旅游要素 POI 对夜间灯光指数的贡献及其空间特征分析

魏娟[1] 钟永德[2] 朱安妮[11]

（1.中南林业科技大学 林学院，湖南 长沙 410004；

2.中南林业科技大学 旅游学院，湖南 长沙 410004）

【摘 要】：“吃、住、行、游、购、娱”旅游六要素的 POI 数据能反映出旅游相关对象的空间结构、分布形态和旅游空间实体所承载的社会经济功能，而夜间灯光影像是反映区域经济发展情况的重要手段。文章从旅游要素 POI 对夜间灯光指数的贡献视角，基于多元线性回归、空间自相关和地理加权回归方法，以湖南省 122 个县(市、区)为案例分析了旅游要素 POI 和灯光之间的关系和空间异质性。结果显示，购物服务、休闲娱乐、交通服务对灯光指数具有正向影响，观光游览对灯光指数具有负向影响，不同的旅游要素 POI 对灯光影响呈现明显的空间差异。这一特征是区域旅游活动、旅游经济发展综合作用的结果，研究内容为区域旅游研究提供了新的方法和视角。

【关键词】：旅游要素 POI 多元线性回归 地理空间加权 夜间灯光指数

【中图分类号】：F590**【文献标识码】**：A**【文章编号】**：1671-4407(2021)05-139-09

学界公认的旅游业六要素是“吃、住、行、游、购、娱”[1]。POI(point of interest)是对社会实体抽象化后提取的点状空间数据，是一种新兴的地理数据[2]，包含了实体的名称、经纬度、地址、类型、行政区等信息[3]，当前被广泛应用于社会经济、文化发展和城市功能识别方面[4-5]。旅游要素 POI 作为二者结合的产物，在全域旅游背景下是主客共享[6]的一种空间数据类型，能够很好地反映出旅游业相关对象的空间结构和空间分布形态，反映出旅游及其相关空间实体所承载的社会与经济功能[7-9]。

夜间灯光数据与人类的社会、经济活动息息相关，常被作为区域经济增长、量化区域 GDP 变化[10-11]、城市建设[12-13]、城市面积识别[14-15]、人口空间化[16-17]、电力与能源估算[18-20]的一种重要手段，近年来也被用于反映城市休闲热点[21]和夜间旅游活动影响[22-23]、旅游空间溢出效应等方面的变化[24]。NPP-VIIRS(suomi national polar-orbiting partnership，visible infrared imaging radiometer suite)夜间灯光遥感影像是由美国国家极轨卫星 Suomi-NPP 搭载的可见光近红外成像辐射传感器生产的最新灯光遥感影像，相比传统的 DMSP-OLS(the defense meteorological satellite program，operational line-scan system)灯光影像精度更高，在反映区域发展情况上性能更强[25]。

本研究借助旅游要素 POI 与 NPP-VIIRS 夜间灯光数据，基于普通最小二乘法(ordinary least square，OLS)的多元线性回归(multivariable linear regression，MLR)和地理加权回归(geographically weighted regression，GWR)方法构建分析模型，

[1]**作者简介**：魏娟，硕士研究生，研究方向为森林游憩与公园管理。E-mail:1679656066@qq.com
钟永德，博士，教授，研究方向为旅游管理、森林旅游。E-mail:269500995@qq.com
基金项目：湖南省社科基金重大招标项目“我省推进全域旅游建设旅游强省的着力点与战略步骤研究”(16ZB10);湖南省研究生科研创新项目资助“基于 DMSP-OLS 和 NPP-VIIRS 数据的张家界市暗夜时空变化与旅游经济关系研究”(CX20200743)

通过 SPSS 和 Arcgis10.2 软件分析旅游要素 POI 和灯光指数变化之间的相互关系和空间特征，为旅游研究提供新的方法和视角。

1 研究方法

1.1 回归分析

回归分析(regression analysis)是确定两种或两种以上变量间相互依赖的定量关系的一种统计分析方法，多元线性回归是用来研究一个因变量和多个自变量之间变化关系的方法。在处理多个自变量时，使用逐步回归(stepwise regression)的方式来解决自变量之间的多重共线性(multicollinearity)问题和确定不同变量的重要性程度。最小二乘法在线性模型的回归参数估计中是使用最为普遍的方法，在误差变量服从正态分布时，最小二乘估计具有无偏性。多元线性回归模如下：

$$Y=\beta_0+\beta_1X_1+\cdots+\beta_{n-1}X_{n-1}+\varepsilon \quad (1)$$

式中：Y 是因变量；$X=(1,X_1,\cdots,X_{n-1})$为自变量；β 为所需要估计的回归系数；ε 为随机误差，它是均值为 0 的 n 行列向量。

1.2 空间自相关分析

空间自相关(spatial autocorrelation)是指相邻事物的某一属性在地理空间上具有相似特征，根据空间数据的相似程度可分为离散、聚类和随机三种情况[26-27]。最常用的空间自相关分析方法全局 Moran’sI 指数[28]的计算公式如下：

$$I=\frac{n}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}W_{ij}}\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}W_{ij}z_iz_j}{\sum_{i=1}^{n}z_i^2} \quad (2)$$

式中：I 为全局自相关系数，取值范围为[-1,1]，根据 I 值的符号判别正负相关关系。n 为要素总数，z_i和 z_j分别代表的是要素 i、j 的属性值与其平均值的偏差，W_{ij}为样本权重矩阵值。

$$z_I=\frac{I-E[I]}{\sqrt{V[I]}}$$
$$E[I]=-\frac{1}{n-1},V[I]=E[I^2]-E[I]^2 \quad (3)$$

式中：z 得分用来指示数据差异。当 z 值大于 0 且显著时，表明观测值存在正的空间自相关，即空间集聚现象；当 z 值小于 0 且显著时，表现为负的空间自相关，即空间离散；当 z 值不显著时，为独立随机分布。因变量存在空间自相关性是构建地理加权回归模型的前提条件，因此本文采用全局 Moran’sI 指数检验变量的空间自相关。

1.3 地理加权回归分析

地理加权回归是一种变化后的线性回归模型，它对普通线性回归模型进行了扩展，GWR 将样本的空间位置纳入线性回归模型

之中，为数据集中的各个要素构建了独立的方程，具有强大的局部分析能力[29-30]，模型表达形式为：

$$Y_i=\beta_0(u_i, v_i)+\sum_k \beta_k(u_i, v_i)X_{ik}+\varepsilon_i=1, 2, \cdots, n \qquad (4)$$

式中：(u_i, v_i)为要素 i 的坐标，$\beta_k(u_i, v_i)$为第 i 个要素的第 k 个回归参数，ε_i表示第 i 个要素的随机误差。

空间权重矩阵是地理加权模型的核心，采用高斯核函数算法[31-32]，使用 Akaike 信息准则(Akaike information criterion，AIC)计算带宽，AICc 为修正后的 AIC 估计值，具有较低 AICc 值的模型将更好地拟合观测数据[33]。

$$AICc = 2n\ln(\sigma)+n\ln(2\pi)+n\frac{n+\mathrm{tr}(\boldsymbol{S})}{n-2-\mathrm{tr}(\boldsymbol{S})} \qquad (5)$$

式中：n 为要素大小，σ 为误差项估计的标准离差，tr(S)是 GWR 的 S 矩阵的迹，它是带宽的函数。

2 研究地与数据来源

2.1 研究地选取

本研究选取湖南省为研究地。最小研究对象为县(市、区)，涉及湖南省 14 个市(州)下辖的共 122 个县(市、区)，具体包括长沙市 9 个、株洲市 9 个、湘潭市 5 个、常德市 9 个、岳阳市 9 个、益阳市 6 个、张家界市 4 个、湘西土家族苗族自治州 8 个、怀化市 12 个、娄底市 5 个、邵阳市 12 个、衡阳市 12 个、永州市 11 个、郴州市 11 个。

2.2 数据来源与预处理

2.2.1 空间及夜间灯光数据获取与预处理

采用 2019 年 NPP-VIIRS 全年各月度夜间灯光数据，从美国国家海洋与大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration，NOAA)下属的美国国家地球物理数据中心(National Geophysical Data Center，NGDC)获取。研究地行政区划矢量地图从国家基础地理信息中心全国 1∶100 万数据库中提取，详见图 1。原始灯光数据均为 WGS-1984 地理坐标，为方便后续计算，将每个月的夜间灯光影像转换为兰伯特等面积投影坐标，并将栅格像元分辨率统一重采样为 500m×500m。

图 1 湖南省县级行政区划图

由于 VIIRS 存在极少数负值、短暂光源和背景噪声的问题，采用 MA 提出的 $0.3\times10^{-9}W\cdot m^{-2}\cdot sr^{-1}$ 最小阈值进行背景噪声和短暂光源消除，将负值统一赋 0 值[34-36]。

以湖南省经济最为发达的长沙市最大灯光值为最大阈值，采用均值滤波法以周围 8 像元为大于阈值范围的像元消除极大值[37-38]。

2.2.2 全年夜间灯光值与指数测算

(1)全年夜间灯光值。

利用校正后的 12 个月的灯光影像合成全年夜间灯光值[39]。

$$DN_y = \frac{\sum_{i=12} DN_i}{12} \quad (6)$$

式中：DN_y 为复合后的全年夜间灯光值；DN_i 为 2019 年每月份的夜间灯光值。图 2 为 2019 年校正后年度复合灯光影像。

(2)区域夜间灯光值。

使用 Arcgis10.2 软件分区统计县(市、区)的区域夜间灯光值(total DN value，TDN)[40]，公式如下：

$$TDN = \sum_i DN_i C_i \quad (7)$$

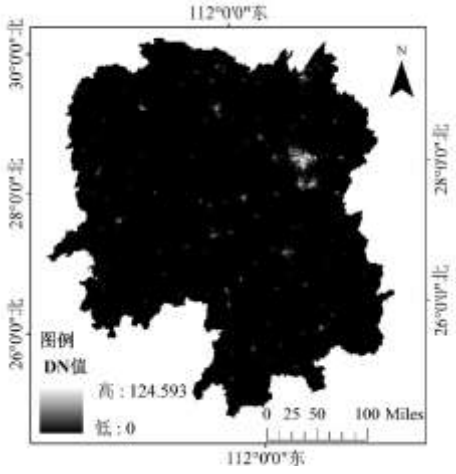

图 2 2019 年校正后年度复合灯光影像

式中：DN_i 为区域影像 i 像元的 DN 值；C_i 为影像中 i 像元的数量。

(3)全年夜间灯光指数。

使用 log 函数转换对 TDN 值进行数据归一化处理后得到最终全年夜间灯光指数 $TDN_{归一化}$。

2.2.3 旅游要素 POI 数据获取与处理

POI 数据来源于百度地图，百度地图 POI 数据共分为 22 大类，182 小类。基于旅游六要素，选取旅游要素 POI 数据类别，共保留 13 大类 63 小类。通过百度地图开发者平台提供的 API 接口，获取湖南省范围内全部旅游要素 POI 数据点[4]。数据格式为点状矢量数据，具体内容包括：类别、省份、城市、区县、名称、详细地址、经度、纬度，坐标统一转化为 WGS-1984 地理坐标。

通过抓取共获取旅游要素 POI 兴趣点 224319 条，对不同类别中重复和不相关的兴趣点进行数据筛选剔除，最终得到 POI 数据点 187798 条，其中，餐饮服务点 39421 条，住宿设施点 31137 条，交通服务点 15277 条，观光游览点 13126 条，购物服务点 52964 条，休闲服务点 35873 条(表 1)。

使用 Arcgis10.2 分区统计区域 POI 数量，为了确保不同要素 POI 数据之间的可比性，对数据进行线性函数归一化(min-max normalization)处理，使结果落到[0,1]区间，转换函数为：

$$x' = \frac{x - \min}{\max - \min} \qquad (8)$$

式中：max 为样本数据的最大值，min 为样本数据的最小值，x 为样本数值，x′ 为归一化后数值。

2.2.4 旅游产业数据

表 1 基于百度地图的旅游要素 POI 分类

类别	数量/条	百度 POI 大类	百度 POI 小类
餐饮服务	39421	美食	中餐厅、外国餐厅、小吃快餐店、蛋糕甜品店、咖啡厅、茶座、酒吧、其他美食
住宿服务	31137	酒店	星级酒店、快捷酒店、公寓式酒店、民宿、其他酒店
交通服务	15277	交通设施	飞机场、火车站、地铁站、长途汽车站、公交车站、港口
		汽车服务	汽车租赁
观光游览	13126	旅游景点	公园、动物园、植物园、游乐园、博物馆、水族馆、文物古迹、教堂、风景区、景点、寺庙
购物服务	52964	购物	购物中心、百货商场、超市、便利店、商铺、市场、家电数码
休闲娱乐	35873	运动健身	体育场馆、极限运动场所、健身中心
		休闲娱乐	度假村、农家院、电影院、KTV、剧院、歌舞厅、网吧、游戏场所、休闲广场、洗浴按摩、其他

		医院	疗养院
		生活服务	公共厕所、步骑行专用道驿站、售票处
		公司企业	园区、其他(旅行社)
		文化传媒	美术馆、展览馆、文化宫
		教育培训	图书馆、科技馆

旅游经济数据来自湖南省人民政府官方网站[41]，根据《国家旅游及相关产业统计分类(2018)》和《湖南省旅游产业增加值核算方案》，2019 年湖南省旅游业(不含相关产业)增加值 2188.58 亿元，占全省旅游及相关产业增加值的比重为 89.05%，旅游相关产业增加值 269.07 亿元，占 10.95%。按行业分，旅游出行增加值 667.71 亿元，占 27.17%；旅游住宿增加值 222.71 亿元，占 9.06%；旅游餐饮增加值 398.94 亿元，占 16.23%；旅游游览增加值 215.01 亿元，占 8.75%；旅游购物增加值 359.44 亿元，占 14.63%；旅游娱乐增加值 195.93 亿元，占 7.97%。

2019 年湖南省各市(州)旅游增加值统计数据如表 2 所示。其中，11 市(州)的旅游及相关产业增加值均超过百亿元，旅游及相关产业增加值总量排前五位的市(州)是长沙市、岳阳市、常德市、张家界市、衡阳市；旅游及相关产业增加值占 GDP 比重排前五位的市(州)是张家界市、湘西州、郴州市、湘潭市、怀化市。

表 2 2019 年各市(州)旅游及相关产业增加值总量及占比情况

地区	旅游及相关产业增加值/亿元	占 GDP 比重/%
长沙市	636.77	5.50
株洲市	139.23	4.64
湘潭市	138.23	6.12
衡阳市	179.99	5.34
邵阳市	111.29	5.17
岳阳市	218.28	5.77
常德市	202.41	5.59
张家界市	189.16	34.26
益阳市	84.27	4.70
郴州市	148.12	6.14
永州市	108.62	5.39
怀化市	93.59	5.79
娄底市	91.95	5.60

湘西州	115.74	16.40

3 结果与讨论

3.1 夜间灯光指数与旅游要素 POI 回归分析

为探索灯光指数和旅游要素 POI 之间的关系，将购物服务、观光游览、休闲娱乐、餐饮服务、交通服务、住宿服务作为自变量，将归一化灯光指数作为因变量进行回归分析。经检验 TDN 归一化值服从正态分布，可建立多元线性回归方程。第一次回归得到模型 R^2 值为 0.776，模型通过联合卡方 F 检验(F=66.215，Sig=0.000<0.05)，说明 6 项旅游要素 POI 中至少有一项会对灯光指数产生影响。对模型多重共线性检验发现模型中餐饮服务方差膨胀因子 VIF 值大于 5，意味着模型可能存在着一定的多重共线性，同时住宿设施的显著性大于 0.05，意味着不能证明变量对灯光指数产生显著影响。为消除自变量之间的共线性问题，使用逐步回归进行第二次回归分析。逐步回归剔除了影响不显著的住宿设施变量，但餐饮服务变量的共线性依然存在，对餐饮服务变量进行剔除，保留自变量休闲娱乐、购物服务、交通服务、观光游览，进行第三次回归分析。第三次回归分析最终得到调整后 R^2 值 0.758，各变量容差均大于 0.1，VIF 值均小于 5，调整后模型共线性问题得到了消除。表 3～表 5 为三次回归模型结果汇总。

表 3 三次回归模型汇总

模型	1	2	3
R	0.881a	0.881b	0.875c
R^2	0.776	0.776	0.766
调整 R^2	0.764	0.766	0.758
标准估计的误差	0.128674776	0.128121822	0.130206624
Durbin-Watson	2.044	2.044	1.995
平方和	6.578	6.578	6.499
df	6	5	4
F	66.215	80.144	95.827
Sig.	0.000	0.0000	0.000

结合正态图观察回归模型结果残差的正态特征，残差值大部分分布在对角线上，近似正态分布。表 6 的单样本 Kolmogorov-Smirnov 检验结果显示 P 值>0.05，呈正态分布。同时，残差空间相关性检验结果显示，残差在空间上呈现随机分布特征，模型拟合结果较好。

表 4 三次回归系数汇总

模型		非标准化系数		标准系数	t	Sig.	共线性统计量	
		B	标准误差	试用版			容差	VIF
a	（常量）	3.289	0.025		130.143	0.000		
	购物服务	0.978	0.182	0.524	5.371	0.000	0.205	4.871
	观光游览	-0.505	0.093	-0.386	-5.411	0.000	0.384	2.602
	休闲娱乐	1.087	0.143	0.747	7.627	0.000	0.203	4.920
	交通服务	0.341	0.094	0.249	3.626	0.000	0.414	2.418
	餐饮服务	-0.395	0.180	-0.233	-2.191	0.030	0.172	5.797
	住宿设施	0.008	0.118	0.006	.072	0.943	0.297	3.370
b	（常量）	3.290	0.025		131.935	0.000		
	休闲娱乐	1.093	0.115	0.752	9.479	0.000	0.308	3.248
	购物服务	0.976	0.179	0.523	5.452	0.000	0.211	4.748
	观光游览	-0.502	0.084	-0.384	-5.954	0.000	0.466	2.144
	交通服务	0.340	0.092	0.248	3.693	0.000	0.428	2.334
	餐饮服务	-0.395	0.180	-0.233	-2.200	0.030	0.173	5.794
c	（常量）	3.269	0.023		139.606	0.000		
	购物服务	0.649	0.099	0.346	6.515	0.000	0.709	1.410
	观光游览	-0.509	0.086	-0.389	-5.945	0.000	0.467	2.141
	休闲娱乐	1.030	0.114	0.709	9.074	0.000	0.328	3.050
	交通服务	0.322	0.093	0.235	3.458	0.001	0.432	2.316

表 5 三次回归模型残差值

变量	数值	预测值	残差	标准预测值	标准残差
a	极小值	2.99430656	-0.259954125	-2.494	-2.020
	极大值	4.44823027	0.289234608	3.741	2.248
	均值	3.57588218	0.000000000	0.000	0.000
	标准偏差	0.233160339	0.125443931	1.000	0.975

b	极小值	2.99581671	-0.259682328	-2.488	-2.027
	极大值	4.4481473	0.288625509	3.741	2.253
	均值	3.57588218	0.000000000	0.000	0.000
	标准偏差	0.233158822	0.12544675	1.000	0.979
c	极小值	3.01960087	-0.260580957	-2.400	-2.001
	极大值	4.44630384	0.311523288	3.756	2.393
	均值	3.57588218	0.000000000	0.000	0.000
	标准偏差	0.231746874	0.128036362	1.000	0.983

表 6 单样本 Kolmogorov-Smirnov 检验

变量	N	正态参数		最极端差别			Kolmogorov-Smirnov Z	渐近显著性(双侧)
		均值	标准差	绝对值	正	负		
$TDN_{归一化}$	122	3.57588218	0.264763901	0.067	0.061	-0.067	0.741	0.643
回归模型残差	122	0	0.12803636	0.072	0.072	-0.053	0.795	0.551

回归模型得到灯光指数和旅游要素 POI 最终关系如下：休闲娱乐、购物服务、交通服务的标准回归系数值均大于 0，表明休闲娱乐、购物服务、交通服务会对灯光指数产生显著的正向影响，且休闲娱乐对灯光指数指数的正向影响最高，购物服务次之，交通服务对灯光指数的正向影响最低。观光游览的回归系数值小于 0，表明观光游览会对灯光指数产生显著的负向影响。

3.2 夜间灯光指数与旅游要素 POI 空间关系分析

3.2.1 灯光指数与旅游要素 POI 空间关系分析

图 3 使用全局莫兰指数验证归一化灯光指数的空间自相关性，结果显示 Moran’sI 指数值为 0.496258，z 值为 7.645515，P 值为 0，灯光分布具有强烈的空间正相关性和聚集性，因此采用 GWR 模型进行变量之间的关系拟合。本研究选取高斯核函数和 Akaike 信息准则计算方法，进行地理加权回归，建立 GWR 模型。

分别对比固定距离 FIXED 核类型和相邻要素 ADAPTIVE 核类型来选择最优 GWR 模型，结果显示 ADAPTIVE 核类型的拟合效果更好。GWR 模型结果中 AICc 值为-324.722521，调整拟合度为 0.850377，说明 GWR 模型可以解释 85%的灯光指数变化。图 4 对 GWR 模型残差进行空间相关性检验，残差在空间上呈现随机分布特征，模型拟合结果较好。

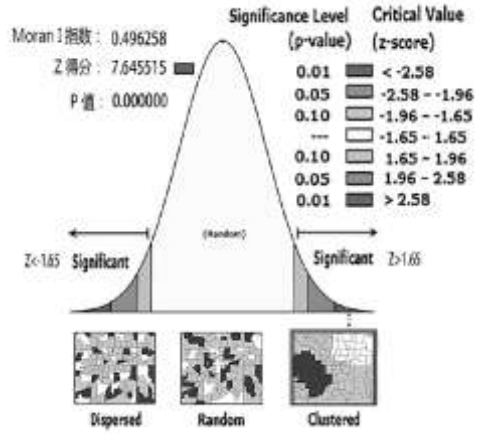

图 3 灯光指数空间相关性检验图

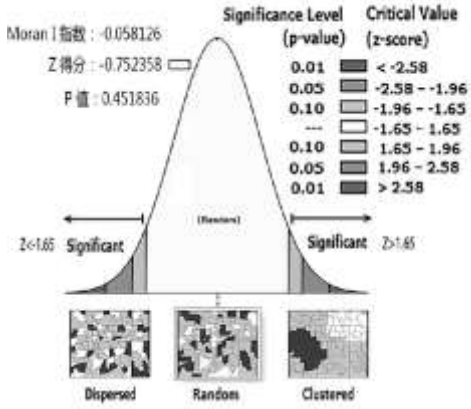

图 4 GWR 模型残差空间相关性检验图

3.2.2 多元线性回归与 GWR 结果对比分析

多元线性回归和 GWR 模型评价指标如表 7 所示。全局回归模型的 AICc 值为-143.580285，GWR 模型的 AICc 值为-324.722521，明显小于全局回归模型，表明 GWR 模型的性能优于多元线性回归模型。GWR 模型的多重判定系数 R^2 为 0.889，模型拟合度提高了 10%以上。GWR 模型的校正 R^2 为 0.866，模型精度提高了 10%以上。

表 7 多元线性回归与 GWR 模型结果对比

指标值	AICc	R^2	R^2Adjusted
多元线性回归指标值	-143.580282	0.766144	0.758149
GWR 指标值	-324.722521	0.889037	0.850377

多元线性回归模型得到的R^2是全局拟合度，无法展示各个局部区域的拟合度。GWR 模型的多重判定系数可以显示每一个区域内旅游要素 POI 与区域灯光指数的关系，利用 ArcGIS 可视化 GWR 模型拟合度分布情况，如图 5 所示。从地理区域划分来看，模型的拟合精度呈现东西高、中间低、北部高、南部低的特点，拟合度较高的区域包括岳阳、长沙、湘西、张家界、怀化等地，这些区域 2019 年旅游增加值占 GDP 总量比重均排在湖南省前列，拟合度相对较低的区域主要在益阳市和湘南的郴州、永州等区域，这也说明该模型在旅游经济相对发达的地区优于旅游经济相对落后的区域。综上，基于 GWR 的局部空间回归分析方法显著提升了模拟精度，最优带宽指标值亦显著改进，且能够反应局部区域旅游要素 POI 对灯光指数影响的空间差异，故可使用 GWR 方法分析旅游要素 POI 对灯光指数影响之间的空间异质性。

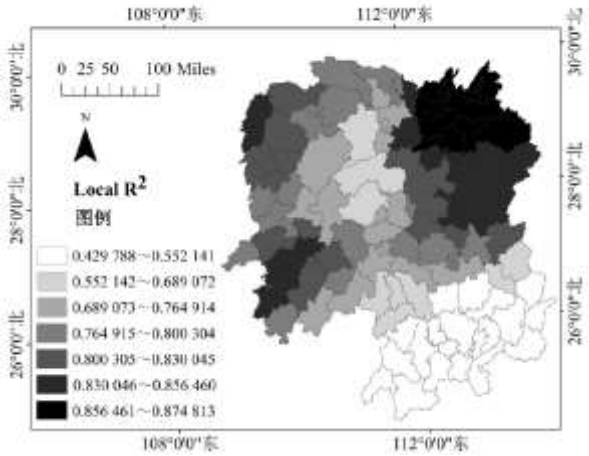

图 5 GWR 模型拟合度分布图

3.3 旅游要素 POI 对灯光指数影响的空间异质性分析

为便于研究比较，表 8 中展示了 4 个变量对灯光指数贡献程度系数的五分位数值结果，图 6、图 7 分别为旅游要素 POI 的系数空间分布图和点核密度图。旅游要素 POI 中购物服务、观光游览、交通服务、休闲娱乐等因素的作用均表现出显著的空间差异和不稳定性。由于以湖南省为研究地区，范围较广，旅游景点、设施、服务环境差异较大，交通因素对灯光指数既有正向影响，也有局部的负向作用，观光游览对灯光指数既有负向影响，也有局部的正向影响。基于所有自变量系数的中位数结果中购物服务、休闲娱乐、交通服务为正数，观光游览为负数，因此在研究范围内大部分地区，购物服务、休闲娱乐、交通服务点数量高的区域，灯光指数更高，观光游览点数量多的区域，灯光指数更低。

3.3.1 购物服务 POI 的影响

研究区域的购物服务 POI 系数均为正，表明购物服务点越多，灯光强度越高。从图 6 可以看出，购物系数中，最大值出现在衡阳市，其次是常德市，系数均达到 1.0 以上，除长沙市外，这些区域的购物点数量排在湖南省前三位，主要以小型商铺、百货商店为主。系数较高的还包括长株潭区域，研究区内的大型商场、购物中心主要分布在省会长沙市。系数值最低的分布区域主要在永州南部和益阳的部分区县，这些区域购物设施点分布相对其他区域较少。

3.3.2 观光游览 POI 的影响

研究区域观光游览点对灯光强度具有显著的负向影响，但在一些区域也具有正向作用。系数最低区域包括张家界、湘西州和长株潭区域，区域相关系数均低于-0.5。这两个区域分别位于湖南省的两大旅游中心，区域内森林和湿地公园、风景名胜区

等各类保护地数量最多，大多数景点依托自然型生态旅游资源，保护区域范围广泛，因此其对灯光负向作用较强。而环洞庭区域尤其是益阳市虽然系数为负值，但区域旅游景点数量相对较少，湘南地区尤其是永州区域系数最高，部分区域出现了微弱的正向影响，这些地区虽然有一定数量观光游览设施，但受交通区位限制，旅游发展薄弱，对当地灯光强度影响较弱。

3.3.3 交通服务 POI 的影响

与其他 3 个因素相比，交通要素对灯光指数的影响程度在统计上相对不显著，但仍然具有一定的梯度。交通服务对于灯光强度的影响是正向的，但在部分区域也表现出一定的负向作用。交通服务对灯光强度的影响在长沙市、湘潭、湘西州以及永州西部区县非常突出。系数较低的区域包括株洲炎陵、茶陵县和郴州东南区域，在衡阳的石鼓、蒸湘区甚至出现了微弱的负向影响，其他地区的影响则相对平稳。由此可见，交通服务的影响呈现一定的两极化趋向，在旅游经济发展较快和较弱的区域，对于灯光变化的影响程度更强。

表 8 GWR 模型系数计算结果

旅游要素	变化范围	最小值	下四分位数	中位数	上四分位数	最大值
购物服务	0.973782	0.323017	0.46082452	0.572307	0.729747855	1.296799
观光游览	1.060688	-0.700934	-0.4749193	-0.31585	-0.117702081	0.359754
交通服务	0.808969	-0.018833	0.27526783	0.386279	0.536723729	0.790136
休闲娱乐	1.703877	0.097039	0.59543036	0.793204	0.867584722	1.800916

3.3.4 休闲娱乐 POI 的影响

研究区域内休闲娱乐对灯光强度具有显著的正向影响，且相比其他因素，休闲娱乐的系数最高，变化区间最大，空间异质性最为显著，休闲娱乐系数在整个大湘南区域内部的变化梯度较大，系数最高的区域在衡阳市的蒸湘区，并且向东部扩散至株洲南部区县。而系数较低区域主要分布在永州的江华县、江永县、新田县等地区，这些区域一方面休闲娱乐设施点较少，另一方面受交通等区位条件影响，整体灯光强度较低。休闲娱乐对灯光的影响在其他地区的变化情况则相对平稳。

4 结论

本研究以旅游要素环境复杂的湖南省作为研究区，以探索旅游要素 POI 对夜间灯光指数的贡献和空间差异为目标，分别使用全局多元线性回归和 GWR 局部加权回归方法进行模型拟合，并将两种方法进行了数据比较。

(1)总体上，旅游要素 POI 会对夜间灯光指数产生显著性影响。通过多元线性回归模型证明旅游要素 POI 可以解释夜间灯光指数 75.8%的变化，休闲娱乐、购物服务、交通服务会对灯光指数产生显著的正向影响，观光游览会对灯光指数产生显著的负向影响，且休闲娱乐对灯光指数的正向影响最高，购物服务次之，交通服务对灯光指数的正向影响最低。

(2)从研究方法上，GWR 方法得到的模型在验证了全局多元线性回归模型结论的同时，在模型精度、带宽指标方面得到了显著提升。由于旅游活动本身存在空间聚集效应，在进行局部加权之后，模型拟合系数达到了 85%以上，AICc 值为-324.722521，模型精度整体提高了 10%以上。

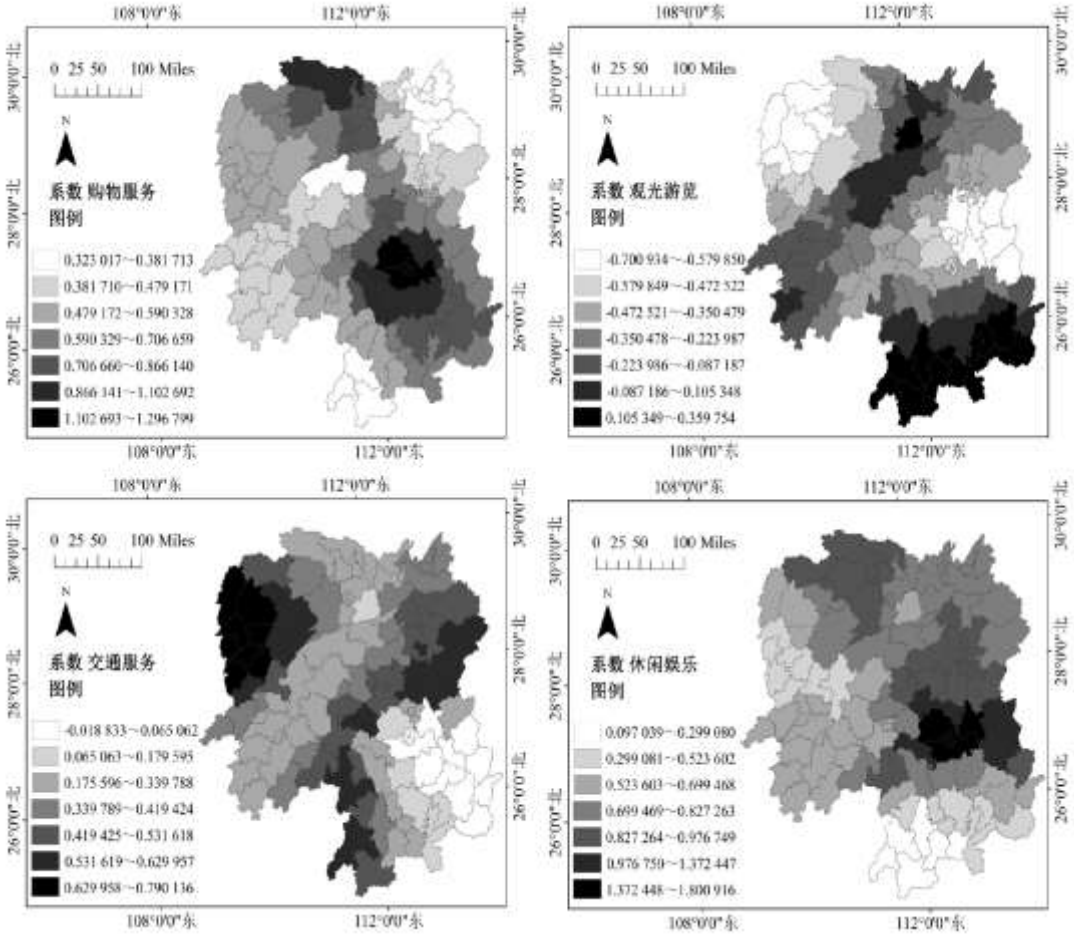

图 6 旅游要素 POI 系数空间分布图

(3)湖南省旅游要素 POI 对灯光指数的影响呈现东西高、中间低、北部高、南部低的特点。在长沙、张家界、湘西、岳阳、怀化等旅游增加值高的区域，旅游要素 POI 对灯光指数的影响程度更强，在益阳、永州、郴州等旅游增加值低的区域内，旅游要素 POI 对灯光指数的影响程度较弱。

(4)研究结果进一步反映了湖南省不同区域不同旅游要素 POI 对灯光影响的空间差异。在湖南东部长株潭地区，交通服务、休闲娱乐和观光游览对灯光的作用更强。湖南西部的湘西州、张家界市等地，观光游览、交通服务对灯光的影响更强。环洞庭区域内部差异较大，常德市购物服务对灯光的影响作用更强，而岳阳市交通服务的作用更强。湖南南部地区的衡阳市，购物服务、休闲娱乐的作用更强，而永州、郴州等地区旅游要素 POI 对灯光的影响整体较弱。

本研究从旅游要素 POI 对夜间灯光指数贡献的空间差异的角度量化了旅游产生的社会经济影响，为旅游研究提供了新的方法，在后续的研究中可以进一步讨论不同尺度的旅游要素 POI 和灯光指数之间的时空变异情况。

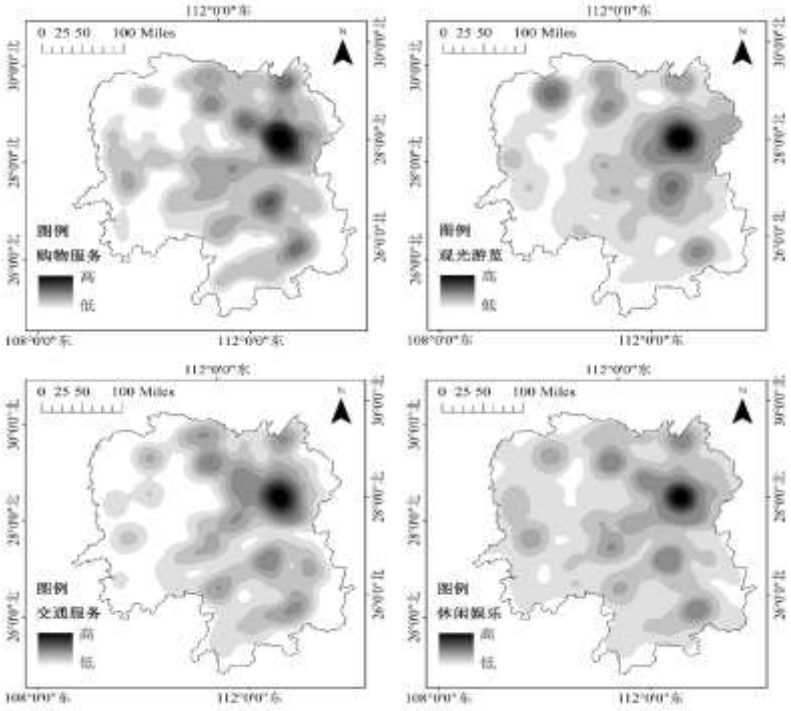

图 7 旅游要素 POI 点分布核密度图

参考文献：

[1]胡抚生.基于旅游六要素的旅游产业范围探讨[J].旅游学刊，2007(11)：10-11.

[2]李霖，杨蕾.公众参与的兴趣点数据有效性效验方法[J].测绘科学，2015(7)：98-103.

[3]Maceachren A M,Gahegan M,Pike W,et al.Geovisualization for knowledge construction and decision support[J].IEEE Computer Graphics and Applications,2004,24(1):13-17.

[4]薛冰，李京忠，肖骁，等.基于兴趣点(POI)大数据的人地关系研究综述：理论、方法与应用[J].地理与地理信息科学，2019(6)：51-60.

[5]陈斌,徐尚昭,周阳阳,等.POI 与 NPP/VIIRS 夜光数据空间耦合关系下的城市空间结构分析——以武汉市主城区为例[J].测绘通报，2020(7)：70-75.

[6]刘刚，张再生，吴绍玉.主客共享视域下旅游城市空间治理策略及路径探究——以海南省三亚市为例[J].城市发展研究，2020(2)：1-6.

[7]王珺颖，谢德体，王三，等.基于 POI 提取的山地丘陵区乡村旅游空间分布研究——以重庆市农家乐为例[J].中国农业资源与区划，2020(5)：257-267.

[8]李维维，陈田，马晓龙.西安城市旅游休闲业态空间热点特征及形成机制[J].地理科学，2020(3)：437-446.

[9]丁陈颖，郑陶，纪烨楠，等.绍兴市全域旅游空间格局演化研究——基于 POI 信息挖掘的空间分析[J].中国房地产，2020(20)：43-50.

[10]Elvidge C D,Baugh K E,Kihn E A,et al.Relation between satellite observed visible-near infrared emissions, population,economic activity and electric power consumption[J].International Journal of Remote Sensing,1997,18(6):1373-1379.

[11]郭永德，高金环，马洪兵.Suomi-NPP 夜间灯光数据与 GDP 的空间关系分析[J].清华大学学报(自然科学版)，2016(10)：1122-1130.

[12]He C Y,Shi P J,Li J G,et al.Restoring urbanization process in China in the 1990s by using non-radiance-calibrated DMSP/OLS nighttime light imagery and statistical data[J].Chinese Science Bulletin,2006,51(13):1614-1620.

[13]陈斌，徐尚昭，周阳阳，等.POI 与 NPP/VIIRS 夜光数据空间耦合关系下的城市空间结构分析——以武汉市主城区为例[J].测绘通报，2020(7)：70-75.

[14]张雨欣，李熙，宋杨，等.基于“珞珈一号”夜光遥感影像的粤港澳大湾区城市空间形态分析[J].应用科学学报，2020(3)：466-477.

[15]魏石梅，潘竟虎，张永年，等.基于 DMSP-OLS 夜间灯光数据的中原城市群空间演变分析[J].人文地理，2019(6)：71-81.

[16]杜培培，侯西勇.基于多源数据的中国海岸带地区人口空间化模拟[J].地球信息科学学报，2020(2)：207-217.

[17]王娇娇，李中元.基于 LandsatOLI 影像及 NPP-VIIRS 灯光数据的武汉市人口密度估算[J].地域研究与开发，2019(6)：146-151.

[18]李熙，薛翔宇.基于波士顿矩阵的夜光遥感电力消费估算方法[J].武汉大学学报(信息科学版)，2018(12)：1994-2002.

[19]李峰，张晓博，廖顺宝，等.DMSP-OLS 与 NPP-VIIRS 夜间灯光数据测算统计指标能力评估——以京津冀地区县域 GDP、人口及能源消耗为例[J].测绘通报，2020(9)：89-93.

[20]张莉，谢亚楠，屈辰阳，等.基于夜间灯光数据的中国城市电力消费模拟影响因素[J].遥感信息，2020(4)：113-123.

[21]朴勋，边坤，宇娉，谢中民.基于开放数据的青岛东岸城区市民休闲功能空间分布研究[J].建筑与文化，2020(9)：69-70.

[22]Krikigianni E,Tsiakos C,Chalkias C.Estimating the relationship between touristic activities and night light emissions[J].European Journal of Remote Sensing,2019,52(sup1):233-246.

[23]Devkota B,Miyazaki H,Witayangkurn A,et al.Using volunteered geographic information and nighttime light remote sensing data to identify tourism areas of interest[J].Sustainability,2019,11(17):4718-4748.

[24]瓦哈甫·哈力克，朱永凤，何琛.从夜间灯光看中国旅游经济发展及其空间溢出效应——基于空间面板计量模型的实证研究[J].生态经济，2018(3)：126-131.

[25]陈颖彪，郑子豪，吴志峰，等.夜间灯光遥感数据应用综述和展望[J].地理科学进展，2019(2)：205-223.

[26]Griffth D A.Spatial autocorrelation and spatial filtering[M].Germany:Springer,2003.

[27]宋鸿，陈晓玲.运用空间自相关分析中国入境旅游增长空间格局[J].世界地理研究，2006(1)：99-106.

[28]Lee J,Wong D W S.Statistical Analysis with ArcView GIS[M].New York:John Wiley&Sons Inc,2001.

[29]卢宾宾，葛咏，秦昆，等.地理加权回归分析技术综述[J].武汉大学学报(信息科学版)，2020(9)：1356-1366.

[30]Brunsdon C,Fotheringham A S,Charlton M E.Geographically weighted regression:A method for exploring spatial nonstationarity[J].Geographical Analysis,1996,28(4):281-298.

[31]Fotheringham A S,Brunsdon C,Charlton M.Geographically weighted regression:The analysis of spatially varying relationships[M].Chichester:Wiley,2002.

[32]Cho S H,Lambert D M,Chen Z.Geographically weighted regression bandwidth selection and spatial autocorrelation:An empirical example using Chinese agriculture data[J].Applied Economics Letters,2010,17(8):767- 772.

[33]刘璋温.赤池信息量准则 AIC 及其意义[J].数学的实践与认识，1980(3)：64-72.

[34]李明峰，蔡炜珩.NPP/VIIRS 多时相夜光遥感影像校正方法[J].测绘通报，2019(7)：122-126.

[35]李雪萍，贡璐.DMSP/OLS 和 VIIRS/DNB 夜间灯光影像的校正及拟合[J].测绘通报，2019(7)：138-146.

[36]Ma T,Zhou C,Pei T,et al.Responses of Suomi-NPP VIIRS-derived nighttime lights to socioeconomic activity in China’s cities[J].Remote Sensing Letters,2014,5(1-3):165-174.

[37]詹淇雯，胡为安，刘传立.基于 SNPP-VIIRS 夜间灯光数据的 GDP 预测模型对比[J/OL].[2020-11-04].http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1375.N.20200914.1121.002.html.

[38]胡为安，刘传立，詹淇雯.中国区域 NPP-VIIRS 年度夜间灯光数据的合成方法与对比验证[J/OL].[2020-11-04].http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1375.N.20200602.0953.006.html.

[39]周翼，陈英，刘洋，田丰，易鑫程.NPP-VIIRS 年度夜间灯光数据的合成方法与验证[J].遥感信息，2019(2)：62-68.

[40]曹子阳，吴志峰，匡耀求，黄宁生.DMSP/OLS 夜间灯光影像中国区域的校正及应用[J].地球信息科学学报，2015(9)：1092-1102.

[41]湖南省人民政府.2019 年湖南旅游产业增加值持续提升[EB/OL].[2020-11-04].http://www.hunan.gov.cn/hnszf/zfsj/sjfb/202006/t20200624_12320861.html.