

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

王俊帝^{1,2}, 刘志强², 刘俐胤², 洪亘伟²

(1. 苏州科技大学天平学院, 江苏 苏州 215009;

2. 苏州科技大学 建筑与城市规划学院, 江苏 苏州 215011)

摘要: 基于样带分析视角, 综合运用地理探测器、地统计等方法, 以471个建制市为样本, 探析1996—2016年中国典型样带建成区绿地率的时空分异特征及影响机理。研究表明: (1) 长江沿线东高西低, 陇海兰新铁路沿线两端高于中部, 东北及西部沿边西侧较高, 106国道沿线南高北低, 东部沿海中部高于两侧。(2) 各样带的主导因子差异显著。长江沿线受经济发展及基础设施建设影响大; 陇海兰新铁路沿线以人口、用地增长及产业结构升级的驱动为主; 东北及西部沿边受自然因素制约显著; 106国道沿线长期由经济、人口和基础设施建设驱动; 东部沿海受城市用地和人口规模扩张的影响较大。(3) 城市绿地区域协同发展应以多因素耦合驱动为导向, 遵循区域深化合作、分类指导、梯次推进原则。

关键词: 建成区绿地率; 空间分异; 样带; 地理探测器; 影响机制; 中国

中图分类号: F062.2; TU985.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4407(2020)10-104-08

Study on the Influencing Mechanism of Spatial Differentiation of Green Rate of Built District of Typical Transects in China Based on Geodetector

WANG Jundi^{1,2}, LIU Zhiqiang², LIU Liyin², HONG Genwei²

(1. Tianping College of Suzhou University of Science and Technology, Suzhou Jiangsu 215009, China;

2. School of Architecture and Urban Planning, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou Jiangsu 215011, China)

Abstract: Based on the perspective of transect analysis, using the methods of geodetector and geostatistics, and taking 471 cities as the samples, this paper analyzes the spatial-temporal differentiation characteristics and mechanism of green rate of built district of the typical transects in China from 1996 to 2016. The results shows that: (1) The green rate of built district in the eastern part of the Yangtze River Transect is higher than that in the western part. The green rate of built district at both ends of the Longhai Lanxin Transect is higher than that in the central part. The green rate of built district of the Northeast & West Transect is higher on the west side. In the G106 Transect, the green rate of built district is higher in the south part. The green rate of built district in the middle of the Eastern Coastal Transect is higher. (2) The dominant factors in different zones are significantly different. The green rate of built district of the Yangtze River Transect is affected by economy and infrastructure construction. The green rate of built district of the Longhai Lanxin Transect is driven by population, land use and industrial structure upgrading. The green rate of built district of the Northeast & West is constrained by natural factors. The green rate of built district of the G106 Transect is driven by economy, population, and infrastructure construction. The green rate of built district of the Eastern Coastal Strip is affected by the expansion of urban land and population. (3) The coordinated development of urban green should be guided by multi-factor coupling and follow the principles of regional deepening cooperation, classification guidance and echelon advancement.

Key words: green rate of built district; spatial differentiation; transect; geodetector; influence mechanism; China

改革开放40余年来城镇化快速推进, 我国城市建设水平虽大幅提升, 但不同区域间存在显著差异^[1-2], 严重制约了城市整体生态环境的可持续发展和人民享有

绿地的公平性^[3-5]。因此, 深入解析城市绿地空间分异特征, 挖掘影响因子及驱动机制, 制定整体性兼顾因地制宜的绿地发展政策, 对于更好地统筹我国区域城市绿

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“基于空间计量分析的中国市域建成区绿地率空间分异的格局、演变及其机理研究”(51778389); 江苏高校“青蓝工程”; 苏州科技大学天平学院科研基金项目“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”(2018JJXM001); 江苏省高校哲学社会科学项目(2019SJA2134); 苏州科技大学风景园林学科建设项目

第一作者简介: 王俊帝, 硕士, 讲师, 研究方向为风景园林规划设计与理论。E-mail: 751144832@qq.com

通讯作者简介: 刘志强, 硕士, 副教授, 研究方向为风景园林规划设计与理论、城乡绿地空间格局及影响机理。E-mail: l_zhiqiang@163.com

地协调有序发展具有重要意义。

当前,学界针对城市绿地空间分异影响机理的研究尚处于开拓探索阶段。城乡规划学、风景园林学、地理学等学科在辨析影响因子^[6-9]、探明经济社会发展对绿地演变驱动作用^[10-12]、剖析多空间尺度城市绿地区域差异形成机制^[13-16]等方面均已展开研究。然而由于影响机理的复杂性,目前尚有以下问题需进一步探讨:一是如何综合定量测度自然环境、人类活动及其相互耦合对城市绿地演变的影响?二是如何借助自然及人文特征差异显著的典型性区域,更简捷、深刻地揭示城市绿地空间分异机理?三是能否于全国层面,基于更精细的空间单元及更长的时间尺度,揭示影响机理的演变特征?鉴于此,本文在揭示各典型样带建成区绿地率时空格局及演变特征的基础上,深入挖掘自然及社会经济因素对其形成的作用机理。以期为促进我国城市绿地建设水平格局优化及可持续发展提供参考,亦为同类研究引入新的影响机理挖掘的视角和方法作初步尝试。

1 研究区概况、研究方法 with 指标选取

1.1 样带选取

样带是沿一主导驱动因素在梯度上有规律变化的线状区域^[17],其区别于以往研究东、中、西三大经济区划分方式“强调地带内部具有一致性,地带间具有明显差异性”,着重强调内部的显著差异特征。样带分析在国际地圈生物圈计划(IGBP)推动下,已在自然地理学科内得到广泛应用,并拓展至人文地理学、城乡规划学等领域,其优势有:(1)以空间换时间,利用样带内自然或人文发展水平呈梯度差异的连续空间,展现城市绿地建设的阶段性特征。(2)更显著地揭示不同自然条件、不同社会经济发展状况对城市绿地建设水平驱动机制的地域差异性。(3)有利于不同学科及学者关注同一区域开展合作深化研究,并能将小尺度过程研究与长时段区域性、全球性研究进行耦合。

本文选取我国三横两纵共5条样带作为城市绿地影响机理研究区域(图1)。(1)三横为陇海兰新铁路沿线样带、长江沿线样带和东北及西部沿边样带,前者贯穿中国东中西部,是刻画中国自然地理与人文地理分异的一条典型样带^[18];长江沿线样带不仅在环境要素上有较大变化梯度,且在社会经济发展方面的差异更明显^[19];东北及西部沿边样带普遍受自然地理环境约束,政策制度对城市发展有显著影响^[20]。(2)两纵为106国道沿线样带和东部沿海样带,前者北起北京,南至广东,是中国南北经济发展要素差异显著的一条典型样带^[21];后者

是中国经济发展的前沿阵地,范围包括京津冀、长三角、闽南以及珠三角地区,同时跨3个温度带,是世界上独特而完整的以热量梯度驱动的纬度地带系列^[22]。

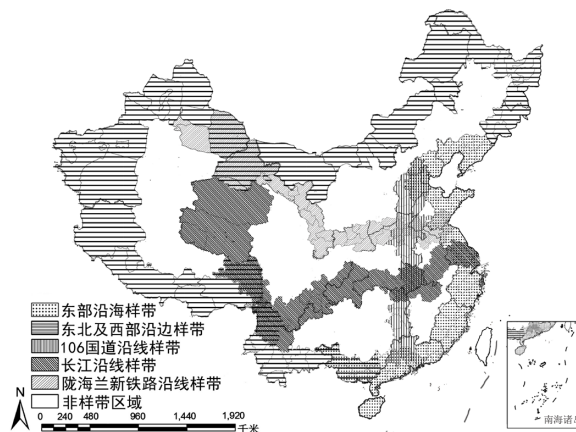


图1 我国典型样带空间分布图

1.2 研究方法

采用地统计、差异系数、地理探测器等研究方法。地统计方法用于揭示各典型样带建成区绿地率的空间分布及演变趋势;差异系数用来刻画各样带内市域建成区绿地率区域差异的演变情况;地理探测器用于定量测度各样带内影响建成区绿地率演变的主导因子。

1.2.1 地统计趋势分析法

该方法适合于线状研究区域,以GIS为平台,通过对各样带不同年份的建成区绿地率进行正交面投影的方式,展现样带内建成区绿地率的空间分异规律。趋势分析图中的每一根竖棒代表一个数据点的值(高度)和位置,这些点被投影到东西向和南北向的正交平面上,进而组成一条最佳拟合线,可模拟特定方向上建成区绿地率的变化趋势^[17]。

1.2.2 标准差及变异系数差异分析法

(1)标准差。该指标反映一组数据离散程度,数值大小代表数据间绝对差异的大小,用于展示各样带内部市域间建成区绿地率的绝对差异,计算公式为:

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2} \quad (1)$$

其中: σ_t 表示某样带第 t 年的市域建成区绿地率标准差数值, x_i 表示第 i 个县级市的建成区绿地率, $\bar{x}_n$ 是县级市建成区绿地率平均值, n 为城市个数。

(2)变异系数。该指标考察一组数据间相对差异状况,用样本数据的标准差除以平均数获得,数值越大代表样本数据波动程度越大,其计算公式为:

$$CV_t = \frac{\sigma_t}{E_t} \quad (2)$$

其中： CV_t 表示某样带第 t 年的市域建成区绿地率变异系数值， σ_t 代表市域建成区绿地率标准差， E_t 是市域建成区绿地率平均值。

1.2.3 地理探测器机理分析法

“地理探测器”是探测要素的空间分异性，以及揭示其背后驱动力的一组统计学方法，已被应用于自然和社会科学多领域。该方法无线性假设，具有优雅的形式和明确的物理含义，基本思想是：假设研究区分为若干子区域，如果子区域的方差之和小于区域总方差，则存在空间分异性；若两变量的空间分布趋于一致，则两者存在统计关联性^[23]。本研究使用其中 2 个模块：因子探测和交互探测。

(1) 因子探测。该模块的核心思想是比较某一因素和地理事物的变化在空间上是否具有显著的一致性，判断该因素对地理事物的发生和发展是否具有决定作用，同时可探测出该因素在多大程度上解释了地理事物的空间异质性。模型如下：

$$P_{D,U} = 1 - \frac{1}{n\sigma_U^2} \sum_{i=1}^m n_{D,i} \sigma_{U,i}^2 \quad (3)$$

其中： $P_{D,U}$ 为影响因素对建成区绿地率的影响力指标； n 为城市数量； $n_{D,i}$ 为次一级区域样本数； m 为次级区域个数； σ_U^2 为样带城市建成区绿地率的方差； $\sigma_{U,i}^2$ 为次一级区域建成区绿地率的方差。假设 $\sigma_U^2 \neq 0$ ，模型成立。 $P_{D,U}$ 的取值区间为 $[0, 1]$ ， $P_{D,U} = 0$ 时，表明建成区绿地率空间分异不受影响因素驱动， $P_{D,U}$ 值越大表明影响因素作用力越大。

(2) 交互探测。该模块是地理探测器相较于其他统计方法(只能定量测度各因子对绿地建设水平演变的单一作用力)的最大优势，即可实证多因子的交互影响力，且对于相互作用的假设不仅限于传统统计学方法，如 Logistic 回归假设的相乘关系，而是只要有交互作用就能被检测出来。主要通过对比单因子及双因子的 $P_{D,U}$ 值，识别双影响因子对因变量的共同作用情况。

1.3 指标选取与数据来源

建成区绿地率时空分异形成的因素主要可分为自然地理环境与社会经济政策两大类，前者包括气温、降水、地形地貌等，对建成区绿地率的提升既提供了基础保障，也存在限制作用；后者主要包括城市用地规模、经济发展水平、人口规模、建设投资规模、基础设施水平与绿地政策等因素，是建成区绿地率在短期内演变的主导动力。本文结合国内外学者的研究经验^[24-25]，根据数据获取的科学性、可操作性原则，共选取 13 个影响因子(表 1)，指标数据来源于 1996—1997 年的《城市建设统计年报》、1998—2005 年的《中国城市建设统计年报》、2006—2016

年的《中国城市建设统计年鉴》和 1997—2017 年的《中国城市统计年鉴》，基础地图来源于国家基础地理信息中心。为保证空间单元和数据的可比性，本文以 2016 年的行政区划为依据，将其他年份的数据进行合并或分解。

表 1 影响因子选取一览表

探测因子	指标	指标含义	代表类型
X_1	年均降水量	多年降雨量总和除以年数得到的均值	自然地理环境因素
X_2	湿润度	地面收入水分(降水)与其支出水分(蒸发、径流)之比	
X_3	年均温	年平均气温，是指全年各日的日平均气温的算术平均值	
X_4	日平均气温稳定 $\geq 10^\circ\text{C}$ 期间的积温	一年内日平均气温 $\geq 10^\circ\text{C}$ 持续期间日平均气温的总和	
X_5	海拔	与海平面的高度差，通常以平均海平面做标准来计算	
X_6	地貌类型	地势高低起伏的变化，即地表形态	社会经济政策因素
X_7	人均 GDP	地区生产总值与所属范围内的总人口的比值，表征城市经济发展水平	
X_8	人口密度	城区人口、城区暂住人口之和与城区面积的比值，表征城市人口情况	
X_9	人均建成区面积	报告期末城区内平均每人拥有的建成区面积，表征城市建设用地情况	
X_{10}	建成区路网密度	建成区道路长度与建成区面积的比值，表征城市基础设施水平	
X_{11}	园林绿化固定资产投资占比	固定资产投资中用于园林绿化的部分与总量的比值，表征绿地建设投资情况	
X_{12}	产业结构	第三产业与第二产业的比值，表征产业结构调整变化趋势与结果	
X_{13}	绿地建设政策	城市园林绿化的政绩，表征城市人民政府的绿地建设政策	

2 我国典型样带市域建成区绿地率的空间分异及演变特征

2.1 各样带市域建成区绿地率空间分布及演变

将研究时段进行等年划分，选取 1996 年、2006 年及 2016 年作为样本时间节点，以展示样带市域建成区绿地率的空间分布及演变特征。运用 ArcGIS 软件，依据《城市园林绿化评价标准》(GB/T 50563—2010)中的建成区绿地率等级标准临界值 29%、31% 和 35%，将样带市域的建成区绿地率划分为高、较高、较低、低共 4 个等级，依次绘制空间分布格局图，并采用地统计趋势分析方法，绘制各样带相应年份的建成区绿地率空间变化趋势线(图 2)。结果显示：

(1) 1996—2016 年，5 条典型样带的整体建成区绿地率均明显提升，各条样带内部均存在显著的梯度差异现象。(2) 长江沿线样带建成区绿地率在研究周期内均呈现东高西低的整体格局，在 2006 年之前的总体提升速度快于后期。(3) 陇海兰新铁路沿线样带内部差异呈显著的“U”型格局，东西两端的建成区绿地率高于中部，其内部差异在 1996—2006 年快速缩小，但至 2016 年差异特征又出现。(4) 东北及西部沿边样带在研究周期内

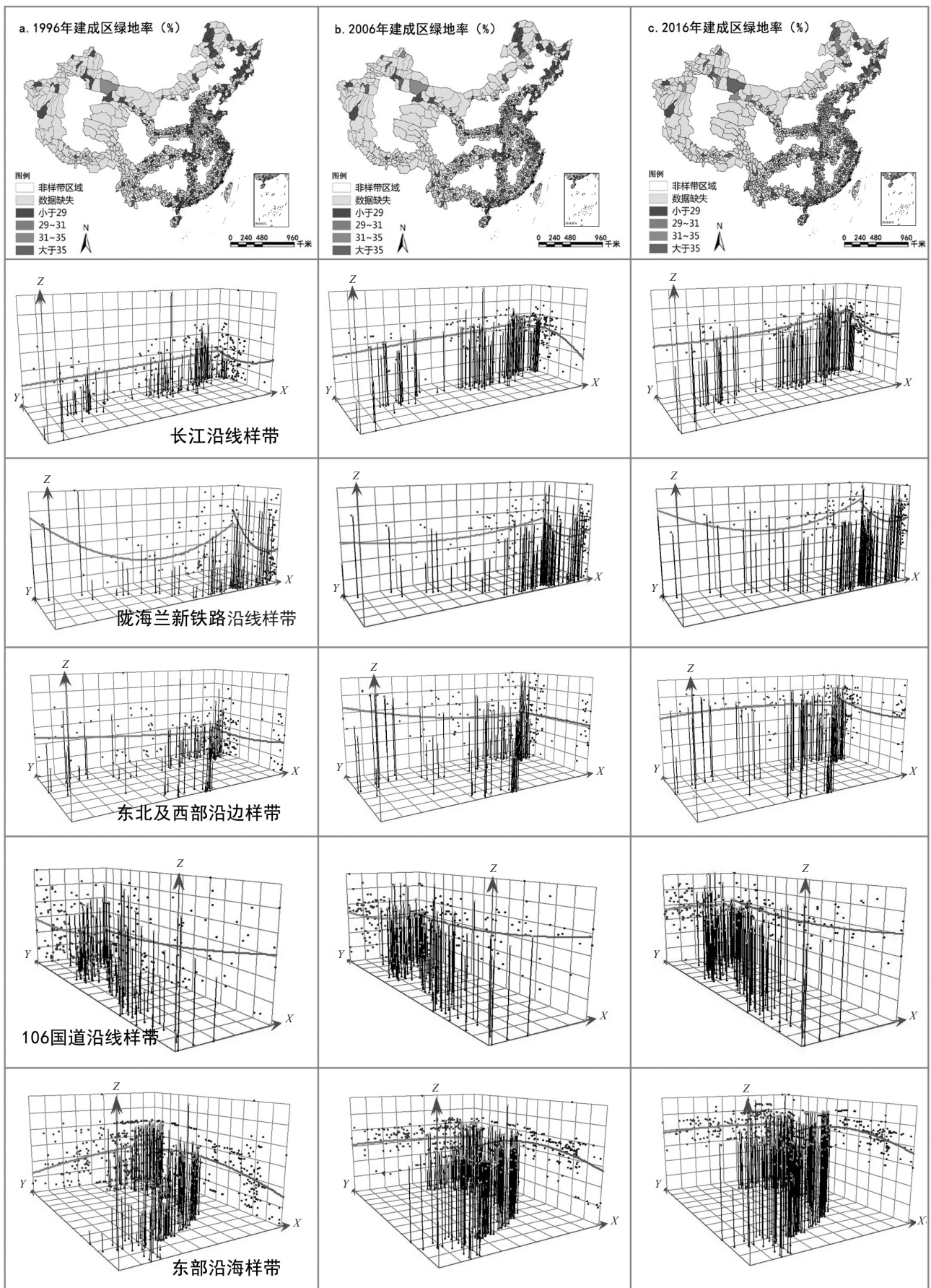


图2 1996—2016年各样带建成区绿地率趋势线

的格局特征由西部较高演变为整体水平已较为均衡的态势。(5) 106 国道沿线样带在研究周期前半段, 市域建成区绿地率由南向北递减, 至 2016 年呈现南部及北部略高于中部的格局特征。(6) 东部沿海样带在研究时段内均呈南北低、中部高的抛物线型格局。

2.2 各样带市域建成区绿地率区域差异演变

对各样带 1996—2016 年市域建成区绿地率差异度进行测算(图 3), 结果表明: (1) 5 条样带内部建成区绿地率的区域差异均呈现缩小趋势, 但近年来减小速度放缓, 应探讨如何进一步推进区域协调发展。(2) 就绝对差异而言, 东北及西部沿边样带内市域间的差异始终保持最大; 陇海兰新铁路沿线样带内市域间差异先波动中上升, 后缓慢减小; 其余 3 条样带内部差异减小趋势较相似。(3) 就相对差异而言, 陇海兰新铁路沿线样带和东北及西部沿边样带内部差异最大, 东部沿海样带内部差异最小; 其余 2 条样带内部差异均呈现在 2007 年之前快速减小, 而至近期减小幅度放缓。

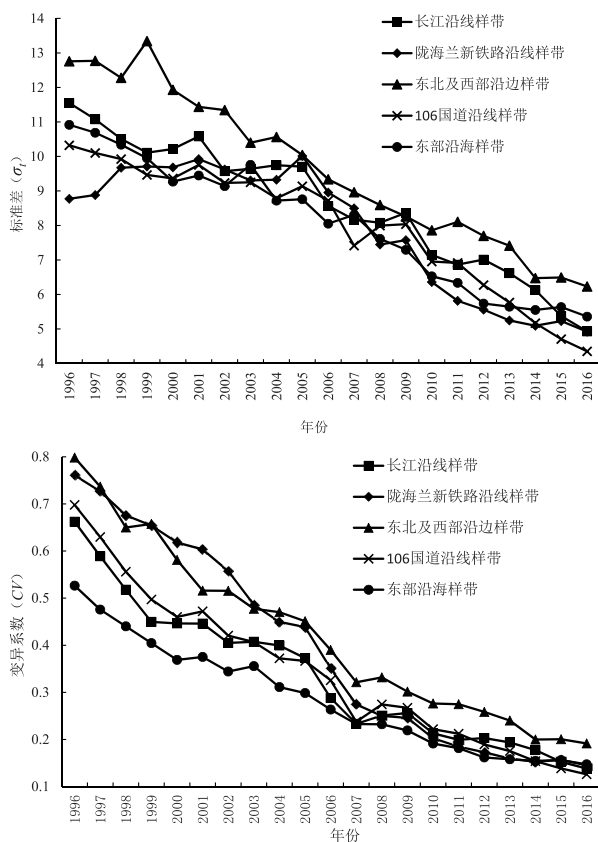


图3 1996—2016年各样带建成区绿地率区域差异演变趋势

3 我国典型样带市域建成区绿地率空间分异的影响机理

3.1 影响因子驱动力探测

利用因子探测器对我国 5 条典型样带建成区绿地率

空间分异的影响因素进行探测, 结果显示各样带的主导影响因子及其解释力具有显著差异(表 2)。

(1) 长江沿线样带。研究时段初期, 自然地理环境因素对该样带建成区绿地率提升的影响整体较弱, 仅城市地貌特征影响较明显; 社会经济因素的影响整体更大, 其中人均 GDP、建成区路网密度的影响力很显著, 人口密度、人均建成区面积、园林绿化固定资产投资占比等也均有较强的促进作用。随着时间推移, 年均降水量、年均温及海拔因素对建成区绿地率提升的作用强度相对增加, 产业结构的升级也注入更大动力, 与此同时人均 GDP、园林绿化固定资产投资占比仍保持较大作用力。

(2) 陇海兰新铁路沿线样带。依据地理探测值 $P_{D,U}$ 可以看出, 自然地理环境因素和经济社会因素均对建成区绿地率提升有较强促进作用。在研究阶段初期, 城市建成区面积快速扩张、经济加速发展、固定资产投资力度加大对城市绿地建设水平提升的促进作用更强; 在 2003—2010 年, 年均温、年均降水量、海拔等自然因素和产业结构升级的作用力度逐渐增强; 近年来, 由于国家“一带一路”等发展战略部署, 该区域绿地建设政策的驱动作用相对更强。

(3) 东北及西部沿边样带。研究周期内, 该样带内部城市由于受区位条件制约, 经济发展相对落后、人口密度较低、产业结构层次偏低、园林绿化固定资产投资不足, 均未能有力促使建成区绿地率快速提升, 仅建成区面积的加速扩张较有力地带动了绿地发展。年均降水量、年均温等自然因素对该样带建成区绿地率的变化相对其他样带更显著。近年来, 由于国家及地方政府更加重视该区域人居环境的改善, 政策对建成区绿地率提升的促进作用持续增强。

(4) 106 国道沿线样带。近 20 年来, 对该样带建成区绿地率演变始终起主导作用的社会经济因素有人均 GDP 和人口密度, 自然类因素主要是地貌类型。人均建成区面积和建成区路网密度的增加、产业结构升级的驱动作用在研究周期内逐渐减弱; 园林绿化固定资产投资占比和绿地建设政策的驱动作用则随着时间推移不断增强。年均温及年均降水量对于该样带市域建成区绿地率演变虽有一定影响, 但相对力度逐渐减弱。

(5) 东部沿海样带。研究时段内, 社会经济政策因素对该样带建成区绿地率提升的促进作用明显大于自然地理环境因素, 人均 GDP 快速增加、绿地建设政策大量出台和基础设施建设水平提升均持续有力地推动了城市绿地建设; 在自然类因素方面, 年均温及地貌类型的影响相对较大。近年来, 由于该样带内城市用地面积扩张受限、人口相对饱和, 产业结构、年均温和年均降水

表2 我国各典型样带建成区绿地率空间分异影响因子探测值 ($P_{D,U}$) 统计表

样带名称	年份	年均降水量	年均温	海拔	地貌类型	人均 GDP	人口密度	人均建成区面积	建成区路网密度	园林绿化固定资产投资占比	绿地建设政策	产业结构
长江沿线样带	1996	0	0	0.007	0.064	0.167	0.070	0.072	0.218	0.056	0.006	0.025
	2003	0	0.056	0.034	0.074	0.276	0.087	0.101	0.044	0.056	0.069	0.111
	2010	0.051	0.003	0.002	0.113	0.148	0.086	0.102	0.046	0.067	0.089	0.048
	2016	0.240	0.256	0.243	0.068	0.190	0.099	0.055	0.046	0.105	0.044	0.123
	作用变化	增强	增强	增强	略微增强	略微增强	略微增强	略微减弱	减弱	增强	略微增强	增强
陇海兰新铁路沿线样带	1996	0.011	0.061	0.043	0.047	0.133	0.051	0.354	0.071	0.114	—	0.054
	2003	0.056	0.145	0.059	0.046	0.248	0.076	0.250	0.053	0.130	0.054	0.078
	2010	0.127	0.307	0.157	0.335	0.139	0.104	0.054	0.107	0.133	0.142	0.122
	2016	0.006	0.065	0.098	0.246	0.118	0.015	0.027	0.072	0.030	0.306	0.106
	作用变化	波动	增强	增强	增强	略微减弱	减弱	减弱	略微增强	减弱	增强	增强
东北及西部沿边样带	1996	0.145	0.231	0.013	0.038	0.017	0.041	0.210	0.045	0.049	—	0.074
	2003	0.069	0.142	0.012	0.112	0.051	0.095	0.086	0.056	0.021	0.013	0.024
	2010	0.036	0.089	0.004	0.140	0.100	0.054	0.126	0.074	0.020	0.105	0.068
	2016	0.110	0.074	0.123	0.168	0.050	0.075	0.010	0.019	0.022	0.200	0.019
	作用变化	略微减弱	减弱	增强	增强	略微增强	略微增强	减弱	减弱	减弱	增强	减弱
106 国道沿线样带	1996	0.018	0.076	0.005	0.042	0.176	0.095	0.124	0.194	0.005	0.010	0.080
	2003	0.061	0.102	0.003	0.050	0.200	0.110	0.128	0.052	0.036	0.130	0.069
	2010	0.039	0.026	0.005	0.065	0.092	0.066	0.011	0.065	0.090	0.104	0.020
	2016	0.021	0.020	0	0.073	0.151	0.064	0.016	0.008	0.086	0.149	0.057
	作用变化	略微增强	减弱	减弱	略微增强	略微减弱	减弱	减弱	减弱	增强	增强	略微减弱
东部沿海样带	1996	0.011	0.020	0	0.040	0.045	0.038	0.052	0.012	0.030	0.011	0.050
	2003	0.011	0.016	0	0.042	0.105	0.042	0.012	0.033	0.013	0.138	0.012
	2010	0.021	0.065	0.021	0.025	0.085	0.019	0.013	0.075	0.039	0.165	0.023
	2016	0.022	0.126	0.001	0.023	0.149	0.016	0.021	0.067	0.042	0.124	0.067
	作用变化	略微增强	增强	略微增强	略微减弱	增强	减弱	减弱	增强	略微增强	增强	略微增强

注：由于“湿润度”“年平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间的积温”两因子解释力均较小，未列入表中。

量等因子对建成区绿地率提升的影响力相对增加。

3.2 影响因子交互作用探测

影响机理的复杂性在于各驱动因子并非单独起作用。本文对各样带影响因子两两交互作用进行探测，并筛选出交互作用力度最大的 5 对因子(表 3)，由探测结果可知：

(1)在各典型样带内，两因子对建成区绿地率演变的综合作用均强于单一因子的作用力，说明各因子间存在较紧密的联系，应激发多因子的合力更高效地驱动绿

地建设水平提升。同时在研究周期内，因子间交互作用的强度均发生了较大变化，且各样带内的因子组合作用具有区域特点。

(2)就 3 条东西向样带而言，在 1996 年，长江沿线样带的建成区路网密度与其他因子交互的作用力均居前列，说明该样带基础设施建设与其他因子结合后对建成区绿地率提升的驱动作用显著；陇海兰新铁路沿线样带的人口密度和人均建成区面积交互的作用力最大，可见该样

表3 各典型样带影响因子交互作用探测

交互作用	长江沿线样带		陇海兰新铁路沿线样带		东北及西部沿边样带		106 国道沿线样带		东部沿海样带	
	1996 年	2016 年	1996 年	2016 年	1996 年	2016 年	1996 年	2016 年	1996 年	2016 年
交互作用 1 (q 值)	建成区路网密度 $\cap$ 人均 GDP(0.515 1)	人均 GDP $\cap$ 产业结构(0.549 7)	人口密度 $\cap$ 人均建成区面积(0.623 5)	产业结构 $\cap$ 园林绿化固定资产投资占比(0.547 2)	年均温 $\cap$ 建成区路网密度(0.590 0)	绿地建设政策 $\cap$ 海拔(0.415 8)	建成区路网密度 $\cap$ 人均建成区面积(0.462 8)	地貌类型 $\cap$ 人口密度(0.397 8)	人均建成区面积 $\cap$ 产业结构(0.219 0)	人均建成区面积 $\cap$ 绿地建设政策(0.268 1)
交互作用 2 (q 值)	建成区路网密度 $\cap$ 人均建成区面积(0.476 2)	人均 GDP $\cap$ 园林绿化固定资产投资占比(0.531 0)	人口密度 $\cap$ 人均 GDP(0.592 2)	产业结构 $\cap$ 建成区路网密度(0.547 0)	年均降水量 $\cap$ 产业结构(0.539 7)	绿地建设政策 $\cap$ 年均降水量(0.378 2)	建成区路网密度 $\cap$ 人均 GDP(0.401 1)	人均 GDP $\cap$ 产业结构(0.379 6)	人口密度 $\cap$ 园林绿化固定资产投资占比(0.164 9)	人均建成区面积 $\cap$ 年均温(0.257 7)
交互作用 3 (q 值)	建成区路网密度 $\cap$ 人口密度(0.367 5)	产业结构 $\cap$ 人口密度(0.518 0)	人均建成区面积 $\cap$ 人均 GDP(0.541 1)	产业结构 $\cap$ 地貌类型(0.528 9)	年均温 $\cap$ 人均 GDP(0.513 9)	绿地建设政策 $\cap$ 年均温(0.367 0)	建成区路网密度 $\cap$ 年均温(0.400 8)	地貌类型 $\cap$ 建成区路网密度(0.367 1)	人均建成区面积 $\cap$ 地貌类型(0.158 6)	年均温 $\cap$ 绿地建设政策(0.255 9)
交互作用 4 (q 值)	建成区路网密度 $\cap$ 地貌类型(0.360 7)	人均 GDP $\cap$ 年均降水量(0.494 1)	人均建成区面积 $\cap$ 建成区路网密度(0.538 1)	产业结构 $\cap$ 人均建成区面积(0.492 7)	年均降水量 $\cap$ 建成区路网密度(0.512 5)	绿地建设政策 $\cap$ 地貌类型(0.343 2)	人均建成区面积 $\cap$ 人均 GDP(0.400 0)	人口密度 $\cap$ 产业结构(0.358 8)	人均建成区面积 $\cap$ 人口密度(0.155 0)	人均建成区面积 $\cap$ 人均 GDP(0.247 4)
交互作用 5 (q 值)	建成区路网密度 $\cap$ 年均温(0.345 5)	人均 GDP $\cap$ 年均温(0.493 2)	人均建成区面积 $\cap$ 年均降水量(0.511 9)	地貌类型 $\cap$ 绿地建设政策(0.474 6)	地貌类型 $\cap$ 产业结构(0.511 2)	地貌类型 $\cap$ 人均 GDP(0.337 2)	建成区路网密度 $\cap$ 地貌类型(0.398 0)	地貌类型 $\cap$ 年均温(0.352 6)	年均温 $\cap$ 园林绿化固定资产投资占比(0.150 0)	年均温 $\cap$ 地貌类型(0.240 7)

带人口与用地规模增长对绿地发展具有很强的促进效应;东北及西部沿边样带的年均温、年均降水量与其他因子的交互作用最有力,印证了该样带受自然条件影响更大。至2016年,长江沿线样带内人均GDP与产业结构的交互作用力最大;陇海兰新铁路沿线样带内产业结构成为突出因子,与其他因素叠加后的驱动力大多显著;东北及西部沿边样带内绿地建设政策与自然地理环境类因素的交互作用位居前列,说明加强政策引导十分重要。

(3)针对2条南北向样带而言,在1996年,106国道沿线样带的建成区路网密度与其他因子的交互作用均较大,可见该样带交通等基础设施建设对绿地发展的拉动作用显著;东部沿海样带的人均建成区面积与产业结构的叠加作用最大,其次是人口密度与园林绿化固定资产投资占比的交互作用,说明城市面积扩张、产业结构优化、人口的大量聚集等相互叠加共同推动该区域绿地建设。至2016年,106国道沿线样带建成区绿地率受地貌类型与其他因素交互作用更大;东部沿海样带除了人均建成区面积与绿地建设政策交互影响力最大外,年均温与其他因子交互作用也较为明显,说明该区域城市经济社会发展至一定阶段后,自然类因素在大尺度空间上对城市绿地建设水平的影响会显现。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文基于样带分析视角,运用地统计分析、地理探测器等方法,采用“格局—过程—机理”的逻辑框架,在探明近20年各样带市域建成区绿地率空间分异及演变特征基础上,对自然地理环境和社会经济政策等因子的驱动力及交互作用进行定量探测并解析。

(1)中国各典型样带建成区绿地率均存在显著的梯度分异现象,差异虽呈减小趋势但将长期存在。长江沿线样带建成区绿地率呈东高西低格局;陇海兰新铁路沿线样带呈东西两端高于中部的格局;东北及西部沿边样带呈西部略高于东部的格局;106国道沿线样带呈南北两端高于中部的“U”型格局;东部沿海样带呈南北低于中部的抛物线型格局。各典型样带及全国层面的城市绿地协调发展存在着较大提升空间。

(2)各样带建成区绿地率空间分异的影响机理差异显著。长江沿线样带社会经济因素的影响力大于自然地理环境因素,其中基础设施建设、经济发展和产业结构优化的交互作用强。陇海兰新铁路沿线样带人口与用地规模增长的驱动力更明显,同时受到水热条件制约。东北及西部沿边样带受自然因素作用更显著,近年来政策驱

动力不断增强。106国道沿线样带长期主要受经济、人口和基础设施建设的驱动,近期地貌类型与其他因子的交互作用渐强。东部沿海样带受城市用地和人口规模扩张的影响较大,近年来绿地政策与温度因子的影响变显著。

(3)针对建成区绿地率空间分异而言,自然地理环境在宏观尺度上框定了其基本格局且限制其演化,经济社会发展与需求成为其不断重塑的内在动力,政策制定及实施则对其演变有重要导向作用,与此同时各类驱动因素彼此影响。改革开放后,国家实施不均衡发展战略,使得本就受自然条件影响而形成的地域社会经济差异进一步扩大^[26],加剧和固化了城市绿地建设水平空间分布不均的状态。21世纪以来,国家对区域协调发展的重视程度增强,进一步利用影响机理高效调控城市绿地建设水平空间格局成为重要路径。

4.2 讨论

(1)我国城市绿地协调发展应以多因素耦合驱动为导向,遵循区域深化合作、分类指导、梯次推进原则^[27]。就各样带协同提升绿地水平而言:①长江沿线应进一步强化上下游、左右岸城市间联动,加强中心城市辐射功能,充分发挥经济一体化对绿地建设的带动作用。②陇海兰新铁路沿线应积极响应“一带一路”倡议,善用国际运输大通道区位优势,加快人才、资金、产业等要素东西双向流动,促进中西部绿地水平提升。③东北及西部沿边应争取国家政策倾斜,加快完善基础设施及社会保障体系,吸引高端产业和人才。④106国道沿线应依托重点城市群,实现基础设施共享,加快提升沿线城市经济水平和产业层次。⑤东部沿海应充分利用区位优势,不仅依靠经济增长,更重视产业结构调整、政策创新等要素的优化集聚,实现绿地增长模式快速转变^[28]。

(2)本文可为研究宏观尺度地理要素的时空分异及影响机理提供一种解析思路。利用样带及地统计分析方法,可显著刻画在某(些)影响因素主导下,某区域地理现象的梯度差异及演变特征;采用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。针对城市绿地建设水平空间分异影响机理的研究可进一步拓展,如:着眼于揭示各影响因子的空间溢出效应,即某区域内驱动因子对周边区域绿地建设的影响;阐述影响机制的尺度效应,即不同时空尺度间驱动作用的规律特点;解析城市绿地建设对各影响因子反馈作用等深层问题。

参考文献:

[1]周筱雅, 刘志强, 王俊帝, 等. 中国建制市人均公园绿地面

- 积的探索性空间数据分析[J]. 生态经济, 2019 (10): 86-93.
- [2] 刘志强, 王俊帝. 基于锡尔系数的中国城市绿地建设水平区域差异实证分析[J]. 中国园林, 2015 (3): 81-85.
- [3] 郝丽君, 肖哲涛, 邓荣鑫, 等. 城市空间耦合下的郑州市中心城区绿道生态网络构建研究[J]. 生态经济, 2019 (10): 224-229.
- [4] 柳钦火, 吴俊君, 李丽, 等. “一带一路”区域可持续发展生态环境遥感监测[J]. 遥感学报, 2018 (4): 686-708.
- [5] 周聪惠, 金云峰. “精细化”理念下的城市绿地复合型分类框架建构与规划应用[J]. 城市发展研究, 2014 (11): 118-124.
- [6] 叶林, 邢忠, 颜文涛, 等. 趋近正义的城市绿色空间规划途径探讨[J]. 城市规划学刊, 2018 (3): 57-64.
- [7] Yang J, Huang C H, Zhang Z Y, et al. The temporal trend of urban green coverage in major Chinese cities between 1990 and 2010 [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2014, 13(1): 19-27.
- [8] 吴健生, 王政, 张理卿, 等. 景观格局变化驱动力研究进展[J]. 地理科学进展, 2012 (12): 1739-1746.
- [9] 李翹, 侯硕, 张浩然. 基于形态因子分析的城市绿色开放空间体系构建——以湘潭市为例[J]. 城市发展研究, 2017 (1): 63-74.
- [10] 于亚平, 尹海伟, 孔繁花, 等. 基于MSPA的南京市绿色基础设施网络格局时空变化分析[J]. 生态学杂志, 2016 (6): 1608-1616.
- [11] Chen B, Nie Z, Chen Z Y, et al. Quantitative estimation of 21st-century urban greenspace changes in Chinese populous cities [J]. Science of the Total Environment, 2017, 609: 956-965.
- [12] 许乙青, 成雨萍. 中国城市绿地建设的空间溢出效应研究——基于286个地级及以上城市的数据[J]. 生态经济, 2018 (6): 163-167.
- [13] 杨鑫, 张琦, 吴思琦. 特大城市绿地格局多尺度、系统化比较研究——以北京、伦敦、巴黎、纽约为例[J]. 国际城市规划, 2017 (3): 83-91.
- [14] 申世广, 刘小钊, 范晨璟. 基于生态安全格局的苏锡常都市圈绿化系统空间布局研究[J]. 现代城市研究, 2018 (11): 20-25.
- [15] 陈康林, 龚建周, 刘彦随, 等. 近35a来广州城市绿色空间及破碎化时空分异[J]. 自然资源学报, 2016 (7): 1100-1113.
- [16] 潘剑彬, 李树华. 北京城市公园绿地热舒适度空间格局特征研究[J]. 中国园林, 2015 (10): 91-95.
- [17] 刘彦随, 杨忍. 中国县域城镇化的空间特征与形成机理[J]. 地理学报, 2012 (8): 1011-1020.
- [18] 白永平, 狄保忻, 王鹏龙, 等. 陇海—兰新一北疆铁路沿线城市紧凑度及其影响因素研究[J]. 经济地理, 2012 (7): 37-42.
- [19] 易明, 程晓曼. 长江经济带城市绿色创新效率时空分异及其影响因素[J]. 城市问题, 2018 (8): 31-39.
- [20] 周春山, 黄婉玲, 刘扬. 中国城市经济开放度时空演化及影响因素[J]. 地域研究与开发, 2018 (2): 1-8.
- [21] 鲁莎莎, 刘彦随, 关兴良. 农业地域功能的时空格局与演进特征——以106国道沿线典型样带区为例[J]. 中国土地科学, 2014 (3): 67-75.
- [22] 任宇飞, 方创琳, 蔺雪芹. 中国东部沿海地区四大城市群生态效率评价[J]. 地理学报, 2017 (11): 2047-2063.
- [23] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017 (1): 116-134.
- [24] 崔王平, 李阳兵, 李潇然. 重庆市主城区景观格局演变的样带响应与驱动机制差异[J]. 自然资源学报, 2017 (4): 553-567.
- [25] 阮俊杰, 苏敬华, 王卿, 等. 政策驱动下的城市生态空间变化研究——以崇明岛为例[J]. 生态经济, 2016 (12): 155-158.
- [26] 杨振, 雷军. 中国地级及以上城市城镇化发展的时空格局及影响因素[J]. 中国科学院大学学报, 2019 (1): 82-92.
- [27] 丁国蕾, 王晓光. “一带一路”建设与中西部内陆城市经济开放[J]. 城市发展研究, 2019 (3): 10-14.
- [28] 马丽, 道灵芝, 程利莎, 等. 中国中心城市内生动力和支撑力综合评价[J]. 经济地理, 2019 (2): 64-72.

(责任编辑: 张海艳)

(上接103页)

- [6] 杨奎, 文琦, 钟太洋. 长江经济带城市土地利用效率评价[J]. 资源科学, 2018 (10): 2048-2059.
- [7] 吴振华, 唐芹, 蒋红. 基于三阶段DEA模型的城市土地利用经济效率分析——以江浙沪地区为例[J]. 现代城市研究, 2016 (3): 106-112.
- [8] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis [J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509.
- [9] Fried H O, Lovell C A K, Schmidt S S, et al. Accounting for environmental effects and statistical noise in data envelopment analysis [J]. Journal of Productivity Analysis, 2002, 17(1-2): 157-174.
- [10] Färe R, Grosskopf S. A nonparametric cost approach to scale efficiency [J]. Scandinavian Journal of Economics, 1985, 87(4): 594-604.
- [11] Färe R, Grosskopf S, Norris M, et al. Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries [J]. The American Economic Review, 1994, 84(1): 66-83.
- [12] Thanassoulis E, Shiraz R K, Maniadakis N. A cost malmquist productivity index capturing group performance [J]. European Journal of Operational Research, 2015, 241(3): 796-805.
- [13] Golany B, Roll Y. An application procedure for DEA [J]. Omega: The International Journal of Management Science, 1989, 17(3): 237-250.
- [14] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003 (2): 189-196.
- [15] 王爱玲, 朱文泉, 李京, 等. 内蒙古生态系统服务价值遥感测量[J]. 地理科学, 2007 (3): 325-330.
- [16] 华吉庆, 叶长盛. 基于DEA的广东省城市土地利用效率及其时空分异特征[J]. 水土保持研究, 2018 (4): 283-288.
- [17] Yeh A G, Wu F L. The new land development process and urban development in Chinese cities [J]. International Journal of Urban and Regional Research, 1996, 20(2): 330-353.

(责任编辑: 保文秀)