

引用格式:莫钧雄,孙丕苓,宫巧巧,刘庆果,沈丹丹.城市绿地时空分异及影响因素——以长江经济带为例[J].山地学报,2024,42(2):196-209.

MO Junxiong, SUN Piling, GONG Qiaoqiao, LIU Qingguo, SHEN Dandan. Spatial-temporal differentiation of urban green space and its influencing factors: A case study of the Yangtze River Economic Belt, China [J]. Mountain Research, 2024, 42(2): 196-209.

## 城市绿地时空分异及影响因素 ——以长江经济带为例

莫钧雄<sup>1</sup>,孙丕苓<sup>1,2\*</sup>,宫巧巧<sup>1</sup>,刘庆果<sup>1</sup>,沈丹丹<sup>1</sup>

(1. 曲阜师范大学 地理与旅游学院,山东 日照 276826; 2. 中国农业大学 土地科学与技术学院,北京 100193)

**摘要:**城市快速发展改变了城市绿地结构和格局,影响城市环境质量和人类福祉,加剧资源环境约束。已有研究侧重对城市或城市群绿地景观形态、布局以及空间格局特征的研究,对自然环境与人类活动差异明显的流域经济带不同河段城市绿地的时空格局、影响因素及其驱动机制分析不足,缺乏实践指导意义。本文以长江经济带为例,运用空间自相关分析方法及地理探测器模型分析 2000—2020 年长江经济带城市绿地时空分异及影响因素。结果表明:(1)2000—2020 年长江经济带城市绿地面积由 3357.66 km<sup>2</sup> 增加到 13 425.32 km<sup>2</sup>,城市绿地率由 22.56% 增加到 39.04%,城市绿地率增速呈现出下游>上游>中游的特征。(2)2000—2020 年长江经济带城市绿地呈现显著的空间集聚特征且两极分化明显,高值集聚区呈现向东部转移态势,主要分布于江西、安徽、江苏三省交界地区;低值集聚区趋于中西部山区集聚,主要分布于四川、云南、贵州、湖北交接地带。(3)长江经济带城市绿地时空分异受气候条件、地形条件、人口规模、城市建设、经济发展、区域政策等因素的共同作用,上中下游地区城市绿地时空分异的关键影响因子不同。各影响因子之间的交互作用对长江经济带城市绿地时空分异呈现双因子增强与非线性增强效应。研究可以为长江经济带城市绿地合理布局与城市可持续发展提供一定参考。

**关键词:**城市绿地;时空分异;影响因素;地理探测器;长江经济带

**中图分类号:** K901

**文献标志码:** A

人们对物质生活的需求从简单温饱转变为生活的便捷舒适,从对建设空间的依附转变为对绿色休闲空间的偏好<sup>[1-2]</sup>。现代城市空间的快速扩张导致城市景观发生急剧变化,带来一系列城市环境问题,直接威胁城市人居环境质量与城市绿地可持续发展<sup>[3-4]</sup>。城市绿地建设与合理配置逐渐成为推进城市生态系统可持续发展的重要路径。流域经济带城市与城市群是中国城市发展的重点,也是中国区域

协同发展战略关注的重点。系统探究流域经济带城市绿地时空特征及影响因素,对促进区域协同可持续发展具有重要意义。

城市绿地是城市生态环境的核心部分,对提升城市居住环境质量具有重要意义。学术界对城市绿地的研究多集中在绿地可达性和生态效益<sup>[5]</sup>、绿地空间布局及影响因素<sup>[6]</sup>、绿地规划与管控<sup>[7]</sup>等方面,涉及城市群<sup>[8]</sup>、省域<sup>[9]</sup>、市域(直辖市)<sup>[10]</sup>、区

收稿日期(Received date): 2023-07-22; 改回日期(Accepted date): 2024-03-16

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(42101258);山东省自然科学基金(ZR2019QD006)。[National Natural Science Foundation of China(42101258); Natural Science Foundation of Shandong(ZR2019QD006)]

作者简介(Biography): 莫钧雄(1997-),男,广西贵港人,硕士研究生,主要研究方向:土地利用变化的生态环境效应及土地利用冲突。[MO Junxiong(1997-), male, born in Guigang, Guangxi, M. Sc. candidate, research on ecological and environmental effects of land use change and land use conflict] E-mail: mjx461@163.com

\* 通讯作者(Corresponding author): 孙丕苓(1984-),女,博士,副教授,主要研究方向:土地利用/覆被变化及其生态效应与土地利用多功能。[SUN Piling(1984-), female, Ph. D., associate professor, research on land use/cover change, land ecological effects and land use multi-function] E-mail: spling86@qfnu.edu.cn

县<sup>[11]</sup>等尺度。其中,在绿地可达性和生态效益方面,诸多学者主要基于空间活力、居民需求、环境正义等视角,综合运用高斯两步移动搜索模型<sup>[12]</sup>、基尼系数<sup>[13]</sup>、语义分析<sup>[14]</sup>等方法分析绿地可达性和公平性的时空差异及其优化路径。也有部分学者从地理视角探究城市绿地的时空格局及驱动机制,指出自然<sup>[15]</sup>、经济<sup>[16]</sup>、社会<sup>[17]</sup>、政策<sup>[18]</sup>等因素对绿地空间格局具有重要的驱动作用,分析了土地利用方式<sup>[19]</sup>、气候差异<sup>[20]</sup>、人类活动<sup>[21]</sup>对绿地时空分异的影响。此外,一些学者从应用实践出发,基于绿地服务供需<sup>[22]</sup>、应急疏散<sup>[23]</sup>、空间治理<sup>[24]</sup>等角度,运用 InVEST 模型、粒子群算法、渐进覆盖模型等方法进行城市绿地规划分区与管控研究。

总体来看,已有相关研究主要侧重运用数理统计以及计量模型等方法对单个城市或城市群的城市绿地景观形态、布局以及空间格局特征进行研究。随着新型城镇化战略的深入实施,流域<sup>[25]</sup>、公园景区<sup>[26]</sup>、滨江绿地空间<sup>[27]</sup>等特殊区域逐渐成为绿地研究关注的热点区域,但对自然环境与人类活动差异显著的流域经济带不同河段城市绿地的时空格局及其驱动机制的系统研究关注较少。长江经济带横跨中国东中西三大地势阶梯,是中国“生态优先、绿色发展”战略实施的关键区域<sup>[28]</sup>。由于长江经济带不同河段经济基础、资源禀赋差异引发的城市绿地建设与布局不均衡问题,逐渐成为推进长江经济带协同发展亟需解决的问题<sup>[29]</sup>。

本文以长江经济带为例,综合运用城市绿地率测度模型、空间自相关分析、地理探测器等分析 2000—2020 年长江经济带城市绿地时空分异特征及影响因素,以期为该区域城市绿地的合理布局与区域可持续发展提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

长江发源于青藏高原唐古拉山脉,自西向东流经青海、西藏、湖北和上海等 11 个省级行政区。长江经济带位于 24°30′~35°45′N, 90°33′~122°25′E, 横跨长江上、中、下游,涵盖 11 个省、直辖市,下辖 129 个地级市,总面积为  $2.05 \times 10^6 \text{ km}^2$ , 占全国总面积的 21%。地势整体自西向东倾斜,高原、山地、盆地、丘陵、平原等地形呈阶梯状分布,海拔为 -67 ~

6304 m (图 1),属于亚热带季风气候,全区年平均气温 16℃~18℃,年均降水量 800~1600 mm。截至 2020 年底,长江经济带总人口达 6.06 亿人,占全国的 42.9%,地区生产总值 47.16 万亿元,占全国城市的 46.60%。长江经济带坚持上、中、下游协同发展,是以生态优先、绿色发展为引领的示范带,其城市绿地建设备受关注。

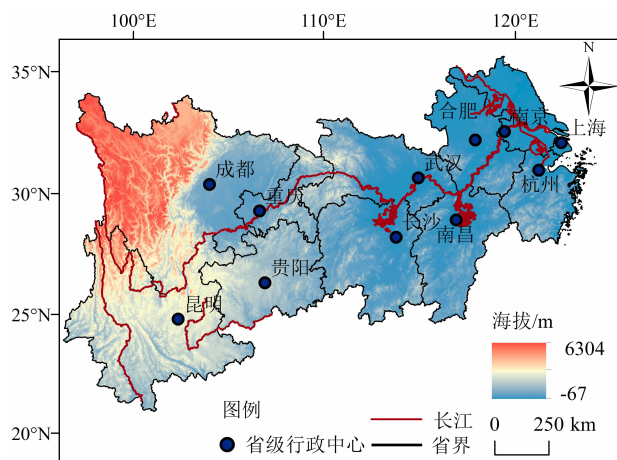


图 1 长江经济带区位图

Fig. 1 Location of the Yangtze River Economic Belt, China

(审图号为 GS(2019)3333)

### 1.2 数据来源与处理

本研究数据主要由地形、气象和社会经济数据等数据组成。气象数据包括年均降水量、年均气温、年日照时数等,源于长江经济带内各城市的统计年鉴;地形数据包括高程和地表起伏度,源于地理空间数据云 ([http:// www. gscloud. cn](http://www.gscloud.cn));人口密度、人均 GDP 等社会经济统计数据主要源于 2000—2021 年《中国城市建设统计年鉴(报)》<sup>[17]</sup>《中国城市统计年鉴》<sup>[18]</sup>以及长江经济带内各个城市统计年鉴,部分缺失数据用相邻年份数据替代。考虑到长江经济带行政区划的变迁,需要对行政区进行调整处理,以 2020 年的长江经济带市域行政区划为依据,对研究期内长江经济带行政区划进行调整。

### 1.3 研究方法

本文基于国内外城市绿地研究综述<sup>[16,38]</sup>,以城市绿地率测度为基础,通过城市绿地的特征分析、空间格局演化分析、空间集聚特征分析及其影响因素分析形成本文研究思路,研究框架如图 2 所示。

#### 1.3.1 城市绿地率测度

运用城市绿地面积与城市建成区总面积的比值

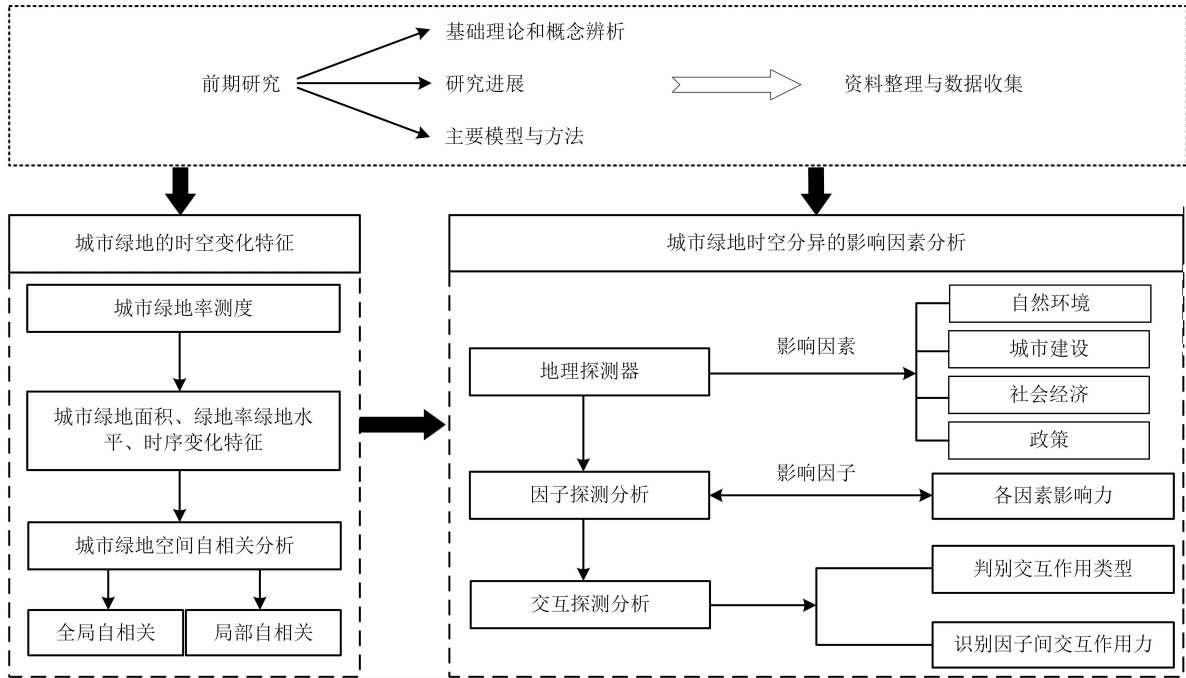


图 2 研究框架

Fig. 2 Research framework of this study

表征城市绿地率,计算公式为:

$$U_L = \frac{S_u}{S_a} \times 100\% \quad (1)$$

式中,  $U_L$  为城市绿地率;  $S_u$  为城市绿地面积;  $S_a$  为建成区总面积。结合《城市园林绿化评价标准》(GB/T50563-2010)中的划分标准<sup>[17]</sup>,运用自然断点法将城市绿地水平划分为低水平[0, 0.26]、较低水平(0.26, 0.32]、中等水平(0.32, 0.36]、较高水平(0.36, 0.40]、高水平(0.40, 1.00]5个等级。

### 1.3.2 空间自相关分析

空间自相关分析包括全局自相关和局部自相关两部分,广泛应用于地理变量的空间关联性和空间集聚特征的分析。运用空间自相关分析方法解释长江经济带城市绿地的时空特征。计算公式为:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (i \neq j) \quad (2)$$

$$LISA_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}} \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (3)$$

式中,  $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$ ;  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ ;  $X_i$  和  $X_j$  分别为市域单元  $i$  和  $j$  的绿地率;  $n$  为长江经

济带城市数量;  $w_{ij}$  为空间权重矩阵。  $I$  取值在 -1 与 1 之间,  $I$  值越接近于 1, 表示城市绿地的空间聚集性越强;  $I$  越接近于 -1, 表明城市间的空间差异性越强;  $I$  接近 0 说明城市之间不存在空间自相关性。  $LISA_i > 0$ , 表示该区域单元周围相似值(高值或低值)在空间上的聚集。  $LISA_i$  为空间单元  $i$  的局部空间自相关统计量;  $LISA_i < 0$ , 表示非相似值在空间上的聚集。最后,将长江经济带城市绿地的空间集聚特征划分为不显著、高-高集聚、高-低集聚、低-高集聚、低-低集聚 5 种类型。

### 1.3.3 影响因素模型构建

#### (1) 变量选取

根据已有研究结果,将城市绿地时空变化的影响因素归纳为自然、社会经济、区域政策等 3 个维度。综合考虑数据的科学性、可获得性,从自然、社会经济、区域政策等维度选取城市绿地时空分异的驱动因子(表 1)。其中,选取年均降水量、年均气温、年日照时数表征气候影响因素;社会经济因素方面选取人口密度表征人口规模,选取人均建成区面积、建成区路网密度、人均道路面积表征城市建设,以人均 GDP 和第三产业与第二产业比重表征经济发展;区域政策方面,选取园林绿化固定资产投资占比、园林城市建设表征政府调控能力。

(2)模型选择

运用地理探测器的因子探测和交互探测模块辨识城市绿地时空分异的影响因素<sup>[30]</sup>,计算公式为:

$$P_{DU} = 1 - \frac{1}{n\sigma_U^2} \sum_{i=1}^m n_{D,i} \sigma_{U_{D,i}}^2 \tag{4}$$

式中, $P_{DU}$ 为影响因素对城市绿地的影响力探测指标; $n$ 为城市数量; $\sigma_U^2$ 为城市绿地率的方差; $m$ 为次级区域个数; $n_{D,i}$ 为次一级区域样本数; $\sigma_{U_{D,i}}^2$ 为次一级区域城市绿地率方差。

2 结果与分析

2.1 长江经济带城市绿地时空变化特征

运用数理统计方法汇总 2000—2020 年长江经

济带不同河段绿地变化特征(表 2、图 3)。2000—2020 年长江经济带城市绿地面积由 3357.66 km<sup>2</sup> 增加到 13 425.32 km<sup>2</sup>,年均增幅为 503.38 km<sup>2</sup>。长江经济带城市绿地率由 22.56% 增加到 39.04%。这一时期长江经济带上、中、下游城市绿地增速差异显著,上游地区城市绿地面积净增加 2331.24 km<sup>2</sup>,年均增幅为 116.56 km<sup>2</sup>。中游地区城市绿地面积增长了 104.01%,年均增幅为 67.26 km<sup>2</sup>。下游地区城市绿地面积增长了 4.71 倍,年均增幅高达 319.55 km<sup>2</sup>。由此可见,长江经济带城市绿面积增速下游>上游>中游,其中下游地区城市绿地率提升最快(图 3)。

长江经济带全区与上、中、下游城市绿地面积的稳步增长具有一致性。2000—2002 年长江经济带

表 1 城市绿地时空分异影响因素指标体系

Tab. 1 Influence factors of spatial-temporal differentiation of urban green space

影响因素	影响因子	变量解释
自然 环境	$X_1$ 年均降水量/mm	统计年鉴数据
	$X_2$ 年均气温/℃	统计年鉴数据
	$X_3$ 年日照时数/h	统计年鉴数据
	$X_4$ 高程/m	基于 ArcGIS 分区统计获取
	$X_5$ 地表起伏度/m	基于 ArcGIS 分区统计获取
社会 经济	人口规模 $X_6$ 人口密度/(人/km <sup>2</sup> )	总人口/土地面积,统计年鉴数据
	$X_7$ 人均建成区面积/(m <sup>2</sup> /人)	建成区面积/总人口,统计年鉴数据
	城市建设 $X_8$ 建成区路网密度/(km/km <sup>2</sup> )	建成区道路长度/建成区面积,统计年鉴数据
	$X_9$ 人均道路面积/(m <sup>2</sup> /人)	建成区道路长度/总人口,统计年鉴数据
	经济发展 $X_{10}$ 人均 GDP/元	地区生产总值/总人口,统计年鉴数据
	$X_{11}$ 二三产业比重/%	第二三产业产值/地区生产总值,表征产业结构调整变化趋势
	区域政策 $X_{12}$ 园林绿化固定资产投资占比/%	园林绿化固定资产投资/城市市政公用设施建设固定资产投资,表征绿地建设投资情况
	$X_{13}$ 园林城市建设	园林城市=1,非园林城市=0,表征城市人民政府的绿地建设政策

表 2 2000—2020 年长江经济带城市绿地变化情况

Tab. 2 Changes of urban green space in the Yangtze River Economic Belt during 2000 to 2020

地区	2000 年		2010 年		2020 年		2000—2020 年	
	绿地面积/km <sup>2</sup>	绿地率/%	绿地面积/km <sup>2</sup>	绿地率/%	绿地面积/km <sup>2</sup>	绿地率/%	绿地面积变化/km <sup>2</sup>	变化率/%
长江经济带	3357.66	22.56	8116.08	33.36	13 425.32	39.04	10 067.66	299.84
上游地区	762.33	17.98	1667.55	28.34	3093.57	37.77	2331.24	305.80
中游地区	1293.37	25.87	1461.99	36.15	2638.65	39.58	1345.28	104.01
下游地区	1301.96	24.50	4986.54	36.32	7693.10	39.78	6391.14	490.89



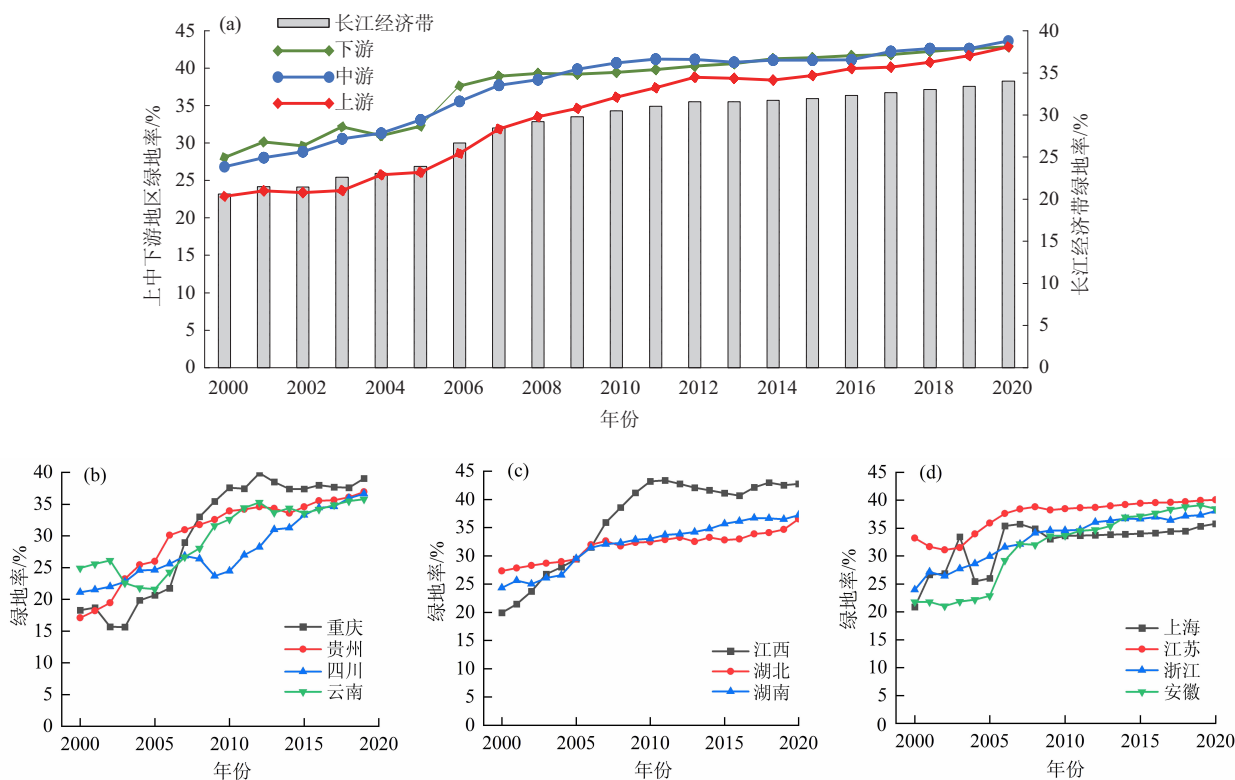


图3 2000—2020 年长江经济带绿地率:

(a) 长江经济带城市;(b) 上游城市;(c) 中游城市;(d) 下游城市

Fig. 3 Urban green space rate in the Yangtze River Economic Belt during 2000 to 2020;

(a) the Yangtze River Economic Belt;(b) the upstream area;(c) the midstream area;(d) the downstream area

城市绿地面积均呈上升趋势,但 2002—2003 年绿地面积下降了 814.81 km<sup>2</sup>,增长速度下降;随着政府园林绿化固定投资的增加,2003—2020 年长江经济带绿地面积呈现逐年增加的态势。其中,2009 年绿地面积增长 1410.96 km<sup>2</sup>,增速高达 22.86%,远高于同期全国 14.06% 的增速。从增长幅度来看,2000—2005 年长江经济带城市绿面积增速呈现下游 > 中游 > 上游的特征,2006—2020 年增速呈现下游 > 上游 > 中游的特征(图 4)。这说明长江经济带的人口集聚能力不断增强,城市绿地建设也在同步推进,但人口规模与资源环境承载能力对城市绿地面积增长的制约日益显著。

2000—2020 年长江经济带城市绿地水平时空差异显著,整体上呈现东高低的分布格局(图 5)。2000 年长江经济带城市绿地较高、高水平区主要集中在湖北、安徽两省,包括十堰、阜阳、黄山等 7 个地级市;中等水平区则零散分布于中下游地区的湖北、湖南、安徽和江苏 4 省,涉及宜昌、怀化、南京等 5 个地市。较低、低水平区呈现片状、团块状分布

于整个研究区。2020 年高水平区向东部扩张,主要集中在江西和安徽交界地区,涉及赣州、南昌、南通等 26 个地市;较高水平区由川西山地转向云贵高原地区,主要分布于安顺、铜仁和杭州等 48 个地市;中等集聚区向上游云贵高原和中部平原地区收缩,包括丽江、西昌、雅安、贵阳等地市。较低水平区及以下等级区分布范围显著收缩,主要集中在中等水平区周边区域分布,数量由 118 个锐减至 10 个,仅占研究区区域总数的 7.75%。

## 2.2 长江经济带城市绿地空间集聚特征

基于 ArcGIS 软件平台计算 2000—2020 年长江经济带城市绿地的全局 Moran's *I* 指数。结果显示 2000、2010、2020 年长江经济带的 Moran's *I* 指数分别为 0.163、0.261、0.439,均通过了显著性检验,表明长江经济带城市绿地存在明显的空间关联性,呈现明显的趋同趋势,并且空间集聚特征明显增强。

运用局部空间自相关模块分别计算 2000—2020 年长江经济带城市绿地的局部 *LISA<sub>i</sub>* 指数,绘

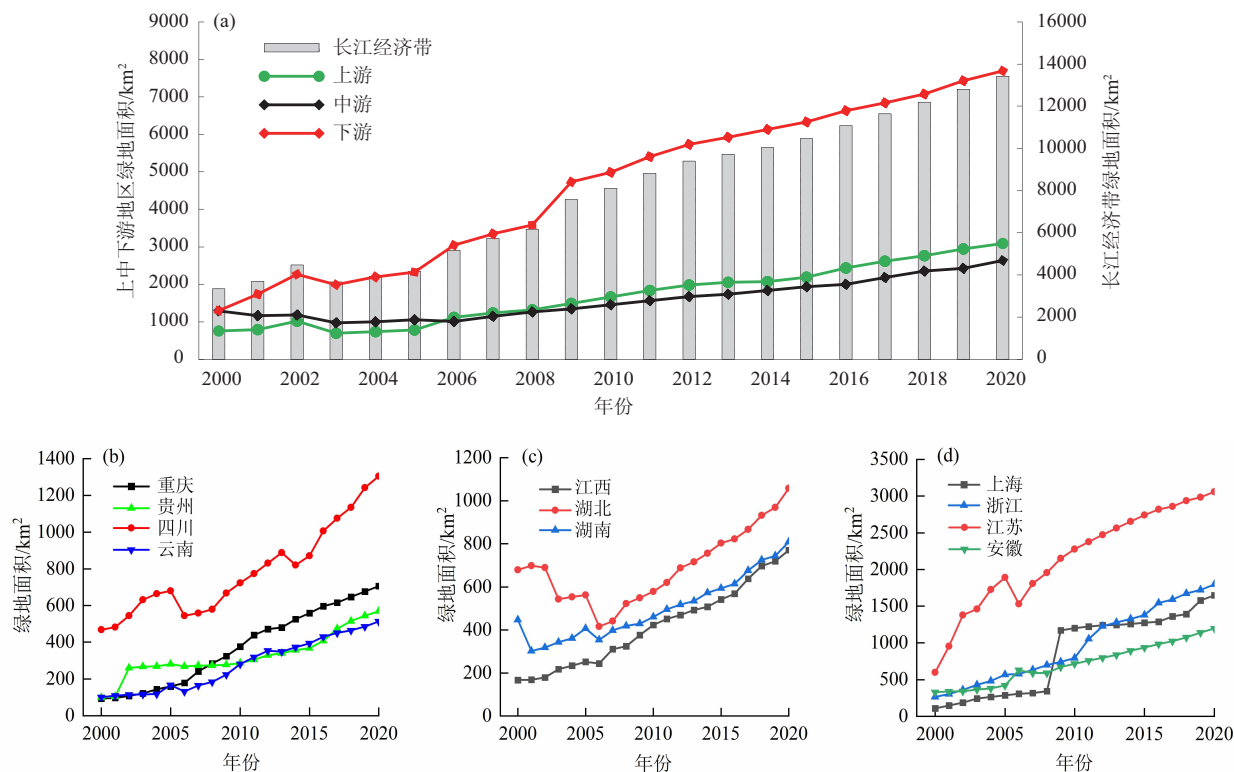


图4 2000—2020年长江经济带绿地面积:

(a) 长江经济带城市; (b) 上游城市; (c) 中游城市; (d) 下游城市

Fig. 4 Area of urban green space in the Yangtze River Economic Belt during 2000 to 2020:

(a) the Yangtze River Economic Belt; (b) the upstream area; (c) the midstream area; (d) the downstream area

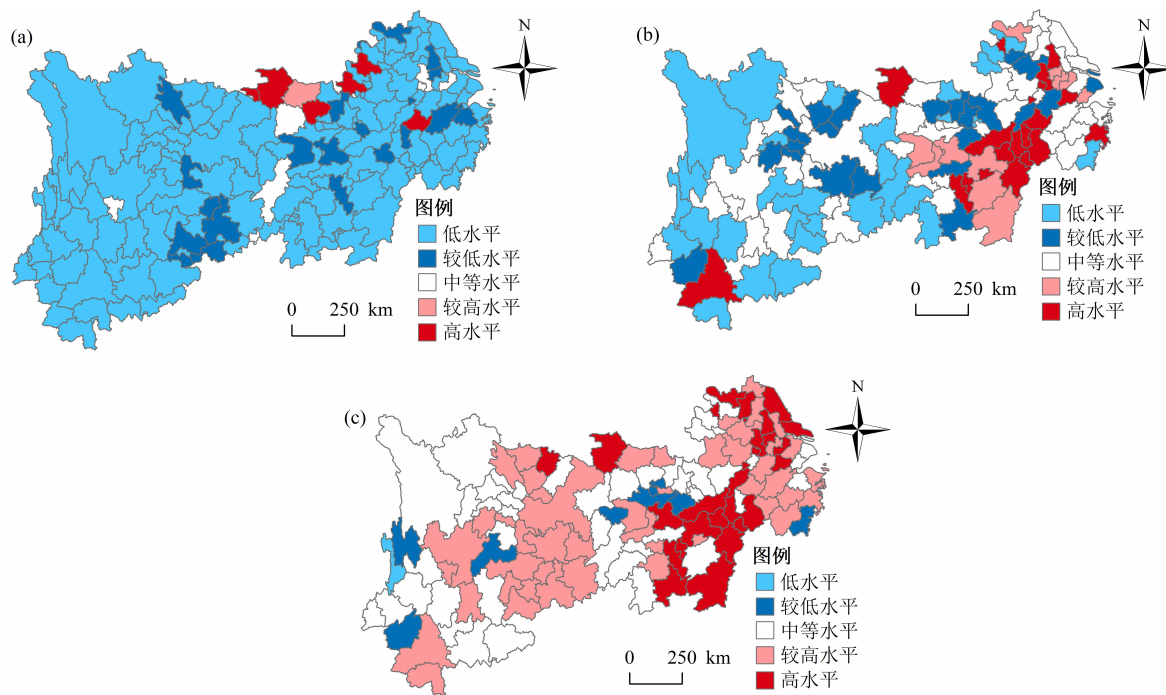


图5 长江经济带城市绿地水平:

(a) 2000年; (b) 2010年; (c) 2020年

Fig. 5 Horizontal spatial distribution of urban green space in the Yangtze River Economic Belt:

(a) in 2000; (b) in 2010; (c) 2020

制空间集聚图(图 6)。2000—2020 年长江经济带城市绿地高-高集聚区由中部向东部转移,低-低集聚区向西部集聚,高-低与低-高集聚区趋于收缩。图 6a 显示,2000 年长江经济带城市绿地高-高集聚区集中分布于长江中游江汉平原地区,包括襄阳、随州、宜昌等 6 个地市。此外,在长江下游南京市、宣城市也形成了小规模的城市绿地高值集聚区。低-低集聚区主要分布于川西山地和滇西高原地区,涵盖甘孜藏族自治州、雅安市、保山市等地。高-低和低-高集聚区零散分布于江苏与浙江省域边缘地区。2020 年高-高集聚区向东南部扩展,集中分布于江西、安徽、江苏三省交界地区,涵盖南昌、池州、赣州等 10 个地市,呈条带状从江西延伸至江苏分布。低-低集聚区趋向山区分布,向川西山地、云贵高原北部以及中游山区集聚,主要分布于甘孜、保山、雅安等 14 个地市。高-低集聚和低-高集聚区范围大幅收缩,零星分布于普洱、荆门、宿州等 10 个地市。总体来看,长江经济带绿地率空间集聚两极分化明显,城市绿地高值集聚区趋于分布于平原-低山丘陵

分布特征,低值集聚区趋于省域边缘山区分布,主要分布于四川、云南、贵州交接地带,在保山市、铜仁市和泸州市呈零散分布。

## 2.3 长江经济带城市绿地时空分异的影响因素

### 2.3.1 因子探测分析

运用地理探测器模型识别长江经济带城市绿地时空分异的影响因素,结果表明自然环境、社会经济、政策等因素共同作用于长江经济带城市绿地时空分异(表 3)。

(1)气候与地形条件是长江经济带城市绿地时空分异的宏观背景

长江经济带城市绿地空间分布格局与自然环境关系密切,气候、地形等自然条件是该区域发展的地理背景,初步确定了长江经济带城市绿地分布的空间格局。2000—2020 年上游地区年均气温、高程、日照时数、地表起伏度  $q$  值分别为 0.481、0.424、0.554、0.529;中游年均降水量、高程对城市绿地时空分异的影响程度居前 2 位,其  $q$  值分别为 0.416、0.373。其中,年均降水量、年日照时数、地表起伏度

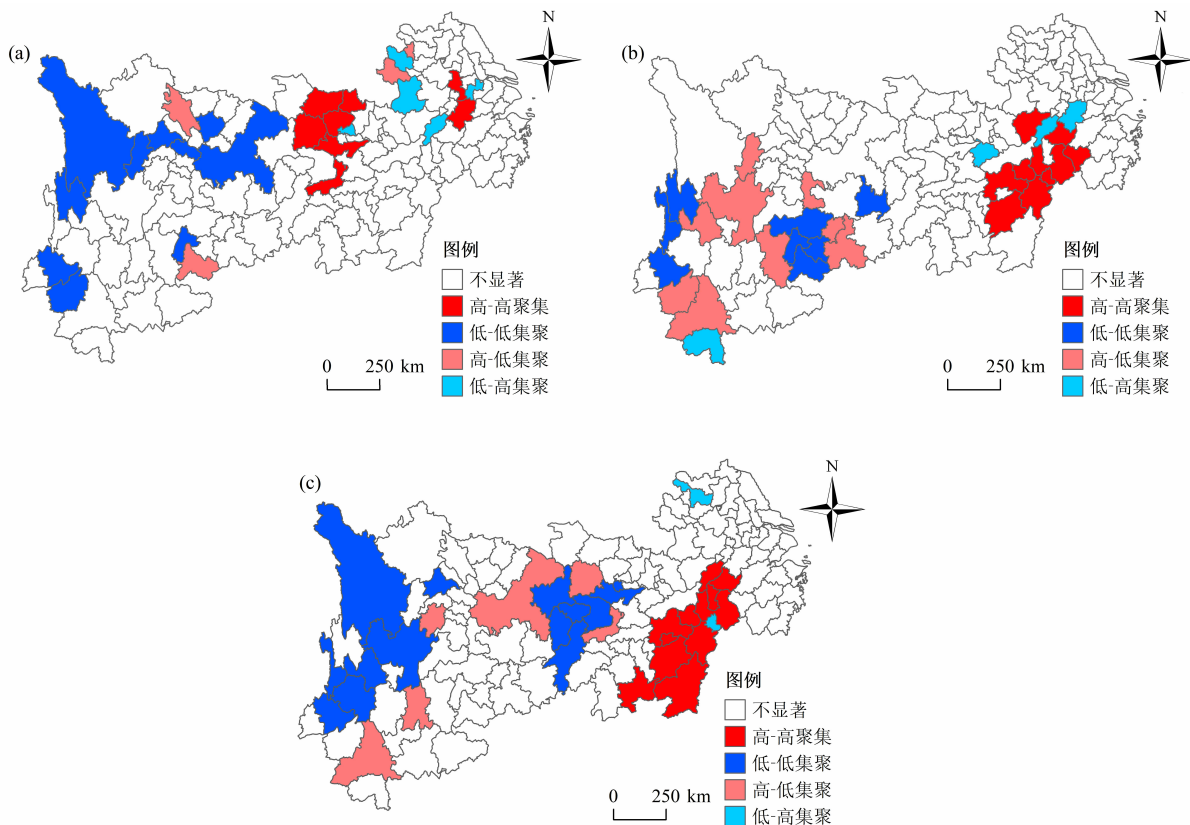


图 6 长江经济带城市绿地 LISA 集聚图:(a)2000 年;(b)2010 年;(c)2020 年

Fig. 6 LISA agglomeration of urban green space in the Yangtze River Economic Belt:

(a) in 2000; (b) in 2010; (c) in 2020

表 3 长江经济带城市绿地因子探测统计结果

Tab. 3 Statistical results of factor detection of urban green space in the Yangtze River Economic Belt

影响因素	2000 年 $q$ 值				2010 年 $q$ 值				2020 年 $q$ 值			
	全区	上游	中游	下游	全区	上游	中游	下游	全区	上游	中游	下游
年均降水量	0.310***	0.401***	0.410***	0.211***	0.433**	0.381***	0.548***	0.142***	0.324***	0.323***	0.541***	0.387***
年均气温	0.210***	0.481***	0.131***	0.226***	0.463***	0.555***	0.152***	0.157***	0.169***	0.488***	0.409***	0.426***
年日照时数	0.271***	0.393***	0.402***	0.289***	0.344***	0.243***	0.455***	0.151***	0.320***	0.554***	0.400***	0.548***
高程	0.199**	0.476***	0.306***	0.103***	0.441***	0.456***	0.271***	0.182***	0.363***	0.443***	0.403***	0.458***
地表起伏度	0.181***	0.424***	0.324***	0.069***	0.316***	0.558***	0.391***	0.132***	0.372***	0.528***	0.277***	0.455***
人口密度	0.158***	0.534***	0.033***	0.167***	0.272***	0.308***	0.125***	0.162***	0.357***	0.486***	0.359***	0.377***
人均建成区面积	0.180***	0.305***	0.257***	0.142***	0.246***	0.279***	0.109***	0.203***	0.190***	0.338***	0.241**	0.193***
建成区路网密度	0.108***	0.365***	0.062***	0.140***	0.349***	0.367***	0.121***	0.211***	0.290***	0.358***	0.373***	0.294***
人均道路面积	0.250***	0.434***	0.512***	0.043***	0.484***	0.250***	0.347***	0.135***	0.284***	0.263***	0.270***	0.350***
人均 GDP	0.362***	0.502***	0.532***	0.355***	0.535***	0.283***	0.322***	0.155***	0.132***	0.244***	0.024***	0.121***
二三产业比重	0.143***	0.295***	0.330***	0.112***	0.550***	0.517***	0.521***	0.150***	0.261***	0.193***	0.380***	0.445***
园林绿化固定资产投资占比	0.145***	0.329***	0.231***	0.181***	0.358***	0.112**	0.214***	0.139***	0.086***	0.247***	0.136***	0.194***
园林城市建设	0.075***	0.001***	0.129***	0.034***	0.356***	0.172***	0.191***	0.206***	0.303***	0.203***	0.353***	0.006**

注：\*\*\*、\*\* 分别表示在 1%、5% 水平上显著。

是自然环境因素中影响最显著的驱动因子,上、中、下游地区研究期内年解释力均超过 0.20。可见,2000—2020 年气候条件、地形条件对中游地区城市绿地时空分异的影响程度不断增强,表明长江经济带跨中国东、中、西三大地势阶梯,气候和地形差异悬殊,是决定城市绿地空间格局的基础条件。长江经济带气候过渡性显著,自东向西降水量差异明显,上、中、下游气候条件对城市绿地空间格局的影响较为一致,均呈现先增强后减弱的态势。

(2)人口规模与经济发展是长江经济带城市绿地时空分异的原动力

长江经济带是具有全球影响力的内河经济带,也是生态文明建设的先行示范带,人口规模与经济发展是影响该区域城市绿地时空分异的重要诱因。2020 年人口密度是影响城市绿地时空最重要的社会因子,长江经济带、上游地区、中游地区和下游地区解释力分别为 0.357、0.486、0.359、0.377,排序分别为第 3、第 3、第 4、第 6,表明人口规模是城市绿地建设的重要动力,人口是城市工业、农牧业发展的基础要素。2000 年长江经济带、上游地区、中游地区、下游地区人均 GDP 的  $q$  值分别为 0.362、0.502、

0.532、0.355,排序分别为第 1、第 2、第 1、第 1,表明人均 GDP 是影响城市绿地空间分异最关键的影响因子。此外,二三产业比重对城市绿地时空分异影响程度明显增强,其  $q$  值增大至 0.261,排序由第 11 位跃居第 4 位,表明经济调整对城市绿地建设的引导作用显著增强。

(3)城市建设水平是长江经济带城市绿地时空分异的基础动因

长江经济带仍处于快速工业化和城市化时期,城市建设水平是区域城市绿地时空分异的基础动因。2000—2020 年长江经济带人均建成区面积、人均道路面积、建成区路网密度的影响程度不断增强,其  $q$  值分别为 0.190、0.290、0.284,说明这一阶段城市建设是影响城市绿地空间分异的重要因素。2020 年上游地区城市绿地空间分异的主要影响因子演变为人均建成区面积、建成区路网密度,其  $q$  值分别为 0.486、0.358,表明西部大开发与生态文明建设战略的实施,有效地推动了上游地区城市基础设施建设和新型城镇化建设,以此为基础在园林城市创建政策的引导下影响城市绿地建设与分布。

(4)区域政策的宏观调控是长江经济带城市绿

地时空分异的前提条件

区域政策反映了区域政府对土地利用配置的宏观调控,是城市绿地空间格局演化的重要驱动力。2000—2020 年园林城市建设对城市绿地空间分异影响程度明显增强,其  $q$  值增大至 0.303,表明园林城市建设政策对城市绿地建设的引导作用显著增强,说明生态文明建设战略实施以来,经济规模对城市绿地建设的影响有所减弱。总体来看,面对长江经济带“共抓大保护,不搞大开发”的战略要求,城市绿地建设成为园林城市创建的重要途径,也是推进建设新型城镇化、提升城市可持续发展能力、提高城镇居民生活质量的客观要求,园林城市建设政策与区域产业结构升级对城市绿地时空分异的影响逐渐显现。

总体来看,上游地区城市绿地时空分异主要受

地形条件、城镇基础建设和园林城市创建政策的影响,中游地区主要受气候、地形条件等环境本底与园林绿化投资政策的影响,下游地区受气候条件与产业结构调整的共同影响。

2.3.2 交互探测分析

运用地理探测器交互探测模块对长江经济带城市绿地时空分异的影响因子进行交互作用探测,提取交互作用影响力居前 10 位的交互因子进行分析(表 4)。

表 4 显示,城市绿地时空分异的影响因子交互作用呈现双因子与非线性增强效应。2000 年,人均道路面积 $\cap$ 人均 GDP、人均 GDP $\cap$ 园林绿化固定资产投资占比、人均道路面积 $\cap$ 园林绿化固定资产投资占比对城市绿地时空分异的影响程度位居前三,其影响力分别为 0.678、0.666、0.660,这一时期经济发展水

表 4 长江经济带城市绿地交互作用探测结果

Tab.4 Results of interaction detection of urban green space in the Yangtze River Economic Belt

年份	长江经济带		上游		中游		下游	
	交互类型	$q$ 值	交互类型	$q$ 值	交互类型	$q$ 值	交互类型	$q$ 值
2000	$X_{10} \cap X_{12}$	0.678 *	$X_8 \cap X_9$	0.971 *	$X_2 \cap X_{10}$	0.960 *	$X_2 \cap X_8$	0.917 *
	$X_9 \cap X_{10}$	0.666 *	$X_6 \cap X_{12}$	0.939 *	$X_6 \cap X_9$	0.945 *	$X_7 \cap X_{10}$	0.912 *
	$X_9 \cap X_{12}$	0.660 *	$X_2 \cap X_{10}$	0.925 **	$X_3 \cap X_{11}$	0.944 *	$X_8 \cap X_{10}$	0.906 *
	$X_5 \cap X_8$	0.657 *	$X_{10} \cap X_{12}$	0.924 *	$X_9 \cap X_{10}$	0.938 **	$X_9 \cap X_{10}$	0.904 *
	$X_6 \cap X_{10}$	0.648 *	$X_9 \cap X_{10}$	0.923 **	$X_9 \cap X_{11}$	0.915 *	$X_6 \cap X_{11}$	0.894 *
	$X_6 \cap X_9$	0.648 *	$X_7 \cap X_9$	0.915 *	$X_5 \cap X_{10}$	0.913 *	$X_3 \cap X_2$	0.886 *
	$X_9 \cap X_{11}$	0.644 *	$X_7 \cap X_{10}$	0.914 *	$X_{11} \cap X_{12}$	0.911 *	$X_3 \cap X_{11}$	0.880 *
	$X_4 \cap X_9$	0.641 *	$X_3 \cap X_6$	0.905 **	$X_2 \cap X_3$	0.909 *	$X_1 \cap X_{12}$	0.876 *
	$X_4 \cap X_8$	0.640 *	$X_5 \cap X_{11}$	0.897 *	$X_5 \cap X_{12}$	0.905 *	$X_3 \cap X_6$	0.869 *
	$X_8 \cap X_{10}$	0.639 *	$X_1 \cap X_{10}$	0.895 **	$X_4 \cap X_{10}$	0.884 **	$X_8 \cap X_{12}$	0.868 *
2020	$X_4 \cap X_6$	0.775 *	$X_2 \cap X_{11}$	0.953 *	$X_1 \cap X_9$	0.985 *	$X_5 \cap X_8$	0.967 *
	$X_1 \cap X_9$	0.774 *	$X_5 \cap X_6$	0.941 **	$X_1 \cap X_7$	0.974 *	$X_2 \cap X_9$	0.965 *
	$X_5 \cap X_6$	0.762 *	$X_1 \cap X_3$	0.927 *	$X_6 \cap X_7$	0.971 *	$X_3 \cap X_9$	0.960 *
	$X_1 \cap X_3$	0.742 *	$X_4 \cap X_8$	0.927 *	$X_6 \cap X_{12}$	0.971 *	$X_9 \cap X_{10}$	0.945 *
	$X_1 \cap X_8$	0.736 *	$X_1 \cap X_5$	0.925 *	$X_3 \cap X_8$	0.964 *	$X_4 \cap X_8$	0.939 *
	$X_3 \cap X_8$	0.728 *	$X_{11} \cap X_{12}$	0.923 *	$X_8 \cap X_{12}$	0.958 *	$X_9 \cap X_{11}$	0.939 *
	$X_3 \cap X_4$	0.721 *	$X_5 \cap X_9$	0.915 *	$X_8 \cap X_9$	0.952 *	$X_1 \cap X_6$	0.926 *
	$X_9 \cap X_{12}$	0.707 *	$X_3 \cap X_8$	0.914 *	$X_3 \cap X_4$	0.950 *	$X_3 \cap X_6$	0.919 *
	$X_1 \cap X_4$	0.697 *	$X_3 \cap X_6$	0.907 **	$X_4 \cap X_{12}$	0.948 *	$X_8 \cap X_{12}$	0.916 *
	$X_2 \cap X_6$	0.696 *	$X_1 \cap X_6$	0.898 *	$X_5 \cap X_6$	0.939 *	$X_6 \cap X_{12}$	0.902 *

注: \*、\*\* 分别表示非线性增强和双因子增强。

平的提高有助于吸引人口集聚,推进城市基础设施的建设,为园林城市建设提供资金支持。此外,园林城市建设对城市绿地时空分异具有引导作用。2020年,高程 $\cap$ 人口密度、年均降水量 $\cap$ 人均道路面积、地表起伏度 $\cap$ 人口密度对城市绿地时空分异的影响程度跃居前3位,其影响力分别为0.775、0.774、0.762;其次,人均道路面积 $\cap$ 园林绿化固定投资占比、年均降水量 $\cap$ 建成区路网密度对城市绿地时空分异的影响力也显著增强。总体而言,区域政策在城市绿地建设进程中持续发挥宏观调控作用,随着新型城镇化建设和人们生活质量的提高,人们对城市绿地、城市公园等游憩空间的需求增加,促进城市绿地建设。

研究期间,长江经济带上中下游城市绿地时空分异影响因子的交互作用差异明显(表4)。2000—2020年长江上游城市绿地时空分异影响程度居前三位的交互因子由建成区路网密度 $\cap$ 人均道路面积(0.977)、人口密度 $\cap$ 园林绿化固定投资占比(0.939)、年均气温 $\cap$ 人均GDP(0.925)转变为年均气温 $\cap$ 二三产业比重(0.953)、地表起伏度 $\cap$ 人口密度(0.941)、年均降水量 $\cap$ 年日照时数(0.927)以及高程 $\cap$ 建成区路网密度(0.927)。气候条件与社会经济的相互作用对中游地区城市绿地时空分异的影响程度有所减弱,地形条件与城市建设以及社会经济因素与区域政策交互作用的影响程度逐渐增强,表明自然因素与社会经济因素以及社会经济因素与政策因素交互作用可有效增强影响因子对城市绿地时空分异的解释能力。2000年以来,对下游地区城市绿地时空分异影响程度居前三位的交互因子由年均气温 $\cap$ 建成区路网密度(0.917)、人均建成区面积 $\cap$ 人均GDP(0.912)、建成区路网密度 $\cap$ 人均GDP(0.906)演变为建成区路网密度 $\cap$ 园林绿化固定投资占比(0.967)、地表起伏度 $\cap$ 建成区路网密度(0.965)、年均气温 $\cap$ 人均道路面积(0.960),表明自然与人为(例如地形、城市建设、区域政策)因素的相互作用是城市绿地时空分异的驱动因素,随着生态文明建设战略的实施,长江经济带提出“共抓大保护、不搞大开发”的战略要求,在一定程度上反映了园林绿化投资对城市绿地时空分异的影响程度。

2000—2020年自然环境因素、社会经济因素与政策因素的交互作用呈现双因子增强和线性增强效

应,表明自然环境、人口规模、经济发展、城市建设、区域政策等因素的共同影响了长江经济带城市绿地时空分异格局(图7)。21世纪初期,城市绿地时空分异主要受到社会经济的影响。同时,气候条件与地形条件作为城市绿地建设的环境本底,在一定程度上决定了城市绿地的空间格局,人口规模和城镇基础建设是城市绿地建设的重要动力。社会经济与政策因素的交互作用是城市绿地时空分异的重要动力因素,其对城市绿地时空分异的影响程度逐渐增强。

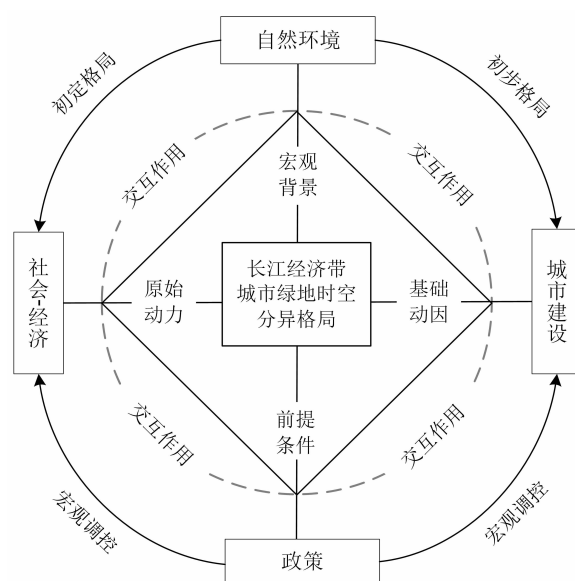


图7 长江经济带城市绿地时空分异驱动机制图

Fig. 7 Spatial-temporal differentiation driving mechanism of urban green space in the Yangtze River Economic Belt

### 3 讨论

城市公园绿地是城市中重要的公共资源,与人群健康、生态环境、社会福祉紧密相关。本研究基于城市绿地的地理空间差异,综合自然、社会经济和政策制度等因素,运用地理探测器模型对长江经济带城市绿地进行时空分异特征及其驱动机制进行了实证研究。研究表明,2000—2020年长江经济带城市绿地水平总体呈现上升的趋势,不同河段的绿地增速存在明显差异,其关键影响因素也不同。

长江经济带快速城市化进程构成了城市绿地时空格局及其演变的基本背景和条件。研究发现,长江经济带各河段之间的城市绿化发展存在不平衡的现象,下游地区绿地增速快于中上游地区,与先前研



究结果较相似,即经济越发达的区域城市绿地建设水平越高<sup>[31-32]</sup>。从 2000—2020 年长江经济带城市绿地时空分异影响因素的研究来看,自然因素奠定了早期城市绿化建设的基本格局,政策制度是调节和控制城市绿地变化的手段,社会经济是短期城市绿地变化的主要驱动因素,且影响程度正进一步加强<sup>[10]</sup>。自然环境初步决定了城市绿地的空间分布格局,年均降水量、年均气温在城市绿地建设中发挥重要作用,这与之前的研究结果一致<sup>[16,26]</sup>。此外,地形条件对城市绿地时空分异的影响也一直受到许多学者的关注,研究发现高程和坡度对城市绿地的建设具有显著的影响作用<sup>[33-34]</sup>。已有研究表明,社会经济因素在绿地时空变化中起着重要作用。如人口规模<sup>[35]</sup>和城市面积<sup>[36]</sup>、人均 GDP<sup>[37]</sup>、产业结构<sup>[38]</sup>与城市绿地面积呈正相关。同时,居民对绿地生态服务的需求会随着生活质量的提高而增加,政府投资也会直接影响城市绿地的面积<sup>[39-40]</sup>。整体上,长江经济带城市绿地建设是自然环境、社会经济、城市建设、政策等多种因素综合作用的结果,但不同河段之间的主导影响因素存在一定差异。然而,随着城市规模 and 经济发展趋于平缓,城市发展逐渐由量变向质变转变,城市发展质量对城市人口的吸引力和城市人口对城市绿地的需求成为当前城市绿地发展最重要的驱动力。

本文可为研究市域尺度地理要素的时空分异及影响机理提供一种解析思路。此外,尽管地理探测器既能同时解析自然及人文等多类型因素的空间解释力,又能探明双因子间的交互作用,但难以明确各驱动因子对城市绿地的影响是正向或负向。由于社会经济、政策指标的选择等受到限制,导致影响因素指标体系有一定的局限性。因此,后续研究可引入城市化率、生态效益、财政支出和用地类型等指标,并结合地理加权回归、随机森林、结构方程模型等方法模型,更全面地剖析影响城市绿地时空分异的驱动因素,为进一步提升绿地建设水平提供客观科学的理论基础。

## 4 结论

本文结合城市绿地率测度模型、空间自相关分析、地理探测器等分析 2000—2020 年长江经济带城市绿地时空分异特征及影响因素,得到以下结论。

(1) 2000—2020 年长江经济带城市绿地面积由 3357.66 km<sup>2</sup> 增加到 13 425.32 km<sup>2</sup>,城市绿地率由 22.56% 增加到 39.04%,城市绿地增速呈现出下游城市 > 上游城市 > 中游城市的特征。

(2) 2000—2020 年长江经济带城市绿地呈现显著的空间集聚特征且两极分化明显,高值集聚区呈现向东部转移态势,主要分布于江西、安徽、江苏三省交界地区;低值集聚区趋于中西部山区集聚,主要分布于四川、云南、贵州交接地带。

(3) 长江经济带城市绿地时空分异受气候条件、地形条件、人口规模、城市建设、经济发展、区域政策等因素的共同作用。各影响因子的交互作用对长江经济带城市绿地时空分异呈现双因子增强与非线性增强效应。

## 参考文献 (References)

- [1] 吴蓉, 潘卓林, 李志刚, 等. 城市绿地对居民地方依恋的影响研究——以广州市为例 [J]. 地理科学进展, 2021, 40(3): 441–456. [WU Rong, PAN Zhuolin, LI Zhigang, et al. Effect of green space on residents' place attachment: A case study of Guangzhou city [J]. Progress in Geography, 2021, 40(3): 441–456] DOI: 10.18306/dlkxjz.2021.03.008
- [2] CHOUMERT J. An empirical investigation of public choices for green spaces [J]. Land Use Policy, 2010, 27(4): 1123–1131. DOI: 10.1108/JES-07-2017-0168
- [3] KARDANI-YAZD N, KARDANI-YAZD N, DANESHVAR M R M. Strategic spatial analysis of urban greenbelt plans in Mashhad city, Iran [J]. Environmental Systems Research, 2019, 8(1): 1–13. DOI: 10.1186/s40068-019-0158-9
- [4] RABBANI G, MADANIAN S, DANESHVAR M R M. Multi-criteria modeling for land suitability evaluation of the urban greenbelts in Iran [J]. Modeling Earth Systems and Environment, 2021, 7(2): 1291–1307. DOI: 10.1007/s40808-020-01002-6
- [5] WU Longfeng, KIM S K. Exploring the equality of accessing urban green spaces: A comparative study of 341 Chinese cities [J]. Ecological Indicators, 2021, 121: 107080. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.107080
- [6] 李涛. 基于协同论的城市绿地系统布局调适——以上海市为例 [J]. 中国园林, 2021, 37(10): 66–70. [LI Tao. Urban green space system layout adjustment based on the synergetic theory: A case of Shanghai [J]. Chinese Landscape Architecture, 2021, 37(10): 66–70] DOI: 10.19775/j.cla.2021.10.0066
- [7] 芮旸, 唐蓓佩, 王兴, 等. 国家园林城市时空演变特征及其影响机理 [J]. 地理研究, 2018, 37(1): 20–36. [RUI Yang, TANG Beipei, WANG Xing, et al. The spatio-temporal evolutionary characteristics and the impact mechanism of national garden cities in China [J]. Geographical Research, 2018, 37(1): 20–36] DOI:

- 10.11821/dlj201801002
- [8] 吴啸慧, 刘志强, 王俊帝. 长三角城市群人均公园绿地面积时空分异格局演变及影响因素研究[J]. 中国城市林业, 2019, **17**(5): 36 – 42. [WU Xiaohui, LIU Zhiqiang, WANG Jundi. Evolution of spatial-temporal differentiation pattern of per capita public green space area in the Yangtze River Delta Urban Agglomerations and its influencing factors [J]. Journal of Chinese Urban Forestry, 2019, **17**(5): 36 – 42] DOI: 10.12169/zgcsly.2018.09.07.0003
- [9] LI Fangzheng, ZHANG Fen, LI Xiong, et al. Spatiotemporal patterns of the use of urban green spaces and external factors contributing to their use in central Beijing [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2017, **14**(3): 237. DOI: 10.3390/ijerph14030237
- [10] DONG Qidi, CAI Jun, CHEN Shuo, et al. Spatiotemporal analysis of urban green spatial vitality and the corresponding influencing factors: A case study of Chengdu, China [J]. Land, 2022, **11**(10): 1820. DOI: 10.3390/land11101820
- [11] 王一茹, 朱国鹏, 刘铁冬. 基于景观指数分析的海口市建成区绿地景观格局动态变化研究[J]. 海南大学学报(自然科学版), 2021, **39**(4): 407 – 413. [WANG Yiru, ZHU Guopeng, LIU Tiedong. Research on the dynamic change of green space landscape pattern in the built-up area of Haikou city based on landscape index analysis [J]. Natural Science Journal of Hainan University, 2021, **39**(4): 407 – 413] DOI: 10.15886/j.cnki.hdxzbkb.2021.0051
- [12] 刘琴琴, 李明诗, 王楠, 等. 合肥市公园绿地空间可达性不同度量方法的比较[J]. 生态学杂志, 2023, **42**(9): 2276 – 2285. [LIU Qinqin, LI Mingshi, WANG Nan, et al. Differences in measurement methods for quantifying spatial accessibility of park green spaces in Hefei city [J]. Chinese Journal of Ecology, 2023, **42**(9): 2276 – 2285] DOI: 10.13292/j.1000 – 4890.202309.028
- [13] 朱媛媛, 汪孟, 胡森, 等. 武汉市公园绿地空间可达性及优化路径研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2023, **57**(3): 447 – 456. [ZHU Yuanyuan, WANG Meng, HU Miao, et al. Spatial accessibility and path optimization of green space in Wuhan city [J]. Journal of Central China Normal University (Natural Sciences), 2023, **57**(3): 447 – 456] DOI: 10.19603/j.cnki.1000 – 1190.2023.03.015
- [14] 幸丽君, 杜赛南, 全照民, 等. 环境正义视阈下城市公园绿地时空可达性及其影响因素[J]. 生态学报, 2023, **43**(13): 5370 – 5382. [XING Lijun, DU Sainan, TONG Zhaomin, et al. Spatial and temporal accessibility of urban green space and its influencing factors in Wuhan from the perspective of environmental justice [J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, **43**(13): 5370 – 5382] DOI: 10.5846/stxb202203290782
- [15] SOLTANIFARD H, ROSHANDEL T, GHODRATI S. Assessment and ranking of influencing factors in the relationship between spatial patterns of urban green spaces and socioeconomic indices in Mashhad urban districts, Iran [J]. Modeling Earth Systems and Environment, 2020, **6**(3): 1589 – 1605. DOI: 10.1007/s40808 – 020 – 00776 – z
- [16] WU Longfeng, KIM S K. Does socioeconomic development lead to more equal distribution of green space? Evidence from Chinese cities [J]. Science of the Total Environment, 2021, **757**: 143780. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143780
- [17] 王俊帝, 刘志强, 刘俐胤, 等. 基于地理探测器的中国典型样带建成区绿地率空间分异的影响机理研究[J]. 生态经济, 2020, **36**(10): 104 – 111. [WANG Jundi, LIU Zhiqiang, LIU Liyin, et al. Study on the influencing mechanism of spatial differentiation of green rate of built district of typical transects in China based on Geodetector [J]. Ecological Economy, 2020, **36**(10): 104 – 111]
- [18] 刘志强, 周筱雅, 王俊帝. 中国市域建成区绿地率的空间演变[J]. 城市问题, 2019(9): 28 – 36. [LIU Zhiqiang, ZHOU Xouya, WANG Jundi. Spatial evolution of green space rate in urban built-up areas in China [J]. Urban Problems, 2019(9): 28 – 36] DOI: 10.13239/j.bjsskxy.cswt.190904
- [19] YIN Jiadi, FU Ping, CHESHMEHZANGI A, et al. Investigating the changes in urban green-space patterns with urban land-use changes: A case study in Hangzhou, China [J]. Remote Sensing, 2022, **14**(21): 5410. DOI: 10.3390/rs14215410
- [20] 申世广, 刘祥, 孙新旺, 等. 我国设区市绿化覆盖率与绿地率区域耦合差异分析——基于干湿气候区划的视角[J]. 西北林学院学报, 2020, **35**(4): 236 – 241. [SHEN Shiguang, LIU Xiang, SUN Xinwang, et al. Regional coupling difference of green coverage rate and green space rate of the cities with districts in China: A perspective based on day and wet climate zoning [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, **35**(4): 236 – 241] DOI: 10.3969/j.issn.1001 – 7461.2020.04.37
- [21] MISIUNE I, JULIAN J P, VETEIKIS D. Pull and push factors for use of urban green spaces and priorities for their ecosystem services: Case study of Vilnius, Lithuania [J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2021, **58**: 126899. DOI: 10.1016/j.ufug.2020.126899
- [22] 辛儒鸿, 曾坚, 梁晨. 城市绿地休闲服务供需失衡关键区识别与规划干预优先级划分[J]. 地理学报, 2023, **78**(3): 762 – 774. [XIN Ruhong, ZENG Jian, LIANG Chen. Identification of key areas of supply-demand imbalance of urban green space recreational service and prioritization of planning interventions [J]. Acta Geographica Sinica, 2023, **78**(3): 762 – 774] DOI: 10.11821/dlxb202303016
- [23] 牛妍妍, 於家, 陆大伟, 等. 开放性公共场所疏散引导人布局优化研究——以上海市徐汇区滨江绿地空间为例[J]. 地理科学进展, 2023, **42**(2): 301 – 315. [NIU Yanyan, YU Jia, LU Dawei, et al. Allocation optimization of evacuation leaders in open public places: A case study of Binjiang Green Space in Xuhui District, Shanghai [J]. Progress in Geography, 2023, **42**(2): 301 – 315] DOI: 10.18306/dlkxjz.2023.02.008

- [24] 金云峰, 杜伊, 周艳, 等. 公园城市视角下基于空间治理的区域绿地管控与上海郊野公园规划实践[J]. 城乡规划, 2019(1): 23 - 30. [JIN Yunfeng, DU Yi, ZHOU Yan, et al. Regional green space control and Shanghai country park planning practice based on spatial governance from the perspective of park city [J]. Urban and Rural Planning, 2019(1): 23 - 30] DOI: 10.12049/j. urp.201901003
- [25] PAN Yajun, TENG Tangwei, WANG Shengpeng, et al. Impact and mechanism of urbanization on urban green development in the Yangtze River Economic Belt [J]. Ecological Indicators, 2024, **158**: 111612. DOI: 10.1016/j. ecolind.2024.111612
- [26] 宋洋, 贺灿飞, 徐阳, 等. 中国城市公园绿地供需时空格局演化及驱动机制[J]. 自然资源学报, 2023, **38**(5): 1194 - 1209. [SONG Yang, HE Canfei, XU Yang, et al. Spatio-temporal evolution and driving mechanism of supply and demand of urban park green space in China [J]. Journal of Natural Resources, 2023, **38**(5): 1194 - 1209] DOI: 10.31497/zrzyxb.20230506
- [27] 虞金龙, 施惠珠, 吴筱怡. 城市绿地更新中场所精神的思考——以上海北外滩滨江绿地为例[J]. 中国园林, 2022, **38**(10): 38 - 43. [YU Jinlong, SHI Huizhu, QU Xiaoyi, et al. Thoughts on the genius loci in the renewal of urban green space: A case study of the riverside green space in the North Bund, Shanghai [J]. Chinese Landscape Architecture, 2022, **38**(10): 38 - 43] DOI: 10.19775/j. cla.2022.10.0038
- [28] 唐承丽, 陈伟杨, 吴佳敏, 等. 长江经济带开发区空间分布与产业集聚特征研究[J]. 地理科学, 2020, **40**(4): 657 - 664. [TANG Chengli, CHEN Weiyang, WU Jiamin, et al. Spatial distribution and industrial agglomeration characteristics of development zones in the Yangtze River Economic Belt [J]. Scientia Geographica Sinica, 2020, **40**(4): 657 - 664] DOI: 10.13249/j. cnki. sgs.2020.04.018
- [29] 辜寄蓉, 唐伟, 郝建明, 等. 长江经济带资源禀赋现状分析——基于地理国情普查[J]. 中国国土资源经济, 2017, **30**(7): 46 - 52. [GU Jirong, TANG Wei, HAO Jianming, et al. Resources endowment along Yangtze River Economic Belt—based on geographical conditions census [J]. Natural Resource Economics of China, 2017, **30**(7): 46 - 52]
- [30] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, **72**(1): 116 - 134. [WANG Jingfeng, XU Chengdong. Geodetector: Principle and prospective [J]. Acta Geographica Sinica, 2017, **72**(1): 116 - 134] DOI: 10.11821/dlxb201701010
- [31] CHENG Peng, MIN Min, HU Weiyan, et al. A framework for fairness evaluation and improvement of urban green space: A case of Wuhan metropolitan area in China [J]. Forests, 2021, **12**(7): 890. DOI: 10.3390/f12070890
- [32] KUANG Wenhui, DOU Yinyin. Investigating the patterns and dynamics of urban green space in China's 70 major cities using satellite remote sensing [J]. Remote Sensing, 2020, **12**(12): 1929. DOI: 10.3390/rs12121929
- [33] WANG Huimin, LIN Canrui, OU Sihua, et al. Evolutionary characteristics and driving forces of green space in Guangzhou from a zoning perspective [J]. Forests, 2024, **15**(1): 135. DOI: 10.3390/f15010135
- [34] CHEN Chunyu, BI Linglan, ZHU Kuanfan. Study on spatial-temporal change of urban green space in Yangtze River Economic Belt and its driving mechanism [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, **18**(23): 12498. DOI: 10.3390/ijerph182312498
- [35] YANG Zhiqi, FANG Chuanglin, MU Xufang, et al. Urban green space quality in China: Quality measurement, spatial heterogeneity pattern and influencing factor [J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2021, **66**: 127381. DOI: 10.1016/j. ufug.2021.127381
- [36] 崔佳奇, 刘宏涛, 陈媛媛. 中国城市建成区绿化覆盖率变化特征及影响因素分析[J]. 生态环境学报, 2021, **30**(2): 331 - 339. [CUI Jiaqi, LIU Hongtao, CHEN Yuanyuan. Changes in green coverage rate of urban built-up areas in China and influencing factors [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2021, **30**(2): 331 - 339] DOI: 10.16258/j. cnki. 1674 - 5906.2021.02.012
- [37] ZHAO Juanjuan, CHEN Shengbin, JIANG Bo, et al. Temporal trend of green space coverage in China and its relationship with urbanization over the last two decades [J]. Science of the Total Environment, 2013, **442**: 455 - 465. DOI: 10.1016/j. scitotenv.2012.10.014
- [38] WANG Xiaofeng, LI Yuehao, CHU Bingyang, et al. Spatiotemporal dynamics and driving forces of ecosystem changes: A case study of the national barrier zone, China [J]. Sustainability, 2020, **12**(16): 6680. DOI: 10.3390/su12166680
- [39] ZHAO Liang, CHEN Weizhen. Estimating urban green space production in the macro economy: From public goods to a profitable method of investment [J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2018, **33**: 16 - 26. DOI: 10.1016/j. ufug.2018.04.017
- [40] WU Zhen, CHEN Ruishan, MEADOWS M E, et al. Changing urban green spaces in Shanghai: Trends, drivers and policy implications [J]. Land Use Policy, 2019, **87**: 104080. DOI: 10.1016/j. landusepol.2019.104080

## Spatial-Temporal Differentiation of Urban Green Space and its Influencing Factors: A Case Study of the Yangtze River Economic Belt, China

MO Junxiong<sup>1</sup>, SUN Piling<sup>1,2\*</sup>, GONG Qiaoqiao<sup>1</sup>, LIU Qingguo<sup>1</sup>, SHEN Dandan<sup>1</sup>

(1. School of Geography and Tourism, Qufu Normal University, Rizhao 276826, Shandong, China;

2. College of Land Science and Technology, China Agriculture University, Beijing 100193, China)

**Abstract:** The rapid urbanization in the Yangtze River Economic Belt, China has been significantly reforming the structure and pattern of urban green spaces, exerting profound impacts on urban environment quality and human well-being, and aggravating resource and environment conflicts. Previous studies mostly concerned about morphology, composition and configuration of green space in a city or in city cluster, but there was little knowledge of the spatio-temporal patterns, influencing factors and driving mechanisms of urban green space along different reaches of a typical basin economic zone, where cities in the proximity of the river exhibited distinct differences in resource, natural environment and economy; therefore they lacked of practical guidance significance.

In this study, it took the Yangtze River Economic Belt as a case study; spatial autocorrelation analysis and geodetector were used to analyze the spatial-temporal differentiation of urban green space in cities along the basin for the period of 2000-2020 and associated influential factors.

(1) Total area of urban green space in the Yangtze River Economic Belt increased from 3357.66 km<sup>2</sup> to 13 425.32 km<sup>2</sup>, with a growth rate of 22.56% to 39.04% for 2000 – 2020. The growth rate of urban green space was in an order of downstream area > upstream area > midstream area.

(2) During 2000 – 2020, urban green space demonstrated a pattern of spatial agglomeration with obvious polarization. The areas of high-value agglomerations shifted to east, mainly distributed in the border areas of Jiangxi, Anhui, and Jiangsu provinces. The areas of low-value agglomerations tended to cluster in the mountainous mid-west areas, mainly in the intersection zones of Sichuan, Yunnan, Guizhou and Hubei provinces.

(3) The spatial-temporal differentiation of urban green space in the Yangtze River Economic Belt was governed by joint effect of climate, topography, population, urban construction, economic development, regional policy and so on; the dominant factors in the upstream, midstream and downstream regions were different. The interaction of factors showed a significant dual-factor enhancement effect and non-liner enhancement effect on the spatial-temporal differentiation of urban green space. The interactions among all influencing factors produced positive effects of two-factor enhancement and nonlinear enhancement on spatio-temporal differentiation of urban green space in the Yangtze River Economic Zone.

This study would provide valuable references for the design of urban green space and sustainable urban development in the Yangtze River Economic Belt.

**Key words:** urban green space; spatial-temporal differentiation; influencing factors; geodetector; the Yangtze River Economic Belt

(责任编辑 李嵘)