

DOI: 10.5846/stxb201804300892

董仁才, 姜天祺, 李欢欢, 李思远, 张永霖, 付晓. 基于电子导航地图 POI 的北京城区绿色空间服务半径分析. 生态学报, 2018, 38(23): - .
Dong R C, Jiang T Q, Li H H, Li S Y, Zhang Y L, Fu X. Service radii analysis of green space based on electronic navigation map POI in Beijing urban area. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(23): - .

基于电子导航地图 POI 的北京城区绿色空间服务半径分析

董仁才^{1,*}, 姜天祺^{1,2}, 李欢欢^{1,2}, 李思远^{1,2}, 张永霖^{1,2}, 付晓¹

1 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2 中国科学院大学, 北京 100049

摘要:近年来,电子导航地图中的兴趣点(Point of Interest, POI)在城市地理与城市生态研究方面越来越受到重视。城市绿色空间对其居民的生产生活服务作用十分重要,城市绿地系统的配置是否科学对城市生态系统服务供需情况有着重要影响。利用北京城区五环以内的 POI 数据,采用核函数模拟出城市居民生产生活在空间分布上强弱程度的热力图,对该区域绿色空间实体不同半径服务区内的热力特征进行耦合分析。研究表明:北京市五环以内绿色空间实体 500、750 m 和 1000 m 典型服务半径的覆盖面分别占总面积的 77.99%、91.55% 和 97.46%,从服务供给角度表现出空间分布格局相对均匀;但在绿色空间 500 m 服务半径内,仅覆盖了 POI 热力图中极高密度区中 51.19% 的地区,高密度区中 54.78% 的地区,中密度区中 66.21% 的区域,从服务需求角度表现出绿色空间分布格局明显不均衡。研究认为城市绿色空间在 POI 热度较高区域的主要商圈、人流密集区域匹配明显不足,需要通过增加绿地或疏解 POI 集中程度来缓解绿色空间供需矛盾。

关键词:城市绿色空间;兴趣点(POI);北京;核密度

Service radii analysis of green space based on electronic navigation map POI in Beijing urban area

DONG Rencai^{1,*}, JIANG Tianqi^{1,2}, LI Huanhuan^{1,2}, LI Siyuan^{1,2}, ZHANG Yonglin^{1,2}, Fu Xiao¹

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: In recent years, Point of Interest (POI) in electronic navigation maps has been paid increasing attention in urban geography and urban ecological research. The urban green space is very important to the production and residential facilities of its inhabitants. Whether the allocation system of urban green space is scientific or not has an important impact on the supply and demand of urban ecosystem services. Therefore, to plan urban green space rationally, it is very important to explore the association between urban green space and living and work space. Furthermore, with the rapid development of cities, citizens' living quality is better and their demand for urban green space is higher. However, urban green space always decreases under the pressure of urban expansion. The conflict between the increasing need for green space and the decreasing amount of it has impeded the development of cities. As the capital of China, Beijing is a huge city with twenty million people and rapid expansion; the situation of its urban green space, especially the relationship between urban green space and citizens, is typical in China. This study focused on the situation of urban green space in Beijing area. By using

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2013BAJ04B03),城市与区域生态国家重点实验室自主项目(SKLURE2017-1-5)

收稿日期:2018-04-30; 网络出版日期:2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dongrencai@rcees.ac.cn

the POI data from the electronic navigation map within the fifth ring road of Beijing urban area, the study simulated the thermodynamic map of the spatial distribution of urban residents' workplaces and residential areas. In addition, the thermal characteristics of the green spaces in different radius service areas were analyzed. The results showed that inside the Beijing fifth ring road, the coverage of green spaces with radii of 500 m, 750 m, and 1000 m, respectively, accounted for 77.99%, 91.55%, and 97.46% of the total study area, which indicated that the spatial distribution pattern is relatively uniform from the perspective of service supply. However, in the 500 m service radius of the green space, only 51.19% of the areas in the very high-density area, 54.78% in the high-density area, and 66.21% in the medium-density area of the POI heatmap were covered, which indicated that the green space distribution was obviously not balanced from the view of service demand. Furthermore, according to the research, the urban green space was insufficient in the main commercial areas and the crowded area, and it is necessary to alleviate the mismatch between the supply and demand of green space by increasing the concentration of green space or reducing the concentration of POI. The study also showed that POI has a huge application value in urban research. The kernel density of POI could characterize the spatial distribution of the concentrated area of residents' production and life in urban areas. As this kind of data has been used in large quantities in the navigation map, it is highly accurate and should be widely used.

Key Words: urban green space; point of interest; Beijing; kernel density

城市绿色空间作为城市生态系统的重要组成部分,具有净化空气、调节气候、吸收噪音、维持生物多样性与水土保持等多种功能,能为城市居民提供更多户外活动场所,促进居民的身心健康。居住环境中的绿色空间比率对于居民的健康状况有着积极的影响,具有改善情绪、缓解压力的作用^[1]。同时,城市绿色空间对于周边经济的发展也有促进作用,居民在选择生活地点时有着“趋绿趋蓝”倾向^[2]。随着人民生活水平的不断提高,城市居民对于绿色空间的需求也日益增加^[3]。城市绿色空间生态功能的供给水平不仅依赖于绿地总量,还与其空间配置密切相关^[4-5]。城市绿色空间能为周边不同范围的地区提供不同程度的生态服务,而城市居民生产生活密度不同的地区对城市绿色空间的需求也不同。因此,要正确地认识城市绿色空间规划是否合理,就要求从空间视角去分析城市居民生产生活密度分布和绿色空间的布局^[4,6]。

传统上,相关研究过程中多采用人口普查数据建模分析来表征城市人口密度^[7-9],或利用居住用地表征城市人口密度分布^[4]。但数据获取相对困难,处理过程也较为繁琐,且不能很好地表征城市居民生产生活区的精细化程度。近年来,在城市地理与城市生态研究方面,电子导航地图数据越来越受到重视,尤其是其兴趣点 POI 数据。电子导航地图 POI 数据是以一种代表真实地理实体的空间大数据,具有相关空间位置信息和属性信息,在更新速度和获取成本方面,较遥感和人口密度数据有一定的优越性^[10]。POI 数据涵盖了城市各类设施的位置信息与属性信息,在城市基础设施数据库中占有重要地位,利用城市空间分析方法研究这些数据点的地理分布特征,可以为城市规划、决策以及向社会提供社会经济、文化等统计分析服务方面发挥重要作用^[11]。可以说,电子地图的兴趣点有效地表征了城市人居状态。目前 POI 数据已应用于诸多与城市空间相关的研究,陈蔚珊等^[12]基于 POI 数据对广州市零售商业中心热点进行识别和业态集聚特征分析;丁娟等^[11]基于互联网用户共享数据,从地理兴趣点(POI)的角度分析比较入境游客的景观兴趣偏好;许泽宁等^[10]基于电子地图兴趣点来识别城市建成区边界。POI 作为城市空间分析的基础数据之一,直观且有效地反映了各类城市要素的集聚状况^[8],其分布模式和分布密度在基础设施规划、城市空间分析中具有重要的意义^[12-14]。已有部分研究表明,对兴趣点数据进行密度分析可以表征城市经济热点与城市人口分布情况^[11,15]。

本研究试图以北京市五环内地区为例,应用城市电子地图兴趣点(POI)数据分析城市居民生产生活热度区,并分析探讨城市绿色空间及周边不同服务半径内城市居民生产生活热度区的分布情况,为城市绿色空间的研究提供新的方法和尝试,为绿色空间未来的发展建设提供依据。

1 研究区域与方法

1.1 研究区概况

从 2014 年北京市统计年鉴可知,北京市的绿地面积为 6.84 万 hm^2 ,公园绿地面积为 2.32 万 hm^2 ,建城区绿化覆盖率为 49.1%,人均公园绿地面积为 15.94 $\text{m}^2/\text{人}$ 。本文以北京市五环以内为研究对象,研究区处于北京市核心区域,多为平原区域。自 20 世纪 80 年代以来,北京市实施了一系列城市绿化建设,包括荒山绿化、绿化隔离带修建、平原农田林网建设和城市公园建设等,旨在将北京市建设成集自然生态、遗产保护、文化教育和休闲游憩为一体的综合性绿色生态城市^[16]。北京目前已经形成了较为完整的城市绿色空间的宏观布局,但依然存在绿地总量不足,配置不合理,生物栖息地破碎化、热岛效应突出等问题^[17]。城市绿色空间是城市自然生态系统的重要组成部分,具有重要的生态服务功能。过去的城市建设追求单一的绿地面积,忽视绿地在空间上的配置。随着社会的进步,对绿色空间生态系统服务功能的定量分析与评价已成为生态城市建设中重点关注的问题。

1.2 研究数据

本研究以高德公司生产的 2013 年 Q3 版的北京市电子导航地图数据为主要数据源。该数据为可编辑处理的矢量数据,采用 WGS 1984 Web-Mercator 投影。该数据采集方式包括了车辆采集、步行采集、收集企业用户信息、互联网信息、航空摄影测量及卫星影像等^[18-19]。数据内容包含了交通相关、兴趣点、境界与政界、自然相关 4 个数据集,4 个数据集下中共包含 22 个图层(表 1)。

表 1 数据集与图层

Table 1 Dataset and Layer

数据集 Dataset	图层 Layer
交通相关 Traffic related	地铁站、地铁站出入口、地铁站出入口形状、城市轨道交通、建筑物内部道路、桥、红绿灯、道路中心线、铁路
兴趣点 Point of interest	兴趣点、内部兴趣点
境界与政区 Boundary and district	区县级行政区划、商圈、地市级行政区划、小区、建成区、省级行政区划、行政地名
自然相关 Natural related	单线水系、植被、自然地名、面状水系

自然相关数据集下的植被图层被用于表示城市中各类绿色植被信息,包含要素名称、要素类型、要素周长和要素面积等字段。植被要素类型被划分为六类:休闲场所内绿化地、道路交通绿化地、高尔夫球场、森林公园、园地和默认绿地。经统计,北京市五环内绿地数量共计 2524 块,类型主要有道路交通绿化地、高尔夫球场、默认绿地(未开发)、森林公园、休闲场所内绿化地和园地。

兴趣点数据集包含兴趣点和内部兴趣点两个图层,本研究只采用其中的兴趣点图层。兴趣点图层中的字段包括要素名称、要素类型、要素地址电话等。在要素类型的分类方法上,兴趣点被分为餐饮、住宿、医疗、景点、商务、购物等 19 个大类。经统计,北京市五环内兴趣点数量为 206635 个,类别包含餐饮、住宿、医疗、景点、商务、购物等。

1.3 研究方法

兴趣点涵盖了与城市所有生产生活相关设施的位置与属性信息,可以为城市规划、管理提供决策服务,从宏观上获取城市设施、事件的空间分布特征^[11]。一般来说,兴趣点的聚集程度越高,则该区域生产生活活动越密集,反之亦然。在兴趣点空间特征的表达上,相比于样方密度、Voronoi 图密度等方法,核密度法更有优势^[12]。故本文使用核密度分析方法,对五环内兴趣点热力图进行模拟。具体计算公式为:

$$f(s) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{h^2} k \left(\frac{s - c_i}{h} \right) \quad (1)$$

式中, $f(s)$ 代表空间位置 s 处的核密度计算函数; h 为距离衰减阈值; n 为与位置 s 的距离小于或等于 h 的要素

点的个数; k 函数则表示空间权重函数。这一公式的几何意义是密度值在每个核心要素 c_i 处最大,并且在远离 c_i 的过程中不断降低,直至与 c_i 的距离达到阈值 h 时核密度值降为 0^[11]。

本研究中以 ArcGIS 10.2 为操作平台,运用空间分析中的核密度分析工具对北京市兴趣点进行分析。在实际操作中,搜索半径(与距离衰减阈值相关)的设置对结果的影响较为重要,本研究中根据北京市街区特征,将搜索半径设置为 1260 m。

为科学地在宏观上反映地区生产生活热度,研究采用自然分级法,将研究区域内兴趣点核密度值按由高到底,划分为极高密度、高密度、中密度、较低密度和低密度 5 个等级。接着与绿色空间实体进行空间叠置,初步分析五环内绿色空间与 POI 密集区的空间分布情况。

一般来说,中大型绿地能为周边 500 m(步行时间小于 15 min) 范围内生活的居民提供良好的生态服务功能,为 500—750 m(步行时间约 15—25 min) 范围内生活的居民提供较好的生态服务功能,为 750—1000 m(步行时间约 20—30 min) 范围内生活的居民提供一般的生态服务功能,而 1000 m 之外的地区所能享受到的生态服务功能较少。因此,本研究在简单分析了绿色空间实体和 POI 热度区的空间分布特征之后,对绿色空间做 500、750、1000 m 3 种不同半径的缓冲区,与 POI 热力图进行耦合分析。从绿色空间生态服务供给和 POI 热度区生态服务需求的角度,进行有关讨论。

2 结果与分析

2.1 五环内绿色空间分布基本特征

从图 1 看出,北京市五环内绿色空间斑块较为破碎,且绿色斑块的数量呈现由内环向外环逐渐增加的趋势。在旧城区(二环以内),绿色空间斑块数量少,单体面积大,分布相对集中,均为由知名的文物古迹、私家园林和宅院演变而来的城市公园绿地。在三环和四环,绿色斑块数量较多,单个绿色空间面积小而分布相对分散,呈现带状、环状和放射状。从方位上看,北京市五环内的绿色空间整体呈现北多南少、西多东少的特征。在研究区域的西部和北部,有大量绿色空间集中分布在四环至五环间,在城市南部和东部,绿色空间数量较少且分布较为分散。城市交通主干道的道路绿化明显,分别为城市由中心向外的高速路和城市环路。几个大面积的开放绿色空间分别位于二环南部地区,五环北部地区和五环西北地区。准确地呈现了北京市对中心城区绿地系统结构规划“两轴、三环、十楔、多园”的基本结构^[20]。

2.2 五环内 POI 热度分布基本特征

通过对北京市五环内 POI 进行核密度分析,得到北京市五环内 POI 核密度分布图如图 2 所示。从图上观察,整体上北京市五环内的兴趣点主要分布在城市中心地带,越靠近城市中心,兴趣点密度越高。在城市三环以内区域,兴趣点密度普遍较高。在城市三环以外地区,兴趣点密度随着与城市中心距离的增加而逐渐降低,在四环以外地区兴趣点密度普遍较低。从方位上看,整体上北部地区兴趣点密度高于南部地区,东部地区高于西部地区。另一方面,城市南部和北部相比,北部兴趣点分布相对较为聚集,南部较为分散;城市东部和西部相比,东部兴趣点分布相对较为聚集,西部较为分散。城市作为一个社会经济综合体,其集聚效应和规模效益是其最基本的特征,这一特点可以通过 POI 核密度特征较好地反映。

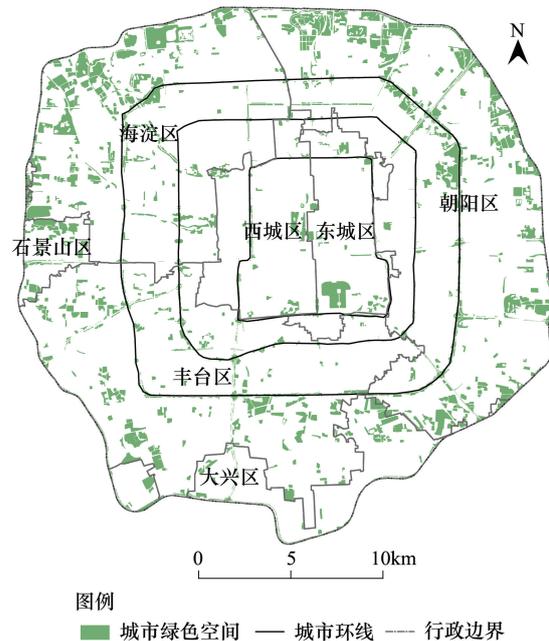


图 1 北京市五环内绿色空间分布图

Fig.1 The spatial distribution of green space

2.3 结合 POI 热力图的五环内绿色空间不同服务半径分析

图 2 的 POI 核密度分级分布图与绿色空间实体进行空间叠置情况如图 3 所示。

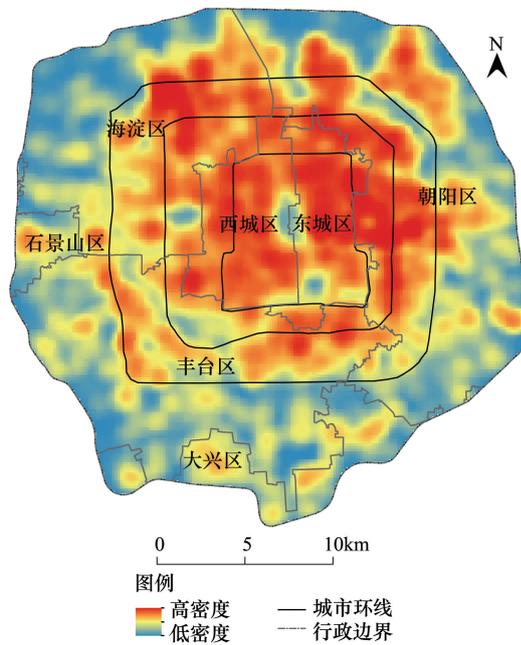


图 2 北京市五环内 POI 核密度分布图

Fig.2 The spatial distribution of POI kernel density

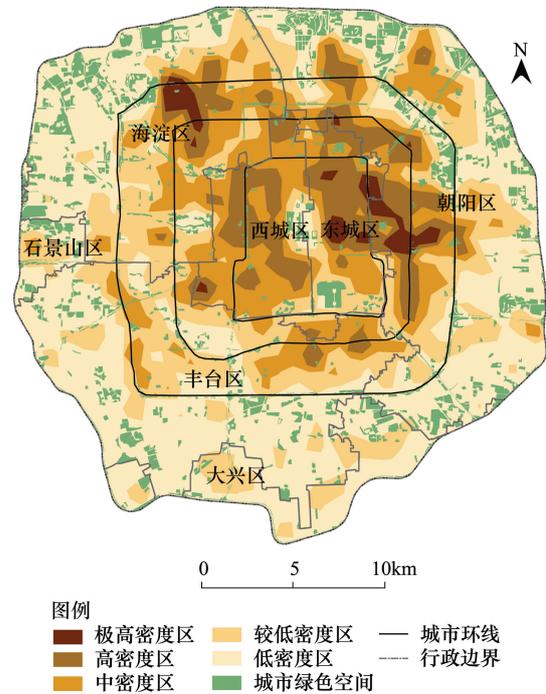


图 3 北京五环内绿色空间与基于 POI 密度分析的生产生活热度分布图

Fig.3 Distribution of green space overlapped by production and living density based on POI

由图 3 可以看出,五环内居民生产生活极高密度区和高密度区主要分布在海淀区的中关村-双榆树-五道口商圈和公主坟/万寿路商圈、西城区的阜成门-金融街-西单商圈、东城区的东直门-王府井-朝阳门商圈、朝阳区的朝外-建外大街-国贸商圈以及亚运村商圈和望京商圈、丰台区的方庄商圈。同时,也存在什刹海、玉渊潭和中南海等绿色空间占据优势的感兴趣点热度较低区域。在热度区中面积占比 29.15%的极高密度区、高密度区和中等密度区中,城市绿色空间面积仅有 4.67 km²,占绿色空间总面积的 6.49%;而面积占比 44.75%的低密度区中,城市绿色空间面积有 56.27 km²,占绿色空间总面积的 78.16%,表现出五环内绿色空间分布区与感兴趣点高热度呈现两极分化的现象。不同 POI 密度等级下的绿色空间面积占比统计见图 4。

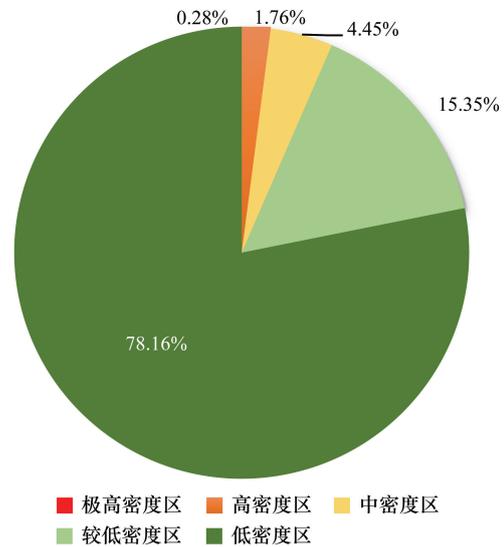


图 4 不同 POI 密度等级下绿色空间面积占比

Fig.4 Green space area ratio with different heat of citizen activities

城市绿地空间与居民生产生活密集区在空间上的交错分布是必然的,但是城市绿色空间应能尽量发挥其有效的服务半径。因此通过进一步对城市绿色空间进行不同半径缓冲区分析(图 5),得到研究区域内绿色空间 500、750 m 和 1000 m 半径范围缓冲区域对 POI 热度区的覆盖情况,并对不同级别热度区所能享受到的绿地服务面积进行统计(表 2)。

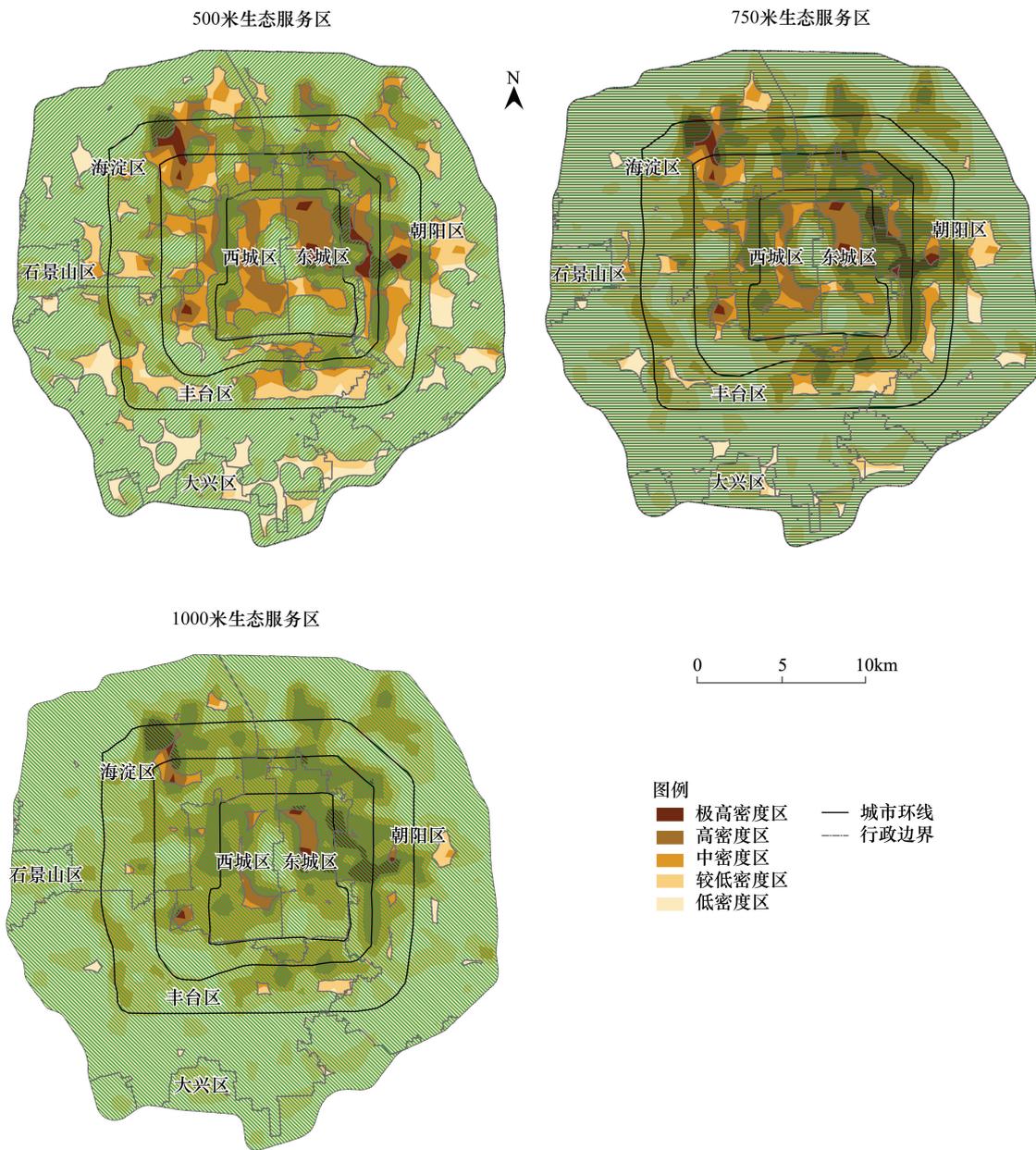


图 5 绿色空间不同半径 (500,750,1000 m) 服务区覆盖情况

Fig.5 Coverage of different radius ecological service areas of green space

表 2 POI 热度区的绿色空间不同半径服务区面积统计表/km²

Table 2 Statistics of different radius service areas in different POI heat areas

POI 热度区类型 Classes of POI heat areas	总面积 Total area	500 m 生态服务区 500-meter ecological service area	750 m 生态服务区 750-meter ecological service area	1000 m 生态服务区 1000-meter ecological service area	非生态服务区 Non-ecological service area
极高密度区 Extremely high density area	11.79	6.04	8.76	10.63	1.16
高密度区 High density area	67.95	37.22	51.64	60.92	7.03
中密度区 Medium density area	115.14	76.23	100.91	111.91	3.23
较低密度区 Lower density area	174.47	134.29	159.87	170.28	4.19
低密度区 Lowest density area	299.18	267.60	290.85	297.83	1.35
总计 Total	668.53	521.38	612.03	651.57	16.96

由表 2 可知,当绿色空间的服务半径为 500、750 m 和 1000 m 时,绿色空间生态服务区面积能够达到 521.38、612.03 km² 和 651.57 km²,分别实现了对总面积 77.99%、91.55% 和 97.46% 的覆盖。从绿色空间的服务供给角度看,其空间分布格局相对均匀。同时,在绿色空间 500 m 服务半径内,仅覆盖了 POI 热力图中的极高密度区中 51.19% 的地区,高密度区中 54.78% 的地区,中密度区中 66.21% 的区域,从服务需求角度则表现出绿色空间分布格局的不均衡。

此外,通过对数据进一步分析,发现各个服务区外均有超过一半的地区是城市生产生活热度较高的地区(含极高密度区、高密度区和中密度区),而这些地区与北京市主要商圈分布位置大致吻合(图 6)。

3 讨论

3.1 北京城区绿色空间与 POI 密集区分布现状及问题

电子导航地图兴趣点的聚集程度可以较好的表征城市居民生产生活的热度,采用 POI 数据并结合核密度分析,能够精细刻画城市居民生产生活热度在空间上的分布。如兴趣点密度值较高的中关村、五道口、国贸、王府井等主要商圈和旅游热点的形态和轮廓极易辨识。分析表明,北京市五环内兴趣点主要分布在城市中心地带,越靠近城市中心,兴趣点密度越高。而绿色空间的分布正好相反,中心城区数量较少,单个绿色空间面积较大且分布相对集中,城市外围数量较多,单个绿色空间面积小而分布相对分散。五环内绿色空间实体的 500、750 m 和 1000 m 服务区的面积比例基本随着居民生产生活热度的降低而升高。总体而言,绿色空间服务区与生产生活热度区在空间上呈现此消彼长的态势。

通过进一步对北京城区绿色空间生态服务范围的分析,发现在生态服务区之外的地区主要为生产生活

度较高的地区(极高密度区、高密度区和中密度区),而这些地区与北京市主要商圈分布位置大致吻合。大型商业用地周边绿地较为缺乏,体现了传统城市规划对城市生产生活布局和城市绿地规划缺乏科学的认识。传统的城市绿色空间规划主要体现在对绿地总量达标和对住宅区的供需平衡上^[4],而大型商业用地由于对居民消费的吸引力较大,其周边的土地经济价值较高,在规划过程中多建设为住宅区。但是由于这些地区生产生活建筑群密集,人口活动热度高,更需要绿色空间的降温降噪、固碳释氧、净化空气等生态服务功能。

3.2 运用 POI 数据分析城市绿色空间的优缺点分析

运用 POI 数据对城市绿色空间服务半径分析相比于传统方法有多种优点。首先,从数据源的角度来说,电子导航地图的兴趣点 POI 数据是一类重要的地理空间大数据,其在更新速度和获取成本方面具有一定的优越性。在城市生态领域的研究中可以不断尝试使用新的数据类型,全方位多角度观察城市这一复杂的生态系统。随着现代城市信息化建设的普及,越来越多表征城市人居环境状态的数据可以被获取和利用。其次,通过 POI 核密度法可以获得城市居民生产生活热度区,进而分析探讨城市绿色空间及周边不同服务半径内城市居民生产生活热度区的分布情况,可以更加精细化地表征城市绿色空间实体所服务对象的空间分布特点,以此提高了对城市绿地系统规划的科学性,为城市绿色空间的研究提供新的方法和尝试,为绿色空间未来的发展建设提供依据。该方法仍存在一定的不足,如不同面积大小的绿地的服务半径的差异性未得到较为充

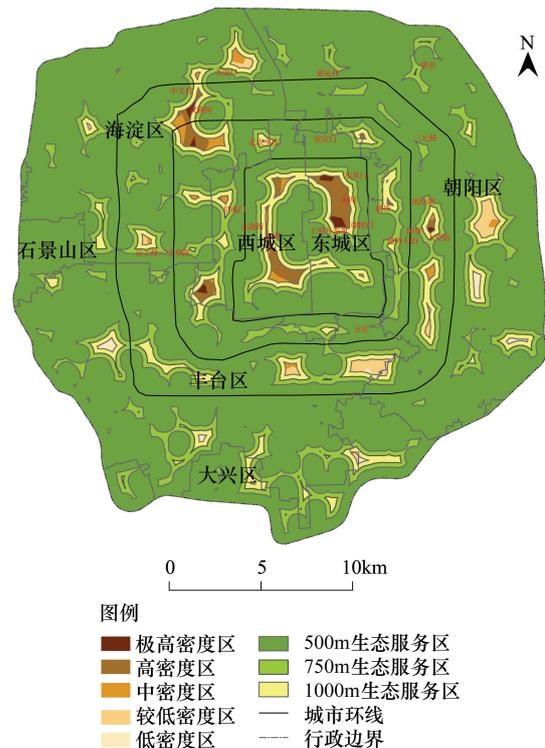


图 6 不同半径服务区外 POI 热度区及主要商圈分布图
Fig.6 Distribution of different radius service areas and major commercial districts

分的研究,在往后的研究中还有待深入。

4 结论与展望

目前,在我国城市用地越来越紧张的情况下,要充分认识绿色空间与城市居民生产生活区的分布特征,科学合理地规划城市绿色空间的分布,才能使城市绿色空间的生态效益最大化,让每一块绿地都能充分发挥其生态服务功能,每一个地区的居民都能享受到周边城市绿地的生态服务。有众多学者指出,将城市绿色空间规划纳入城市空间规划有利于城市合理、科学、高效、可持续发展^[21-23]。同时,目前已有城市提出将景观可达性作为城市指标,并且在规划中加入居民可感知的生态环境指标。如上海在新一轮的城市规划中在指标上拟增加了“居民出门 500 米,步行 10 分钟,就有一块 3000 平方米以上的公共绿地”的指标,悉尼提出了“市民在 3 分钟内能到达通往公园的步道上”,纽约提出“确保所有纽约人居住在公园的 10 分钟步行圈内”,这些都体现了未来以人为本的规划理念^[24]。因此在未来的城市绿地规划过程中,应首先科学地认识地区生产生活热度区的具体分布情况,分析已有城市绿地的不同半径生态服务范围,优先在缺乏绿色空间且居民生活热度较高的区域增加绿化,提高绿化质量,使绿色空间可以为更多的市民提供更好的生态服务。将城市绿色空间规划纳入城市规划体系,并且在绿色空间的规划与建设时充分考虑城市绿色空间与居民生产生活区域的分布特征,将是未来城市绿色空间发展的重要途径。

参考文献 (References):

- [1] 杨振山, 张慧, 丁悦, 孙艺芸. 城市绿色空间研究内容与展望. 地理科学进展, 2015, 34(1): 18-29.
- [2] Cho S H, Poudyal N C, Roberts R K. Spatial analysis of the amenity value of green open space. Ecological Economics, 2008, 66(2/3): 403-416.
- [3] Choumert J. An empirical investigation of public choices for green spaces. Land Use Policy, 2010, 27(4): 1123-1131.
- [4] 桂昆鹏, 徐建刚, 张翔. 基于供需分析的城市绿地空间布局优化——以南京市为例. 应用生态学报, 2013, 24(5): 1215-1223.
- [5] 彭建, 杨旸, 谢盼, 刘焱序. 基于生态系统服务供需的广东省绿地生态网络建设分区. 生态学报, 2017, 37(13): 4562-4572.
- [6] 穆博, 李华威, Mayer A L, 何瑞珍, 田国行. 基于遥感和图论的绿地空间演变和连通性研究——以郑州为例. 生态学报, 2017, 37(14): 4883-4895.
- [7] 钟少颖, 陈锐, 杨鑫. 2000—2010 年北京市人口分布格局的时空演变分析. 城市规划, 2015, 39(11): 16-22.
- [8] 冯健. 杭州市人口密度空间分布及其演化的模型研究. 地理研究, 2002, 21(5): 635-646.
- [9] 吴文钰, 高向东. 中国城市人口密度分布模型研究进展及展望. 地理科学进展, 2010, 29(8): 968-974.
- [10] 许泽宁, 高晓路. 基于电子地图兴趣点的城市建成区边界识别方法. 地理学报, 2016, 71(6): 928-939.
- [11] 禹文豪, 艾廷华. 核密度估计法支持下的网络空间 POI 点可视化与分析. 测绘学报, 2015, 44(1): 82-90.
- [12] 陈蔚珊, 柳林, 梁育填. 基于 POI 数据的广州零售商业中心热点识别与业态集聚特征分析. 地理研究, 2016, 35(4): 703-716.
- [13] 韩善锐, 韦胜, 周文, 张明娟, 陶婷婷, 邱廉, 刘茂松, 徐驰. 基于用户兴趣点数据与 Landsat 遥感影像的城市热场空间格局研究. 生态学报, 2017, 37(16): 5305-5312.
- [14] 丁娟, 李俊峰. 基于 Web 地理图片的中国入境游客 POI 空间格局. 经济地理, 2015, 35(6): 24-31.
- [15] 王爽, 李炯. 基于城市网络空间的 POI 分布密度分析及可视化. 城市勘测, 2015, (1): 21-25.
- [16] 屠凤娜. 国内外生态基础设施建设实践与经验总结. 理论界, 2013, (10): 63-65.
- [17] 俞孔坚, 王思思, 乔青. 基于生态基础设施的北京市绿地系统规划策略. 北京规划建设, 2010, (3): 54-58.
- [18] 李文. 高德地图领潮移动互联网. 中国品牌, 2011, (6): 23-23.
- [19] 何菲. 高德: 从地图服务到移动入口. IT 经理世界, 2013, (15): 86-87.
- [20] 北京市城市规划设计研究院. 北京市绿地系统规划. 北京: 北京市园林绿化局, 2010.
- [21] 颜文涛, 萧敬豪, 胡海, 邹锦. 城市空间结构的环境绩效: 进展与思考. 城市规划学刊, 2012, (5): 50-59.
- [22] 叶玉瑶, 张虹鸥, 周春山, 许学强. “生态导向”的城市空间结构研究综述. 城市规划, 2008, 32(5): 69-74, 82-82.
- [23] 沈清基. 城市空间结构生态化基本原理研究. 中国人口·资源与环境, 2004, 14(6): 6-11.
- [24] 俞孔坚, 段铁武, 李迪华, 彭晋福. 景观可达性作为衡量城市绿地系统功能指标的评价方法与案例. 城市规划, 1999, 23(8): 8-11, 43-43.