 77	1.1 62	0.8 36	0.9 36	9
南昌市	15	0.5 53	0.5 58	0.5 14	0.5 70	0.5 01	0.6 37	0.6 42	0.6 71	0.6 96	0.4 76	0.5 6	2
景德镇市	99	0.5 28	0.6 44	0.6 62	0.6 69	0.6 06	0.7 76	0.6 29	0.7 45	0.7 17	0.5 58	0.6 2	2
萍乡市	42	0.6 52	0.7 07	0.8 49	0.8 85	0.7 12	0.8 63	0.9 41	0.9 45	1.0 85	0.4 08	0.8 3	1
九江	37	0.8 14	1.0 24	1.1 85	1.0 75	1.0 50	1.0 67	0.9 74	1.0 79	1.0 73	0.7 08	1.0 08	2

市														
新余市	22	1.0 41	1.0 08	1.2 61	1.1 56	1.0 61	1.0 56	1.1 7	1.11 4	1.11 65	1.0 00	1.1 1		
鹰潭市	00	1.0 41	1.0 95	1.1 99	0.9 88	1.0 58	1.0 51	0.9 88	0.8 65	1.0 92	0.7 08	1.0 3		
吉安市	92	0.6 08	0.7 17	0.7 39	0.6 42	0.7 85	0.8 01	0.7 23	0.7 16	1.0 10	0.7 53	0.7 7	1	
宜春市	02	0.6 98	0.6 14	0.7 35	0.7 76	0.6 04	0.7 79	0.7 36	0.8 07	1.0 39	0.8 59	0.7 6	1	
抚州市	29	0.7 83	0.6 23	0.6 1	0.51 22	0.5 59	0.5 71	0.5 08	0.5 28	0.5 01	0.5 74	0.5 7	2	
上饶市	21	1.0 97	0.9 83	0.9 42	0.9 17	0.9 62	0.9 59	1.0 07	1.0 35	1.0 58	0.6 58	0.9 7		
均值	00	0.8 28	0.8 27	0.8 02	0.8 92	0.7 02	0.8 00	0.8 83	0.7 43	0.8 94	0.6 97	0.7 7		

## 2.2 长江中游城市群旅游生态效率空间关联网络结构

### 2.2.1 整体网络结构特征

选取 2011、2015、2020 年 3 个不同时间截面，借助 Ucinet 软件中的 NetDraw 程序绘制长江中游城市群旅游生态效率空间网络图(图 1)。根据图 1,空间网络中的节点代表了长江中游城市群 28 个城市，这些节点之间的连线和箭头方向表示了城市旅游生态效率之间的空间相关性及其溢出方向。长江中游城市群中非邻近城市，如武汉、南昌、长沙等省会城市彼此间存在密集的连线和箭头，说明非邻近城市间存在互动关系，突破传统地理学意义上的邻近空间关联限制。同时从整体看，各个城市间旅游生态效率联系方向多元和线路纵轴交错，城市整体空间关联关系形成复杂、稠密的网络结构形态。

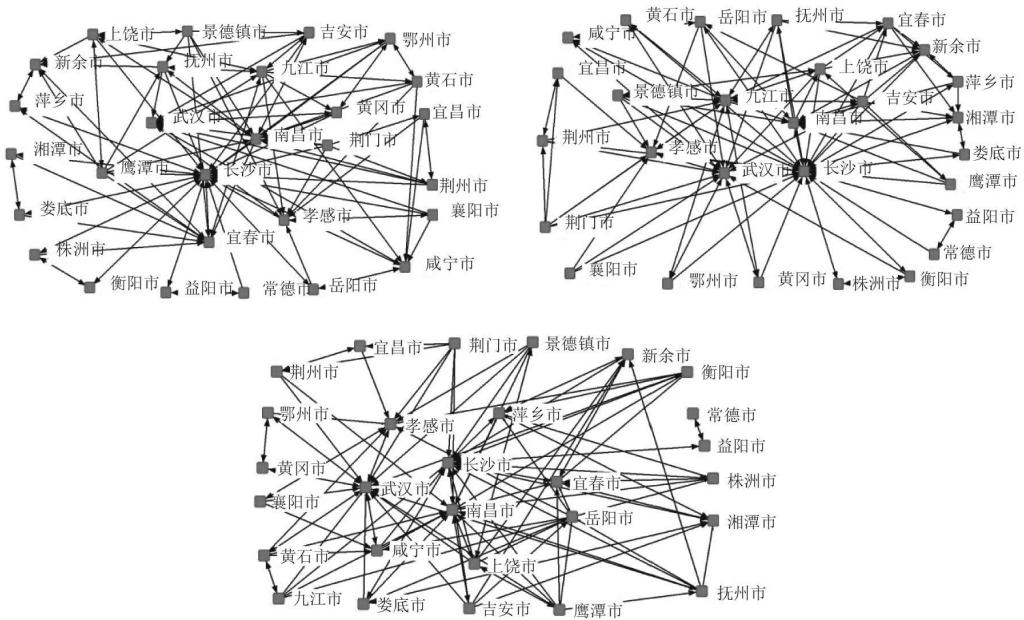


图 1 2011、2015、2020 年旅游生态效率空间关联网络

为充分把握长江中游城市群整体网络特征，本文进一步从网络密度、网络效率、网络等级度和网络关系数 4 个指标值的变化加以考察分析(图 2)。(1)网络密度。总体来看，样本期内长江中游城市群整体网络密度由 2011 年的 0.158 7 波动上升至 2020 年的 0.162 7,上升幅度较小，与最佳网络密度 1 相比，至少存在 83% 的提升空间，说明长江中游城市群旅游生态效率空间关联关系发展缓慢，网络结构稀疏松散。(2)网络等级度。2011~2014 年网络等级度稳定在 0.203 7,2015~2018 年上升至 0.315 4,2020 年下降至 0.203 7,这一结果表明长江中游城市群旅游生态效率空间关联网络存在一定的层级特征。(3)网络效率。样本期内网络效率基本呈下降趋势，2011 年为 0.837 6,2020 年为 0.826 2,存在小幅波动下降趋势，说明城市间旅游生态效率有效连线增加，但数值较大，在空间网络中存在较多冗余关系数和叠加的溢出渠道。(4)网络关系数。样本期内网络关系数波动上升，至 2020 年达 123 个关系数，但是和最大可能关系数(756 个)存在很大差距，同时网络关联度始终为 1,说明研究区旅游生态效率联系存在一定的空间关联关系和溢出效应，但整体联系数量太少。

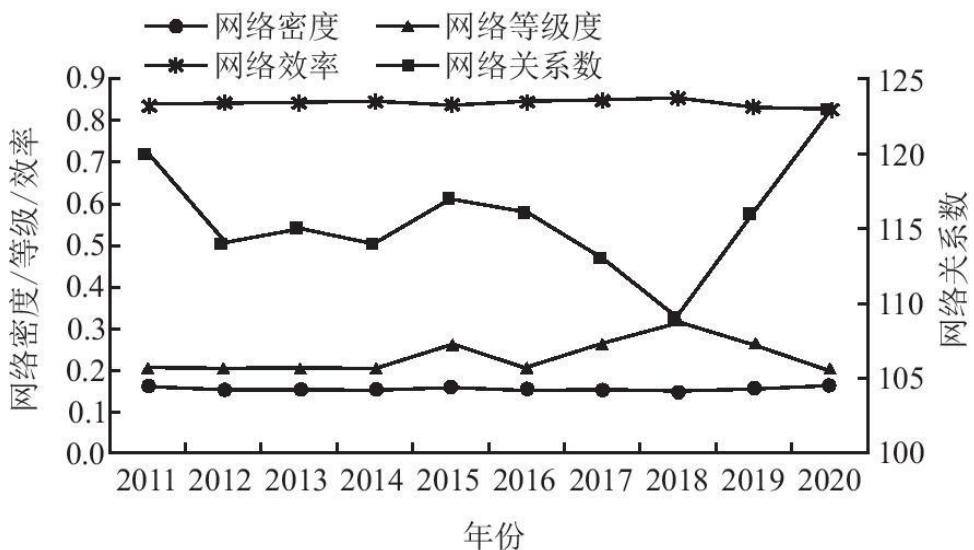


图 2 2011~2020 年旅游生态效率整体网络结构指标

### 2.2.2 个体网络结构特征

为考察各城市在旅游生态效率空间关联网络中的地位及其演变趋势，本文对长江中游城市群 28 个城市旅游生态效率个体中心度进行测度，结果如表 3 所示。

表 3 旅游生态效率网络中心度

城 市	2011 年			2015 年			2020 年		
	度数中心度	接近中心度	中间中心度	度数中心度	接近中心度	中间中心度	度数中心度	接近中心度	中间中心度
武汉市	37.037	62.943	4.318	51.852	61.364	9.601	59.259	64.286	22.672
黄石市	22.222	48.214	0.645	11.111	51.923	0.224	18.519	50.000	0.462
宜昌市	14.815	40.909	0.338	11.111	39.130	0.057	11.111	40.299	0.109

襄阳市	14.815	52.941	0.323	11.111	52.941	0.086	11.111	45.763	0.103
鄂州市	22.222	54.000	1.125	11.111	51.923	0.224	11.111	42.857	0.254
荆门市	22.222	55.102	1.792	22.222	56.250	2.223	22.222	55.102	4.811
孝感市	33.333	58.696	5.831	29.630	58.696	4.055	33.333	54.000	6.990
荆州市	18.519	52.941	1.639	18.519	55.102	2.166	14.815	48.214	1.107
黄冈市	18.519	52.941	0.579	11.111	51.923	0.224	7.407	40.299	0.000
咸宁市	25.926	55.102	3.476	14.815	52.941	0.295	22.222	54.000	3.205
长沙市	77.778	81.818	49.393	88.889	90.000	51.355	59.259	67.500	25.237
株洲市	11.111	50.000	0.252	7.407	50.000	0.000	18.519	48.214	0.235
湘潭市	11.111	50.000	0.000	22.222	55.102	0.450	22.222	48.214	0.563
衡阳市	7.407	46.552	0.000	11.111	50.943	0.371	22.222	55.102	2.805
岳阳市	11.111	51.923	0.056	22.222	56.250	0.641	40.741	56.250	5.872

常德市	7.407	46.552	0.000	7.407	49.091	0.000	3.704	30.000	0.000
益阳市	7.407	46.552	0.000	7.407	49.091	0.000	7.407	42.188	1.263
娄底市	11.111	50.000	0.000	11.111	50.943	0.000	18.519	52.941	1.572
南昌市	44.444	64.286	7.002	44.444	62.791	4.355	55.556	61.364	12.026
景德镇市	22.222	51.923	0.961	22.222	56.250	0.512	18.519	54.000	1.035
萍乡市	11.111	50.000	0.401	18.519	52.941	0.093	25.926	51.923	1.247
九江市	37.037	56.250	4.681	48.148	60.000	1.009	18.519	52.941	1.208
新余市	22.222	43.548	0.989	25.926	56.250	0.404	22.222	48.214	0.539
鹰潭市	25.926	56.250	1.071	14.815	52.941	0.041	25.926	55.102	1.194
吉安市	22.222	55.102	2.182	33.333	58.696	2.069	22.222	54.000	1.951
宜春市	37.037	58.696	6.771	29.630	57.447	7.382	29.630	52.941	7.407
抚州市	25.926	56.250	2.557	22.222	55.102	0.610	25.926	55.102	2.117

上饶市	22.222	54.000	1.343	29.630	57.447	1.299	25.926	55.102	1.707
均值	23.016	53.696	3.490	23.545	55.481	3.205	24.074	51.283	3.846

(1)度数中心度。

2011~2020年，长江中游城市群旅游生态效率度数中心度均值由23.016提升至24.074，超过均值的节点由9个增加至10个，发挥影响力的网络节点增多。但总体上约有64%的城市度数中心度低于均值，表明旅游生态效率的城市间合作关系数量较少，旅游绿色资源要素的相互间溢出渠道不畅。其中，武汉、长沙、南昌、孝感和宜春5个城市的度数中心度始终高于均值，在旅游生态效率空间关联网络中处于核心主导地位。究其原因，这些城市主要为省会城市及其邻近旅游发展基础较好的城市，拥有较为完善的旅游服务设施、交通网络和政策红利，有效吸收其他城市旅游绿色资源要素，与其他节点保持广泛空间关联关系。而常德、益阳、黄冈、宜昌、襄阳等城市度数中心度始终低于均值，且排名相对滞后，大多处于关联网络的边缘位置。

(2)接近中心度。

2011~2020年，长江中游城市群旅游生态效率空间网络接近中心度高于均值的城市从11个增加到17个，说明城市群各节点城市在旅游生态效率的空间关联网络中联系更为便利，旅游资源要素流动成本减小，空间联系更为密切。与度数中心度结果相似，武汉、长沙、南昌、孝感、宜春等5个城市始终大于均值，在旅游生态效率空间网络中扮演“中心行动者”角色。常德、益阳、黄冈、襄阳、宜昌等城市接近中心度始终低于均值且居于末尾，受地理位置、旅游经济基础以及交通网络等因素限制，在网络中处于扮演“边缘行动者”的角色。

(3)中间中心度。

2011~2020年，中介中心度高于均值的城市由6个增加至7个，总体上约75%的城市低于均值，大部分城市在旅游生态效率空间网络中并未发挥明显的中介作用。相较于度数中心度和接近中心度，中间中心度非均衡分布特征明显。仅少部分城市能够在网络中发挥旅游绿色资源要素的转移中介作用，其中长沙、武汉、南昌、孝感、宜春5个城市始终高于均值，在接收其他城市旅游资源要素供应时，也对其他城市产生旅游资金、技术等方面的溢出效应，是关联网络中典型的“桥梁”角色。常德、益阳、襄阳、宜昌、黄冈等城市中间中心度始终低于均值且排名靠后，在网络中对其他城市的控制和支配作用较弱。

### 2.3 长江中游城市群旅游生态效率空间关联网络结构效应分析

在刻画与分析长江中游城市群旅游生态效率空间关联网络结构特征的基础上，从整体网络和城市个体网络两个维度实证考察空间网络对城市群旅游生态效率的存在何种影响效应。参照刘华军[34]的做法，分别以长江中游城市群旅游生态效率均值及其标准差作为被解释变量，以整体网络结构特征指标即网络密度、网络等级度和网络效率为解释变量，依次采取OLS回归分析。为消除量纲对回归结果的影响，所有变量数值均取对数处理。如表4所示，所有回归系数均在1%水平上显著，R<sup>2</sup>均大于0.6，表明以下模型拟合效果良好。

表4 整体网络效应回归结果

被解释变量	旅游生态效率			旅游生态效率标准差		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
常数项	-1.807***	-0.183**	0.134***	-0.969**	-1.585***	-2.165***
网络密度	0.841***			0.389***		
网络等级度		-0.030***			-0.077***	
网络效率			-2.093***			-2.695***
R2	0.627	0.685	0.714	0.628	0.727	0.686

### 2.3.1 整体网络效应分析

(1)由模型(1)~(3)回归结果可知,网络密度回归系数显著为正(0.841),网络等级度和网络效率回归系数显著为负(-0.03、-2.093),表明合理提升网络密度的提升和降低网络等级度、网络效率有助于显著提升长江中游城市群旅游生态效率水平,推动旅游绿色转型发展。究其原因,一是网络密度的提升,意味着长江中游城市群各城市间的旅游生态效率关联关系增多,不断加强旅游生态效率空间关联,核心城市获得更多溢出渠道,提升边缘地区城市旅游生态效率,进而促进城市群旅游生态效率整体提升;二是网络等级度的降低利于弱化城市间行政壁垒,促使更多城市旅游生态效率所需资源要素进行流动与交互,先前处于网络边缘位置的城市逐步转向双向关联,增加边缘位置城市旅游绿色资源要素获取的能力,提高城市群整体旅游生态效率水平;三是网络效率的降低意味着旅游生态效率空间联系更为紧密,促进城市间旅游生产要素互联互通、优势互补,空间关联网络更加稳定,各城市旅游产业发展从中获益,稳步推进,进而提升整体旅游生态效率水平。

(2)由模型(4)~(6)回归结果可知,网络密度回归系数显著为正(0.389),而网络等级度和网络效率的回归系数显著为负(-0.077、-2.695),与模型(1)~(3)的作用方向相似,即网络密度的提升、网络等级度和网络效率的降低有助于缩小城市间旅游生态效率差异,提高旅游绿色发展资源要素分配的空间公平性,因此强化旅游生态效率空间关联和优化网络结构是推动长江中游城市群旅游产业绿色发展的重要驱动机制。原因在于:一是网络密度的提升增加城市群整体旅游生态效率网络的关系数,扩大整体网络结构对各城市旅游生态效率的影响,有效抑制城市群旅游生态效率极化现象,缩小空间差异;二是网络等级度降低促使各城市在旅

游生态效率关联网络中的地位与话语权差距缩小，原来被支配或从属地位的城市逐渐增强对技术、人才等重要资源的控制力，从等级结构弱化的旅游生态效率网络中获益；三是网络效率的降低，利于增加旅游生态效率网络中有效连线，促进旅游生态效率所需资源要素自由流动，提高资源分配空间公平性，缩小城市间旅游生态效率差异。

### 2.3.2 个体网络效应分析

被解释变量是研究区 28 个城市的旅游生态效率值，解释变量是个体网络结构中心性指标。少数城市中间中心度为 0,剔除该部分数据，再进行回归。据此构建面板回归模型，根据 Hausman 检验结果，模型(7)~(9)均采用随机效应模型。据表 5 显示，以下 3 个模型回归系数均至少在 5% 水平上显著为正，且 R<sup>2</sup> 均大于 0.5,说明模型拟合效果较好。具体来看，度数中心度每提高 1%，长江中游城市群市域旅游生态效率提高 0.052 个百分点，度数中心度越高，各城市在旅游生态效率空间关联网络中与其他城市关联越广泛，局部关联性越强，个体城市越能从整体网络中受益，从而提升其旅游生态效率。中间中心度每提高 1%，长江中游城市群市域旅游生态效率提高 0.015 个百分点，中间中心度较高的城市对旅游生态效率联系的方向具有较强的支配和控制力，既可以强化对其他城市的溢出效应，也可以进一步接受来自其他城市的溢出份额，增强自身旅游生态效率水平。接近中心度每提高 1%，长江中游城市群市域旅游生态安全联系强度则提高 0.429 个百分比，接近中心度提高可以增强城市间依赖关系，旅游生态效率所需资源要素获取成本大幅度降低，旅游生态效率稳步提升。

表 5 个体网络效应回归结果

模型	(7)	(8)	(9)
常数项	-0.405**	-0.253***	-1.960***
度数中心度	0.052**		
中间中心度		0.015**	
接近中心度			0.429***
Wald	2.86*	0.23***	14.59***
R <sup>2</sup>	0.612	0.619	0.558

Hausman 统计量	0.28	0.41	1.06
FE/RE	RE	RE	RE

### 3 结论与讨论

#### 3.1 研究结论

本文引入超效率 SBM 窗口模型对 2011~2020 年长江中游城市群旅游生态效率科学测度，继而利用修正引力模型和社会网络分析方法探究旅游生态效率空间关联网络结构演变，同时利用 OLS 回归进一步探究其网络效应，主要结论如下：

(1)研究期间，长江中游城市群旅游生态效率各年份均值为 0.797，始终低于生产前沿面。由 2011 年的 0.8 下降至 2020 年的 0.694，总体呈下降趋势。各城市旅游生态效率值差异显著，新余、九江、鹰潭、武汉、衡阳等城市的旅游生态效率均值大于 1 或接近生产前沿面，鄂州、抚州、南昌、孝感、荆门等城市旅游生态效率均值仅约 0.5，距生产前沿面存在较大提升空间。

(2)从整体网络结构特征来看，长江中游城市群旅游生态效率空间关联网络密度和网络关系数呈小幅上升趋势，分别上升至 0.162 7 和 123，网络等级度和网络效率小幅下降，但基本稳定在 0.2 和 0.8 左右，可见样本期内城市群内旅游生态效率关联网络结构松散，具有一定层级特征，且存在较多冗余关系和叠加溢出渠道，有待进一步优化。

(3)从个体网络结构特征来看，除了接近中心度，城市度数中心度和中间中心度均存在非均衡分布特征，中间中心度最为显著。武汉、长沙、南昌、孝感和宜春等城市的各项个体指标始终大于均值，在旅游生态效率关联网络中占据处于中心地位；常德、益阳、黄冈、宜昌、襄阳等城市各项个体指标始终低于均值且排名相对滞后，在网络中处于边缘位置。

(4)网络效应分析显示，整体网络密度的提高、网络等级度和网络效率的降低有助于提升长江中游城市群整体旅游生态效率，缩小区域差异。个体网络中心性指标的度数中心度、中间中心度和接近中心度的增加对旅游生态效率提升具有显著促进作用。

#### 3.2 政策启示

根据研究结论，为构建长江中游城市群旅游高质量发展新格局提出以下政策建议：(1)重视城市群旅游生态效率的空间关联关系，发挥政府与市场对旅游资源要素调控与分配作用，加快建成旅游绿色资源要素的自由流动机制，创造更多旅游生态效率关联渠道，发挥一体化对旅游生态效率提升的优势。(2)处于网络主导地位的城市应利用自身优势，加快整合资本和劳动生产要素，形成区域规模效应，研发与推广节能减排技术，优化能源消费结构，推动旅游绿色健康发展；处于网络边缘位置的城市应积极引入高素质人才与先进技术，政府可给予经济补贴，减少旅游环境治理压力，同时加强与其他城市旅游合作，从互动关联中获益，促进城市群整体旅游生态效率提升。(3)优化调整城市群旅游生态效率空间关联网络结构，发挥整体网络结构和城市节点属性对旅游生态效率的正向效应，进一步实现旅游绿色资源要素分配的空间公平，为推动城市群旅游协调可持续发展提供重要驱动机制。

### 3.3 讨论

本文采用超效率 SBM 窗口模型拓展了旅游生态效率测度方法，弥补了以往研究基于改进 DEA 模型测算的效率结果相对静态的缺陷[17,18,19]，使旅游生态效率动态演变分析结果更加准确。其次，以长江中游城市群为研究对象，探究城市旅游生态效率的空间关联网络结构，弥补已有研究对欠发达城市群空间协同作用关注不足的缺陷。同时，相较于传统的探索性空间数据分析，社会网络分析方法通过城市间两两相互影响的“关系数据”，而不是单个城市独立存在的“属性数据”[34]，刻画和分析城市群跨区域旅游生态效率空间关联关系，既是对城市空间相互作用理论的回应[31]，也是对区域旅游“流”空间网络研究领域的延伸[2,36]。最后，相较于既有研究多停留在旅游生态效率空间网络结构的描述性特征[20,22]和影响因素[24]方面，本文利用面板数据回归补充揭示城市网络结构变化对旅游生态效率的影响效应，丰富了城市群空间网络理论体系，为长江中游城市群实现旅游高质量发展、生态环境联保共治提供理论依据和针对性建议。

诚然，本文仍存在以下不足：(1)囿于城市旅游数据的可获取性，采用旅游占比换算的城市环境污染数据作为非期望产出，旅游生态效率投入产出指标体系存在一定局限性。后续可结合旅游夜间灯光数据、卫星遥感影像数据、污染监测站点数据等新型旅游大数据，进一步提升旅游生态效率综合评价的科学性、精准性；(2)本文仅探究了城市群旅游生态效率空间关联网络的内部结构，未来可以考虑其与城市群外部城市旅游生态效率的关联关系，进一步丰富城市群空间网络理论体系。(3)本研究分析了长江中游城市群旅游生态效率空间网络自身属性对城市旅游生态效率的影响，但未涉及对城市群旅游生态效率影响因素的探讨。以上问题均有待在后续研究中补充完善。

### 参考文献：

[1]习近平.高举中国特色社会主义伟大旗帜为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告[J].前线,2022( 11 ) : 4-28.

XI J P. Hold High the Great Banner of Socialism with Chinese Characteristics and Work in Unity for the Comprehensive Construction of a Socialist Modernized Country : Report on the 20th National Congress of the CPC[ J ]. The Front Line, 2022( 11 ): 4-28.

[2 ]王凯,甘畅,杨亚萍,等.长江中游城市群市域旅游经济网络结构演变及其驱动因素[J].地理与地理信息科学, 2019, 35(5) : 118-125.

WANG K, GAN C, YANG Y P, et al. Evolution and driving factors of urban tourism economic network structure in urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River[ J ]. Geography and Geo-Information Science, 2019, 35 ( 5 ) : 118 -125.

[3 ]刘庆芳,王兆峰.长江中游城市群旅游经济发展和生态环境压力耦合与解耦态势[J].地理与地理信息科学, 2021, 37(2) : 128-134.

LIU Q F, WANG Z F. Coupling and decoupling situation of tourism economic development and ecological environment pressure of urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River [ J ]. Geography and Geo-Information Science, 2021 , 37 ( 2 ) : 128- 134.

[4 ]王兆峰,孙姚.长江中游城市群旅游产业集聚对生态效率影响及区域差异分析[J].长江流域资源与环境, 2021, 30(4) : 796-807.

WANG Z F, SUN Y. Analysis on the impact of tourism industry agglomeration on ecological efficiency and it's regional differences

---

of urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River [ J ] . Resources and Environment in the Yangtze River Basin, 2021, 30( 4 ) : 796-807.

[5] 王兆峰, 王梓瑛. 长江中游城市群环境规制对旅游产业生态效率的影响及空间分异研究[J]. 生态学报, 2021, 41 ( 10 ) : 3917-3928.

WANG Z F, WANG Z Y. The impact of environmental regulation on ecological efficiency of tourism industry and its spatial differentiation: Taking the urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River As an example [J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41( 10 ) : 3917-3928.

[6] 崔树强, 朱佩娟, 吴小双, 等. 长江中游城市群旅游协同演化及影响因素研究[J]. 中南林业科技大学学报(社会科 学版), 2018, 12(1) : 65-74.

CUI X Q, ZHU P J, WU X S, et al. Study on the Cooperative Evolution and Influencing Factors of Urban Agglomeration in the Middle Reaches of Yangtze River [ J ] . Journal of Central South University of Forestry & Technology ( Social Sciences ), 2018, 12(1): 65-74.

[7] 王胜鹏, 乔花芳, 冯娟, 等. 黄河流域旅游生态效率时空演化及其与旅游经济互动响应[J]. 经济地理, 2020, 40(5) : 81-89.

WANG S P , QIAO H F, FENG J , et al. The spatio-temporal evolution of tourism eco-efficiency in the Yellow River Basin and its interactive response with tourism economy development level [J]. Economic Geography, 2020, 40(5) : 81-89.

[8] 王兆峰, 刘庆芳. 长江经济带旅游生态效率时空演变及其与旅游经济互动响应[J]. 自然资源学报, 2019, 34(9): 1945- 1961 .

WANG Z F, LIU Q F. The spatio-temporal evolution of tourism eco-efficiencyin the Yangtze River Economic Belt and its interactiveresponse with tourism economy [ J ]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(9) : 1945 - 1961.

[9] 童昀, 刘海猛, 马勇, 等. 中国旅游经济对城市绿色发展的影响及空间溢出效应[J]. 地理学报, 2021, 76 (10) : 2504-2521.

TONG Y, LIU H M, MA Y, et al. The influence and spatial spillover effects of tourism economy on urban green development in China [ J ] . Acta Geographica Sinica, 2021 , 76 ( 10 ): 2504-2521 .

[10] GOSSLING S, PEETERS P, CERON J P, et al. The ecoefficiency of tourism [ J ] . Ecological Economics, 2005, 54 (4) : 417-434.

[11] 姚治国, 陈田. 旅游生态效率模型及其实证研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25( 11): 113-120.

YAO Z G, CHEN T. Tourism eco-efficiency model and an empirical research [ J ] . China Population, Resources and Environment, 2015, 25( 11 ) : 113-120.

[12] 肖建红, 于爱芬, 王敏. 旅游过程碳足迹评估——以舟山群岛为例[J]. 旅游科学, 2011, 25(4) : 58-66.

XIAO J H, YU A F, WANG M. Carbon footprint evaluation in Tours: A case study of Zhoushan Islands [ J ] . Tourism Science, 2011,

---

25(4) : 58-66.

[13] 章锦河, 张 捷, 梁玥琳, 等.九寨沟旅游生态足迹与生态补偿分析[J].自然资源学报, 2005, 20(5) : 735-744. ZHANG J H, ZHANG J, LIANG Y L, et al. An analysis of touristic ecological footprint and eco-compensation of Jiuzhaigou in 2002 [ J ] . Journal of Natural Resources, 2005 , 20 ( 5 ) : 735-744.

[ 14 ] YE X L, WANG L, ZHU Z F, et al. Study on the ecological efficiency and its temporal dynamic evolution of China' s cruise tourism from the perspective of carbon footprint [ J ] . Applied Ecology and Environmental Research, 2019, 17 ( 6 ) :13001 - 13013.

[15]林文凯, 林璧属.区域旅游产业生态效率评价及其空间差异研究——以江西省为例[J].华东经济管理, 2018, 32 (6) : 19-25.

LIN W K, LIN B S. Ecological efficiency evaluation and its spatial differences of regional tourism industry: A case of Jiangxi Province [ J ] . East China Economic Management, 2018 , 32 (6) : 19-25.

[ 16 ] ZHAO L, XU L, LI L, et al. Can inbound tourism improve regional ecological efficiency? An empirical analysis from China [ J ] . International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19( 19 ) : 12282.

[17] 彭红松, 章锦河, 韩 娅, 等.旅游地生态效率测度的 SBM-DEA 模型及实证分析[J].生态学报, 2017, 37(2): 628- 638.

PENG H S, ZHANG J H, HAN Y, et al. Measurement and empirical analysis of eco-efficiency in tourism destinations based on a Slack-based Measure-Data Envelopment Analysis model [ J ] . Acta Ecologica Sinica, 2017, 37( 2 ) : 628-638.

[18] 郭丽佳, 李 畅, 彭红松, 等.节能减排约束下中国省域 旅游生态效率评估及空间格局研究[J].地理科学进展, 2021,40(8) : 1284- 1297.

GUO L J, LI C, PENG H S, et al. Tourism eco-efficiency at the provincial level in China in the context of energy conservation and emission reduction [ J ] . Progress in Geography, 2021 , 40(8) : 1284- 1297.

[19] 田红, 赵庆朋.高质量发展下区域旅游生态效率评价及 影响因素研究——以山东省为例[J].干旱区资源与环境, 2022,36( 12 ) : 201-208..

TIAN H, ZHAO Q P . Evaluation on regional tourism ecological efficiency under high quality development: A case of Shandong Province [ J ] . Journal of Arid Land Resources and Environment, 2022, 36(12) : 201-208.

[ 20 ] SUN Y, HOU G. Analysis on the spatial-temporal evolution characteristics and spatial network structure of tourism ecoefficiency in the Yangtze River Delta urban agglomeration [ J ] . International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18( 5 ) : 2577.

[21]吕洁华, 刘梓田, 张 滨, 等.中国旅游产业的生态效率 与空间效应[J].东北林业大学学报, 2020, 48 ( 10): 49-54.

LU J H, LIU Z T, ZHANG B, et al. Ecological efficiency and spatial effects of tourism industry in China [ J ] . Journal of Northeast Forestry University, 2020, 48( 10 ) : 49-54.

---

[ 22 ] LIU Q, SONG J, DAI T, et al. Spatial network structure of China' s provincial-scale tourism eco-efficiency: A social network analysis [ J ] . Energies, 2022 , 15 ( 4 ) : 1324.

[ 23 ] WANG C, XU L, HUANG M, et al. Research on the evolution of spatial network structure of tourism eco-efficiency and its influencing factors in China's Provinces based on carbon emission accounting [ J ] . PLoS One, 2022 , 17 ( 9 ) : e0272667.

[24]程慧, 徐 琼, 赵梦亚.中国旅游生态效率的空间关联网络结构及其影响因素研究[J]-生态科学, 2020, 39 (5) : 169-178.

CHENG H, XU Q, ZHAO M Y. Research on spatial correlation network structure of China ' s tourism eco-efficiency in China and its influencing factors [J]. Ecological Science, 2020, 39 (5) : 169-178.

[25] 杨玉珍, 闫佳笑, 杨 洋, 等.黄河流域旅游生态效率时空演变及空间溢出效应——基于 73 个城市数据的分析 [J].生态学报, 2022, 42(20) : 8202-8212.

YANG Y Z, YAN J X, YANG Y , et al. The spatio-temporal evolution and spatial spillover effect of tourism eco-efficiency in the Yellow River Basin : Based on data from the 73 cities [ J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42( 20 ) : 8202- 8212.

[26] 刘佳, 陆菊.中国旅游产业生态效率时空分异格局及 形成机理研究[J].中国海洋大学学报(社会科学版), 2016( 1 ) : 50-59.

LIU J, LU J. Research of the time-space differentiation pattern and formation mechanism of China ' s tourism industry ecoefficiency in China. [ J ] . Journal of Ocean University of China ( Social Sciences ) , 2016 ( 1 ) : 50-59.

[27] 王兆峰, 刘庆芳.长江经济带旅游生态效率时空演变及其 影响因素[J].长江流域资源与环境, 2019, 28 ( 10): 2289-2298.

WANG Z F, LIU Q F. Spatio-temporal evolution and influencing factors of tourism eco-efficiency in the Yangtze River economic belt [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(10) : 2289-2298.

[28] 翁异静, 汪夏彤, 陈思静.浙江三大城市群绿色发展效率 时空分异及影响机理[J].应用生态学报, 2022, 33(2): 509-516.

WENG Y J, WANG X T, CHEN S J. Spatial-temporal differentiation and influencing mechanism of green development efficiency in three major urban agglomerations in Zhejiang Province, China [ J ] . Chinese Journal of Applied Ecology, 2022 , 33(2) : 509-516.

[29 ] SMITH P C , CHARNES A, COOPER W , et al. Data Envelopment Analysis Theory, Methodology and Applications [ J ] . The Journal of the Operational Research Society, 1997 , 48 ( 3 ) : 332-333.

[30]夏 丛, 胡守庚, 吴 思, 等.长江经济带城市用地效率 时空演变特征[J].经济地理, 2021, 41(8) : 115-124.

XIA C, HU S G, WU S , et al. Spatial-temporal evolution characteristics of urban land use efficiency in the Yangtze River economic belt [ J ] . Economic Geography, 2021 , 41 ( 8 ) : 115 -124.

[31] 程遥, 王理.流动空间语境下的中心地理论再思 考——以山东省域城市网络为例[J].经济地理, 2017, 37( 12 ) : 25-33.

CHENG Y, WANG L. Reinterpretation of the theory of central place in a context of space of flow : A s-tudy on provincial city

- 
- network in Shandong Province [ J ] . Economic Geography,2017, 37( 12) : 25-33.
- [32] 闫卫阳, 王发曾, 秦耀辰.城市空间相互作用理论模型的 演进与机理[J].地理科学进展, 2009, 28(4) : 511-518.
- YAN W Y, WANG F Z, QIN Y C. Analysis of the principle and evolvement of the theoretic models of urban spatial interaction [ J ] . Progress in Geography, 2009, 28 ( 4 ) : 511 -518.
- [33] 刘 佳, 宋秋月.中国旅游产业绿色创新效率的空间网络 结构与形成机制[J].中国人口 -资源与环境, 2018, 28 (8) : 127-137.
- LIU J, SONG Q Y . Space network structure and formation mechanism of green innovation efficiency of tourism industry in China [ J ] . China Population, Resources and Environment,2018, 28(8) : 127- 137.
- [34] 刘华军, 刘传明, 孙亚男.中国能源消费的空间关联网络 结构特征及其效应研究[J].中国工业经济, 2015(5): 83-95.
- LIU H J, LIU C M, SUN Y N. Spatial correlation network structure of energy consumption and its effect in China [ J ] . China Industrial Economics, 2015( 5 ) : 83-95.
- [35] 刘 军.社会网络分析导论[M].北京: 社会科学文献出 版社, 2004.
- LIU J. An introduction to social network analysis [ M ] . Beijing: Social Sciences Literature Publishing House, 2004 .
- [36] 方叶林, 苏雪晴, 黄震方, 等.中国东部沿海五大城市群 旅游流网络的结构特征及其韧性评估——基于演化韧性的 视角[J].经济地理, 2022, 42(2) : 203-211.
- FANG Y L, SU X Q, HUANG Z F, et al. Structural characteristics and resilience evaluation of touris-m flow networks in five major urban agglomerations in coastal China: From the perspective of evolutionar-y resilience [ J ] . Economic geography, 2022, 42(2) : 203-211 .