

老龄化视角下公园绿地公平性评价及优化布局研究

Study on Fairness Evaluation and Optimal Layout of Park Green Space From the Perspective of Aging

王欣珂¹ 谢慧黎¹ 陈凌秀¹ 武艳芳² 刘兴诏^{1*}
WANG Xinke¹ XIE Huili¹ CHEN Lingxiu¹ WU Yanfang² LIU Xingzhao^{1*}

(1.福建农林大学风景园林与艺术学院, 福州 350100; 2.棕榈生态城镇发展股份有限公司, 郑州 450000)
(1. College of Landscape Architecture and Art, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian, China, 350100; 2. Palm Eco-Town Development Co., LTD., Zhengzhou, Henan, China, 450000)

文章编号: 1000-0283(2023)11-0072-09
DOI: 10. 12193 / j. laing. 2023. 11. 0072. 009
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2023-07-22
修回日期: 2023-09-10

摘 要
城市公园绿地空间在提供生态效益和社会效益方面发挥着重要作用。城市化进程的迅速推进, 导致社会阶层分化现象日益加剧, 社会群体无法公平享有公共绿地资源, 尤其是老年人群体。以北京市主城区133个街道的340个公园绿地为研究对象, 改进公园绿地供给模型, 基于供需关系等评价城市公园绿地供给公平性, 提出公园绿地优化布局方案。结果表明: (1) 改进后的公园绿地供给模型充分考虑了不同公园类型及公园质量。(2) 研究区域内46.6%的公园绿地总供给无法满足老年群体需求, 区域主要聚集在北京市二环至五环; 相比游园、区域公园和市域公园, 老年群体享有社区公园绿地供给的机会更多。(3) 老年人享有的公园绿地供给未能达到社会正义的底线要求。在海淀街道、上地街道、大屯街道等区域新增公园绿地, 提升望京公园、地坛公园等的公园质量是促进绿地公平性的有效手段。研究结果可为优化城市公园绿地空间的决策提供支持, 为城市精细化管理提供参考。

关键词
公园绿地; 公平正义; 公园绿地供给模型; 优化策略; 老龄化

Abstract
Urban green space plays an important role in providing ecological and social benefits. The rapid advancement of urbanization has led to increasing social stratification and inequitable access to public green space resources for social groups, especially the elderly. For this reason, 340 parks in 133 streets in the main urban area of Beijing are taken as the research objects, and the park green space supply model is improved to evaluate the fairness of urban park green space supply based on the relationship between supply and demand, etc., and put forward the optimized layout plan of park green spaces. The results show that: (1) The improved park green space supply model fully takes into account different park types and park quality. (2) The total park green space supply in 46.6% of the study area fails to meet the demand of the elderly, clustered in the second to fifth ring road of Beijing; compared with the other three park green space types, the elderly have more opportunities to enjoy the supply of community parks and greenspaces. (3) The supply of parks and green spaces enjoyed by the elderly failure to meet the bottom-line requirements of social justice Adding new park green space in Haidian Street, Shangdi Street, and Datun Street and upgrading the park quality of Wangjing Park and Ditan Park are effective means to promote green space equity. The results of the study can provide support for decision-making on optimizing urban park green space and provide a reference for urban refinement management.

Keywords
park green space; fairness and justice; park green space supply model; optimization strategy; aging population

王欣珂
1997年生/女/河南驻马店人/硕士/研究方向为园林规划与设计

谢慧黎
1999年生/河南鹤壁人/在读硕士研究生/研究方向为景观生态学

刘兴诏
1984年生/山东滕州人/副教授、硕士生导师/研究方向为城市绿色基础设施规划

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: xzliu@fafu.edu.cn

基金项目:
国家自然科学基金项目“植物碳磷化学计量学特征对城乡温度差异的响应及其机制”(编号: 31800401); 福建省科技创新项目资金“基于山水林田湖草系统的闽江流域生态安全格局”(编号: KY-090000-04-2021-012)

中国自1999年起进入老龄化社会, 从2020年起的未来30年还将迅速走向重度和深度老龄化^[1]。预计2035年时老年人口占比将近22%, 2050年时将接近29%^[2], 老龄化程度进一步加剧, 因此关注老年群体的身心健康成为未来的研究方向。

公园绿地是老年人主要的户外活动空间, 老年群体对公园绿地的需求和使用频率要明显高于其他年龄阶段的群体^[3-5]。公园绿地能够改善人居环境, 在城市中起着至关重要的作用^[6], 如缓解热岛效应、涵养水源、降低噪音^[7]、调节小气候、治疗疾病^[8]等, 越来越多的证据表明接触公园绿地空间对心血管和精神健康的有益影响, 特别是在城市环境中^[9-11]。然而近些年来, 随着城市化进程的迅速推进, 社会阶层分化现象日益加剧, 老年人群体无法公平地享有公共绿地资源。

公平正义是人类文明的重要体现, 可用以测定一个社会或国家文明发展的程度, 也是建设中国社会主义和谐社会的重要标志之一^[12]。城市公园绿地公平性研究可以分为4个阶段: 地域均等、空间公平、社会公平和社会正义^[13]。这4个阶段的研究是逐步推进的。地域均等阶段强调居民不论处在哪个区域都应该享有同等数量的绿地资源; 空间公平阶段的绿地资源分配以人为导向, 从地域均等关注“地的需求”转向关注“人的需求”; 社会公平阶段强调不同社会群体之间均能平等的享有绿地资源; 社会正义则是在社会公平的基础上, 强调绿地资源向弱势群体倾斜。

研究方法上, 绿地公平性评价涉及绿地供给和社会群体需求两个方面, 对于社会群体需求的度量一般是基于人口普查、实地调查、问卷访谈等形式, 这取决于研究区的规

模。对于绿地供给的度量方法一般是基于绿地本身的度量, 如人均绿地面积^[14]、一定距离内公园的数量^[15]、绿地可达性^[16-17]等, 较少考虑公园质量。公园质量很大程度上决定着一个公园的服务水平与服务能力^[18], 同时也是影响公园吸引力的关键因子^[19]。文献证明公园绿地空间的组成、空间配置和其他(微观)特征, 如大小、有无水、可步行环境、冠层覆盖度等, 都会影响居民接触公园的频率和持续时间^[20-22]。依托大数据, 多维度测量城市公园绿地供给如公园质量、公园内部特征、社区基本属性等, 其中大部分数据是由政府监督而非公开, 并且需要花费大量的人力和物力。故本研究从AOI、POI和OSM大数据中获取公园质量因子数据, 并引入新的数据源如百度热力图, 通过爬取百度热力图来获取公园人流量数据, 作为公园质量因子权重确立的依据, 削弱了以往在公园质量因子确立时的主观性。此外, 本研究根据公园绿地规模确定公园绿地的服务半径, 分层次度量不同绿地类型的供给, 为城市精细化管理提供指导。

在人口老龄化加剧的背景下, 越来越多的研究将老年人这一对公园需求大、出行能力差的群体作为公园绿地社会公平性中重点关注的特定社会弱势群体^[23]。然而, 目前大多数研究的重点在于老年人分布与公园绿地分布的供需匹配情况, 绿地公平性策略的提出尚停留在政策层面, 具体提升策略少有人提及, 无法直接有效地实现绿地公平性提升。此外, 北京城市化进程的加快使得建设用地密集开发, 公园绿地可利用的土地资源不断减少, 有限的土地资源难以实现公园绿地在老年人中的均衡分配, 故有必要探究老龄化视角下北京市主城区的公园绿地公平性, 查清供给不足区域, 提出绿地公平性提升策略。

1 研究区域概况

北京市中心位于116° 20' E、39° 56' N, 是中国的政治、文化和国际交流中心。近些年来, 北京经济高速发展, 公共服务供需之间不平衡的趋势日益明显^[24-25]。2010-2020年, 北京市的老年人口总数增加了270.9万人, 其中朝阳区、海淀区、丰台区是65岁以上老年人口分布较为集中的区域^[26], 表明近年来北京市老龄化现象越来越严重, 街道内的老年人口增多。本研究重点关注北京市的中心城区, 包括朝阳区、海淀区、东城区、西城区、丰台区、石景山区等, 选取奥林匹克森林公园、香山公园等340个公园为统计对象, 以133个街道为空间单元(图1)。中心城区占地面积不到北京总面积的10%, 但居民总数量占北京市总人口的50%以上。对北京市主城区公园绿地供给公平性研究有利于改善主城区的绿地供给效率, 完善绿地优化布局, 为将来绿地规划提供案例参考。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本研究使用的所有地理数据均为WGS 1984 UTM Zone 50N投影坐标系。街道边界来自2021年7月国家基础地理信息数据库(<http://www.ngcc.cn/ngcc>), 其中东城区17个、西城区15个、朝阳区42个、海淀区29个、丰台区21个、石景山区9个。街道内的老年群体数据根据第六次人口普查数据街道尺度的老年群体数据及第七次人口普查公告中6个城区街道的老年群体变化率数据校正而来, 人口数量代表了对公园绿地的潜在需求。340个公园绿地的矢量边界及其属性信息通过百度地图爬取北京市的风景名胜AOI数据(<https://lbsyun.baidu.com>)获得。公园质量因子数据通过爬取POI数据(<https://lbsyun.baidu.com>)、OSM数

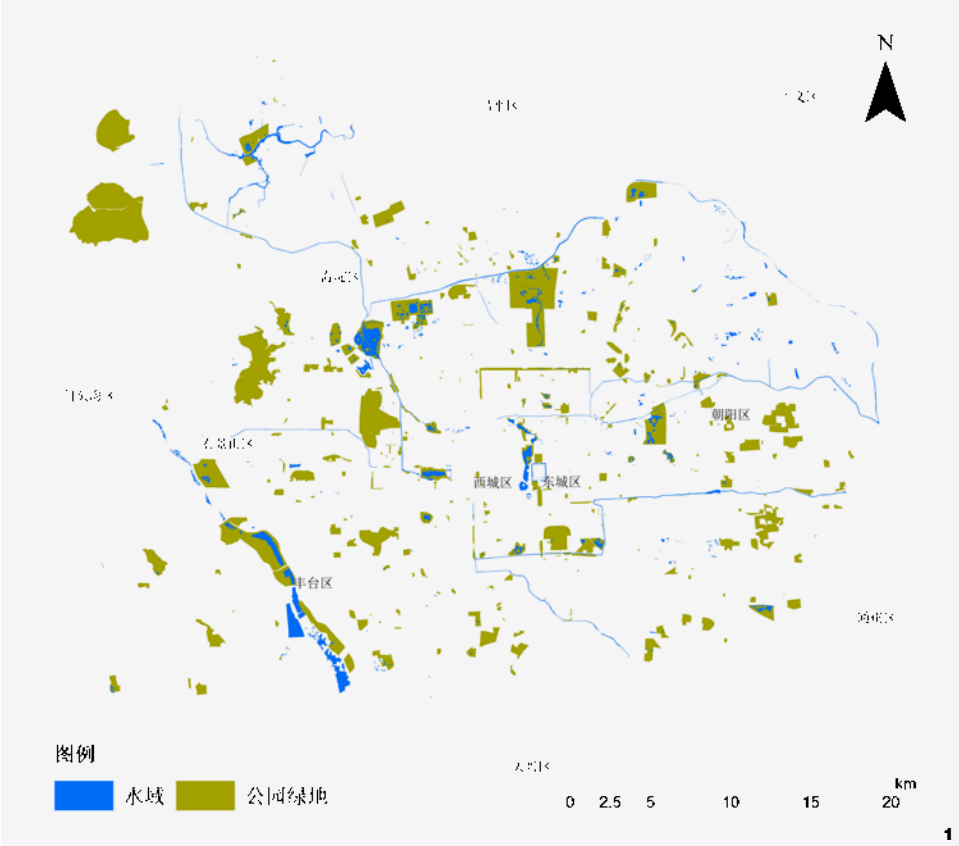


图1 研究区概况
Fig. 1 Study area diagram

据 (<https://www.openstreetmap.org/>) 获得。路网数据通过OSM网站获得。公园人流量数据通过爬取百度热力图 (<https://lbsyun.baidu.com>) 获得。百度热力图是一种动态反映城市人口聚集特征的互联网开源数据, 有研究表明, 在休息日, 人们更喜欢在下午和晚上出行, 在下午3点左右达到一天中的最高峰; 在工作日, 人口活动则表现出明显的通勤“早高峰”与“晚高峰”现象^[27]。故研究爬取2020年10月9日(周五)、10月10日(周六)、10月16日(周五)、10月17日(周六)、10月23日(周五)、10月24日(周六)下午3点的百度人口热力数据, 对6个时刻百度热力数据分别进行核密度分析, 之后运用空间掩膜工具和区域统计

工具, 统计工作日与非工作日公园内的平均热力值, 代表公园人流量。

2.2 研究方法

2.2.1 城市公园服务能力测度

公园服务能力主要与规模和服务半径两

个指标相关, 本研究基于ArcGIS平台网络分析法中的服务区分析计算公园绿地的服务面积。根据《城市用地分类与规划建设用地标准 (GB50137-2011)》将公园绿地划分为游园 ($S < 1 \text{ hm}^2$)、社区公园 ($1 \text{ hm}^2 \leq S < 10 \text{ hm}^2$)、区域公园 ($10 \text{ hm}^2 \leq S < 25 \text{ hm}^2$) 和市域公园 ($S > 25 \text{ hm}^2$), 其中S为公园规模。游园、社区公园、区域公园、市域公园的服务半径分别为500 m、1 000 m、1 500 m、3 000 m^[28]。

2.2.2 城市公园质量测度

2.2.2.1 基于皮尔森相关性的分析

由于数据的可得性限制, 本研究从AOI、OSM、POI中获取公园内的绿地面积 (Green Space of the Park, PGS)、公园内的水体面积占比 (Water Bodies of the Park, WB), 公园总面积 (Scale of Green Space, GS) 以及公园内的公共服务设施数量 (Facilities of Park, PF) 作为公园质量因子, 将其与公园人流量做皮尔森相关性分析 (表1)。参考相关系数作为公园质量因子在层次分析法中两两重要性比较的依据^[29], 从而构建公园质量评价公式。

2.2.2.2 基于层次分析法的分析

层次分析法, 指将与决策有关的元素分解成目标、准则、方案等层次, 在此基础上进行定性和定量分析的决策方法^[30]。层次分析法的第一步是构建层次结构, 其中包括目

表1 公园质量因子与公园游客量的皮尔森相关分析
Tab. 1 Pearson correlation analysis of park quality factor and park attendance

	公园总面积 GS	公园内的绿地 面积 PGS	公园内的水体面 积占比 WB	公园内的公共 服务设施数量 PF
非工作日公园人流量	0.542**	0.527**	0.311**	0.673**
工作日公园人流量	0.697**	0.658**	0.513**	0.721**
公园人流量差值	0.529**	0.515**	0.296**	0.667**

注: **表示在0.01级别(双尾)相关性显著。

标、准则和解决方案级别^[31]；第二步，需要根据先验知识对各层级的元素进行两两优先级比较，可以采用Saaty的1-9标度法^[32]；最后，用一致性检验两两比较矩阵。见公式(1)(2)。

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

其中 $\lambda_{\max}$ 是成对比较矩阵的最大特征值， n 是矩阵的阶数。随机指数(RI)与 n 之间存在对应关系，即 n 为1~10时，RI分别为0、0.058、0.090、0.112、0.124、0.132、0.141、0.145和0.149^[33]，本研究中 n 为0.90。

基于皮尔森相关系数，根据Saaty1-9标度法的思想和因子检测的结果，确定构建比较矩阵的原则：如果 C_i 的 q 值比 C_j 的 q 值大0~0.1， $(C_i, C_j) = 1$ ，其中 $i, j = 1, 2, 3, 4$ 。相似的，如果 C_i 的 q 值比 C_j 的 q 值相差0.1~0.2，0.2~0.3，0.3~0.4，比较矩阵中填充的值分别是3，5，7，反之为1/3，1/5，1/7。基于上述原理得到成对对比矩阵(表2)。计算得出 $\lambda_{\max} = 4.0735$ ， $CI = 0.0245$ ， $CR = 0.0275 < 0.1$ ，权重分布合理。

最终得到公园质量各因子权重为0.216、0.216、0.054、0.514。公园质量值(PQ)计算如公式(3)。为了消除不同公园质量因子单位的影响，将公园绿地空间内的4个公园质量因子按照自然间断法重新赋值(表3)，依据公园质量计算公式分别计算各个公园绿地空间的质量。

$$PQ = 0.216 \times GS + 0.216 \times PGS + 0.054 \times WB + 0.514 \times PF \quad (3)$$

2.2.3 城市公园供给能力测度

公园绿地供给能力由公园服务面积×公

园质量得到。研究单元内的绿地总供给为该单元内不同类型绿地供给的总和。见公式(4)， $TPSi$ 为 i 单元内的绿地总供给， $SPSi$ 为游园供给， $CMPSi$ 为社区公园供给， $RPSi$ 为区域公园供给， $CPSi$ 为市域公园供给。 i 为街道编号($i = 1, 2, \dots, 133$)。

$$TPSi = SPsi + CMPSi + RPSi + CPSi \quad (4)$$

$SPSi$ 、 $CMPSi$ 、 $RPSi$ 、 $CPSi$ 的计算方法如表4，a为游园，b为社区公园，c为区域公园，d为市域公园。 Sai 为 i 单元内游园的服务面积， Sbi 为 i 单元内社区公园的服务面积， Sci 为 i 单元内区域公园的服务面积， Sdi 为 i 单元内市域

表2 因子成对对比矩阵
Tab. 2 Park quality factors paired contrast matrix

$C_i \backslash C_j$	C_1	C_2	C_3	C_4
C_1	1	1	5	1/3
C_2	1	1	5	1/3
C_3	1/5	1/5	1	1/7
C_4	3	3	7	1

注：C₁、C₂、C₃、C₄分别为GS、PGS、WB、PF。

表3 公园质量因子分级范围
Tab. 3 Park quality factor grading range

公园质量因子 Park quality factor	因子分级 Factor grading	得分 Score
WB/%	[0, 2.95)	1
	[2.95, 14.27)	3
	[14.27, 32.96)	5
	[32.96, 62.73)	7
PGS/%	[0, 58.67)	1
	[58.67, 84.01)	3
	[84.01, 96.31)	5
	[96.31, 100)	7
GS/m ²	[0, 1174205.27)	1
	[1 174 205.27, 2 845 955.21)	3
	[2 845 955.21, 5 157 949.82)	5
	[5 157 949.82, 9 070 556.09)	7
PF/个	[0, 7)	1
	[7, 21)	3
	[21, 41)	5
	[41, 117)	7

表4 公园绿地供给计算公式
Tab. 4 The calculation formula of park green space supply

计算公式 Calculation formula	分类后的绿地编号 Park number	服务半径 Service radius
$SPSi = \sum Sai \times PQa$	a=1, 2, 3, ..., n1 (n1=57)	SR=500 m
$CMPSi = \sum Sbi \times PQb$	b=1, 2, 3, ..., n2 (n2=150)	SR=1 000 m
$RPSi = \sum Sci \times PQc$	c=1, 2, 3, ..., n3 (n3=48)	SR=2 000 m
$CPSi = \sum Sdi \times PQd$	d=1, 2, 3, ..., n4 (n4=85)	SR=3 000 m

公园的服务面积。PQa为游园质量, PQb为社区公园质量, PQc为区域公园质量, PQd为市域公园质量, SR为服务半径。

2.2.4 城市公园绿地供给的公平性测度

2.2.4.1 供需匹配

本研究按照自然断点法将绿地供给划分为低供给、中供给和高供给, 分别赋值为1、3、5; 将居民需求划分为低需求、中需求和高需求, 分别赋值为1、3、5, 对其按照供需匹配公式在ArcGIS10.2平台进行字段计算器计算, 其中居民需求用研究单元内的人口数量来表示(表5)。本研究主要探究相对公平, 供需关系旨在明晰北京市主城区内公园绿地供给与居民需求的空间匹配情况, 故认为低供给—低需求、中供给—中需求、高供给—高需求均达到供需平衡; 低供给—中需求、低供给—高需求、中供给—高需求供给不足; 中供给—低需求、高供给—低需求、高供给—中需求供大于求。计算见公式(5)。

供需关系=供给×100+需求 (5)

2.2.4.2 份额指数

份额指数是由唐子来等人提出^[34], 用来检验弱势群体是否享有与全体常住人口平均水平相符的公园绿地供给水平。首先, 计算弱势群体享有的公园绿地总供给占研究区内公园绿地总供给的比例R, 见公式(6)。

$$R = \sum_{j=1}^n P_j \times X_j \times 100\% \quad (6)$$

式中, $j=1, \cdots, 133$, 是研究区内研究单元数量; P_j 是j空间单元内弱势群体占常住人口的比例; X_j 是j研究单元内公园绿地总供给占研究区范围内公园绿地总供给的比例。然后基于弱势群体享有公园绿地供给的比例及其占全体常住人口的比重, 计算其享有公园绿地总供给的份额指数(F), 见公式(7)。

$$F = R/P \quad (7)$$

式中, P是弱势群体数量占常住人口的比重。份额指数F大于1, 则意味着弱势群体享有的公园绿地总供给水平高于社会平均份额, 反之, 弱势群体享有的公园绿地总供给水平低于社会平均份额, 研究区内存在社会不正义问题。

3 结果与分析

3.1 城市公园绿地供给的空间分布特征

研究区内的公园绿地总供给存在明显的空间异质性, 总体呈现城市中心到外围先增加后减少的趋势, 且西南地区公园绿地供给较高, 东北地区公园绿地供给较低。具体分析得知, 高供给街道有6个, 占街道总数的4.5%, 其中公园绿地总供给最高的街道为海淀区的四季青地区办事处, 为15 770.558 hm², 内辖如西山森林公园、中坞公园、北坞公园等综合公园, 公园质量高, 因此供给水平最高。其

次为石景山区的卢沟桥地区办事处和花乡地区办事处及朝阳区的奥运村街道、平房地区办事处、来广营地区办事处。卢沟桥地区办事处的公园绿地总供给为12 537.925 hm², 内辖丰富的社区公园, 如万丰公园、小屯公园、天元公园和玉璞园, 社区公园供给高达4 370.125 hm², 对街道享有的绿地总供给贡献高达34.85%。花乡地区办事处的绿地总供给为10 722.83 hm², 内辖充足的市域公园资源, 如看丹公园、御康公园、海子公园等, 市域公园供给为9 200.85 hm², 对该街道的公园绿地供给贡献高达85.81%。奥运村街道的公园绿地总供给为8 819.018 hm², 内辖仅有奥林匹克森林公园, 公园数量少, 而公园质量极高, 故公园绿地供给水平较高。中供给街道有38个, 占街道总数的28.6%, 聚集在研究区东部的四环至五环之间及西部的三环外, 具有整体集中、局部分散的特点, 其中13个分布在朝阳区, 10个分布在海淀区。低供给街道有89个, 占街道总数的66.9%, 聚集在三环内及朝阳区的东北侧, 如安定门街道、学院路街道、清华园街道和中关村街道等。这是由于三环内地理面积小, 内辖大量的游园, 此类公园服务能力弱, 公园质量低, 而朝阳区东北侧零星分布着市域公园, 公园绿地数量较少, 故该区域享有的公园绿地供给低。

3.2 老年群体的空间分布特征

北京市主城区内的老年群体总数约164.542万人, 占主城区总人口约14.88%。国际标准认为某地区65岁以上人口占比超过7%, 则城市进入老龄化阶段, 故北京市主城区人口老龄化程度相对较高。从空间分析, 老年群体数量从研究区内部向外围先增加后减少, 人口聚集程度高; 高需求区域占据34个街道, 聚集在二环至五环的西北侧和东北

表5 公园绿地供给与居民需求的供需匹配关系表
Tab. 5 The supply and demand matching relationship between park green space supply and residents' demand

供需匹配 Supply and demand matching	低供给 (1) Low supply	中供给 (3) Middling supply	高供给 (5) High supply
低需求 (1)	低供给—低需求 (101)	中供给—低需求 (301)	高供给—低需求 (501)
中需求 (3)	低供给—中需求 (103)	中供给—中需求 (303)	高供给—中需求 (503)
高需求 (5)	低供给—高需求 (105)	中供给—高需求 (305)	高供给—高需求 (505)

侧,覆盖了海淀区的八里庄街道、学院路街道、中关村街道、花园路街道;西城区的广安门外街道、月坛街道、展览路街道;朝阳区的酒仙桥街道、望京街道、大屯街道;丰台区的大红门街道、丰台街道等;此外,东城区的和平里街道和石景山区的八角街道也各有一个老年人高需求街道。二环内、朝阳区东侧及丰台区西侧老年群体需求水平较低,群体数量基本在9 000人以下。这是由于二环内街道占地面积小,是北京市的文化遗产聚集地,文化空间较多,居住空间少,人口基数小,故老年群体数量较低,而研究区外侧经济发展速度低,虽地理面积大,大多为山地空间,建成区面积较小,故老年群体需求较低。

3.3 老年人群体与公园绿地供给的供需匹配

3.3.1 老年人群体需求与城市公园绿地总供给的供需匹配

从公园绿地总供给与老年人需求的供需匹配分析,北京市主城区公园绿地供需匹配程度整体较差,呈现高低值聚集分布的特征。52.7%的区域达到了供需平衡,其中低供给—低需求区域占据了39.1%,聚集在东城区和西城区的西长安街街道、东华门街道、建国门街道、前门街道等以及研究区外侧,如朝阳区的崔各庄地区办事处、金盏地区办事处,海淀区的香山街道等。46.6%的区域供给不足。其中17.3%的街道属于低供给—高需求区域,聚集在二环至五环西侧的中关村街道、学院路街道、北太平庄街道及万寿路街道等,这些区域老年群体数量高,公园绿地供给难以满足老年群体的需求。这是由于北京市五环内大多为原住民,老年群体居多,且无法重新选择居住空间,而绿地空间增长缓慢,因此大部分街道无法满足

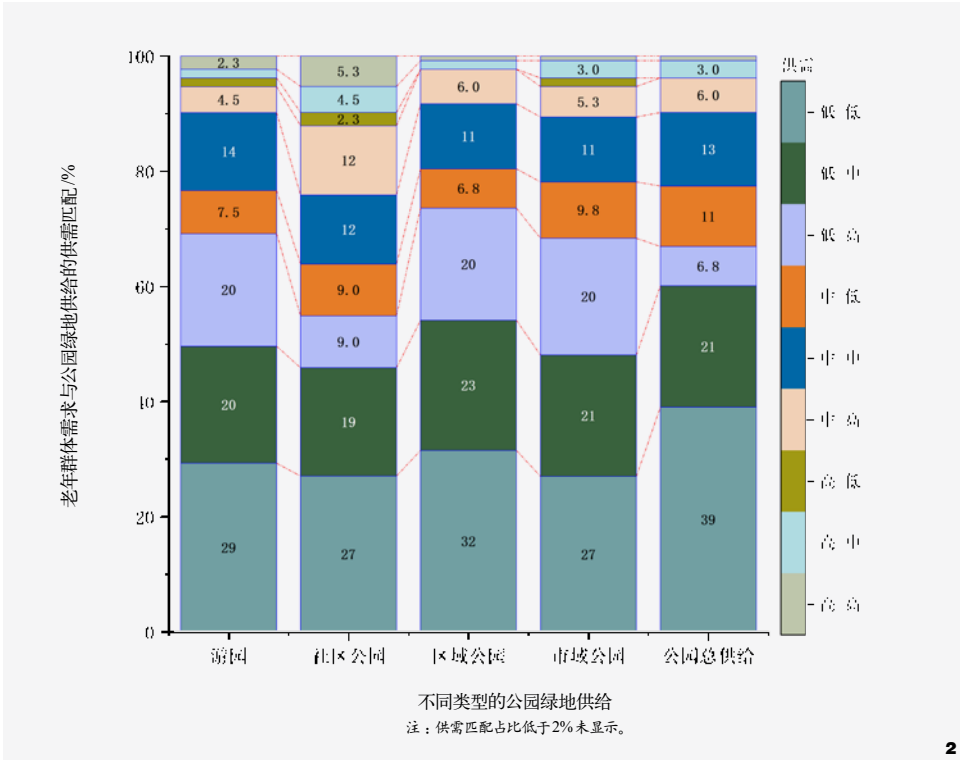


图2 老年群体需求与不同公园绿地供给的供需匹配统计
Fig. 2 Supply and demand matching statistics between the demand of elderly groups and the supply of different types of park green space

老年人的需求。

按6个主城区分析,丰台区内57.14%的区域供给不足,在6个城区中位居首位;东城区内有17.65%的区域供给不足,换言之,东城区内大部分区域的公园绿地供给水平能够满足老年群体需求。

3.3.2 老年人群体需求与不同公园绿地供给的供需匹配

从游园供给与老年人需求的供需匹配分析,45.1%的街道达到了供需平衡(图2),聚集在研究区中部及研究区外侧,如东城区的安定门街道、朝阳门街道等及海淀区的香山街道、西三旗街道等;44.3%的街道供给不足,其中19.5%的街道属于低供给—高需求区域,聚集在二环至五环之间的北侧和南侧,如丰

台街道、长辛店街道、清河街道、大屯街道、学院路街道、望京街道等。

从社区公园供给与老年人需求的供需匹配分析,44.4%的街道达到了供需平衡,聚集在西城区的什刹海街道、大栅栏街道、西长安街街道,朝阳区的孙河地区办事处、崔各庄地区办事处,海淀区的香山街道、苏家坨地区办事处,丰台区的花乡地区办事处等。39.8%的街道供给不足,其中9.0%的街道属于低供给—高需求区域,聚集在海淀区的永定路街道、紫竹院街道、北下关街道、北太平庄街道及中关村街道,朝阳区、丰台区和西城区内也零星分布着低供给—高需求区域。

从区域公园供给与老年人需求的供需匹配分析,43.7%的街道达到了供需平衡,聚

集在朝阳区的呼家楼街道、三里屯街道、团结湖街道等，以及东城区的建国门街道、东直门街道、前门街道等；48.1%的街道供给不足，其中19.5%的街道属于低供给—高需求区域，聚集在海淀区的永定路街道、清河街道、西三旗街道、学院路街道和中关村街道等及丰台区的西罗园街道、大红门街道、新村街道等。

从市域公园供给与老年人需求的供需匹配分析，39.2%的街道达到供需平衡，聚集在海淀区的清华园街道、香山街道、上地街道、曙光街道等，朝阳区的三里屯街道、星河园街道、团结湖街道、十八里店办事处等。46.7%的街道供给不足，其中27.1%的街道属于低供给—高需求区域，聚集在海淀区的万寿路街道、紫竹院街道、中关村街道、清河街道等及丰台区的大红门街道、西罗园街道等。

总体上，游园、社区公园、区域公园和市域公园等4种公园绿地与老年群体需求的供需匹配呈现相似的空间分布特征，低供给—高需求区域均聚集在海淀区。值得注意的是，相比其他三个公园绿地类型，老年群体享有社区公园绿地供给的机会更多，这是由于社区公园承担着营造居民日常活动场所的职责，是市区内居民日常休闲游憩的首选，而区域公园和市域公园因其规模较大，多分布在主城区外围。

3.4 老年人群体享有公园绿地供给的正义性评价

在北京市主城区内，老年人群体享有公园绿地总供给比例为13.7%，老年人占总人口的比例为14.9%，老年人享有绿地总供给的份额指数为0.923；表明在整个研究区水平上，北京市主城区内的老年人群体享有公园绿地

总供给水平低于社会平均水平，公园绿地供给未向老年人群体倾斜，换言之，研究区内老年人群体享有的公园绿地供给未能达到社会正义的底线要求。

3.5 公园绿地布局优化策略

公平正义的城市公园绿地空间布局的基础要求就是实现居民获取公共资源的平等性，强调每个居民均可获得享有公园绿地供给的机会，尤其是弱势群体。本研究旨在基于城市公园绿地供需分析，兼顾城市景观风貌、生态环境、用地性质和居民福祉等问题，结合城市现状，因地制宜地消除研究区内公园绿地供给盲区，提高城市公园绿地供给公平性^[35]。并分两步进行绿地空间布局优化，即识别待优化区域和提升待优化区域内的公园绿地总供给。

3.5.1 识别待优化区域

优化布局时重点优化公园绿地供给不足的街道，将低供给—高需求、低供给—中需求、中供给—高需求视为待优化区域，其中将低供给—高需求划分为亟待优化区域，而低供给—中需求和中供给—高需求视为一般优化区域。对于供需平衡区域如香山街道、清华园街道、前门街道、建国门街道等，公园绿地数量无须增加。

3.5.2 明确提升公园绿地总供给的手段

研究基于公园数量、公园质量和公园服务能力来度量公园绿地供给，其中公园的服务能力受到公园规模和路网的影响，公园质量受到公园总面积、公园内的水体面积、公园内的绿地面积、公园内的公共服务设施数量的影响。因此可从以下三个方面提升街道内的公园绿地供给（图3）。

新增公园绿地空间。新增公园绿地空间是提升目标街道单元内公园绿地供给的直接手段。研究基于北京城市总体规划（2016-2035年）中的中心城区市级绿道系统规划图，将其中未开发的绿地识别出来并进行矢量化，作为公园绿地候选空间。首先考虑在亟待优化区域内的公园绿地候选空间内新增，考虑以布局中大型公园为主，其次选择在离待优化街道单元最近的公园绿地候选空间新增游园、口袋公园等。经统计，研究区内共有30个新增公园绿地点位，分布在海淀区、朝阳区、丰台区和石景山区，如北下关街道、海淀街道、上地街道、大屯街道等，东城区和西城区无可新增公园绿地点位。

提升现有城市公园绿地质量。快速城镇化使得城区各类性质用地紧张，难以协调，新增公园绿地相对来说较为困难，故提升现有公园质量是提升待优化区域内公园绿地总供给的间接手段。经统计，研究区内80个公园绿地质量待提升，聚集在二环至四环内，如朝阳区的望京公园、呼家楼社区公园等；东城区的地坛公园、青年湖公园等；海淀区的西三旗公园、知春公园、玉渊潭公园等。可通过增加公园内的水体面积、绿地面积，完善公园内的公共服务设施等手段提升公园内部质量，如增加或完善公园内座椅、公共卫生间、健体设施等公共服务设施增加公园吸引力，间接促进公园的可容纳人口数量，提升公园绿地供给水平。

提高道路密度及加强绿地连通性。道路密度紧密影响着公园绿地的供给能力。在以步行交通出行下，0.3 ~ 0.8 km是大多数居民可以忍受的出行距离，能够忍受的最大步行距离为2 km，因此应加强道路基础设施建设以提高路网密度，尽可能优化路网结构形成复合式布局交通道路，从而提升城市公园绿

地的可达性。此外，应增设绿道以增强公园绿地之间的联系，从而增加公园绿地的服务范围，有利于提升城市公园绿地供给。

4 结论与讨论

4.1 结论

研究综合公园数量、公园质量及公园服务能力改进公园绿地供给模型，基于老龄化视角对北京市主城区公园绿地供给公平性开展评价，最后针对评价结果提出公园绿地公平性优化策略。结果表明：

(1) 研究区内的公园绿地总供给存在明显的空间异质性，总体呈现城市中心到外围先增加后减少的趋势，且西南侧公园绿地总供给较高，东北侧公园绿地总供给较低。总体来说，北京市主城区公园绿地分布存在供给盲区。

(2) 研究区内33.9%的区域内的公园绿地总供给无法满足老年群体需求，该区域聚集在北京市二环至五环的西北侧。游园、社区公园、区域公园和市域公园等4种公园绿地供给与老年群体需求的供需匹配呈现相似的空间分布特征，低供给—高需求区域均聚集在海淀区；且相比其他三个公园绿地类型，老年群体享有社区公园绿地供给的机会更多。

(3) 老年人群体享有的公园绿地供给未能达到社会正义的底线要求。增加公园绿地数量是提升公园绿地供给的直接手段，其次，提升公园绿地质量对促进公园绿地总供给有积极的影响。

4.2 讨论

在构建公园质量测算公式时，本研究引入百度热力图，削弱了以往在确定公园质量因子权重的主观性；在测算公园绿地的服务能力时考虑了不同类型的公园绿地，并根据

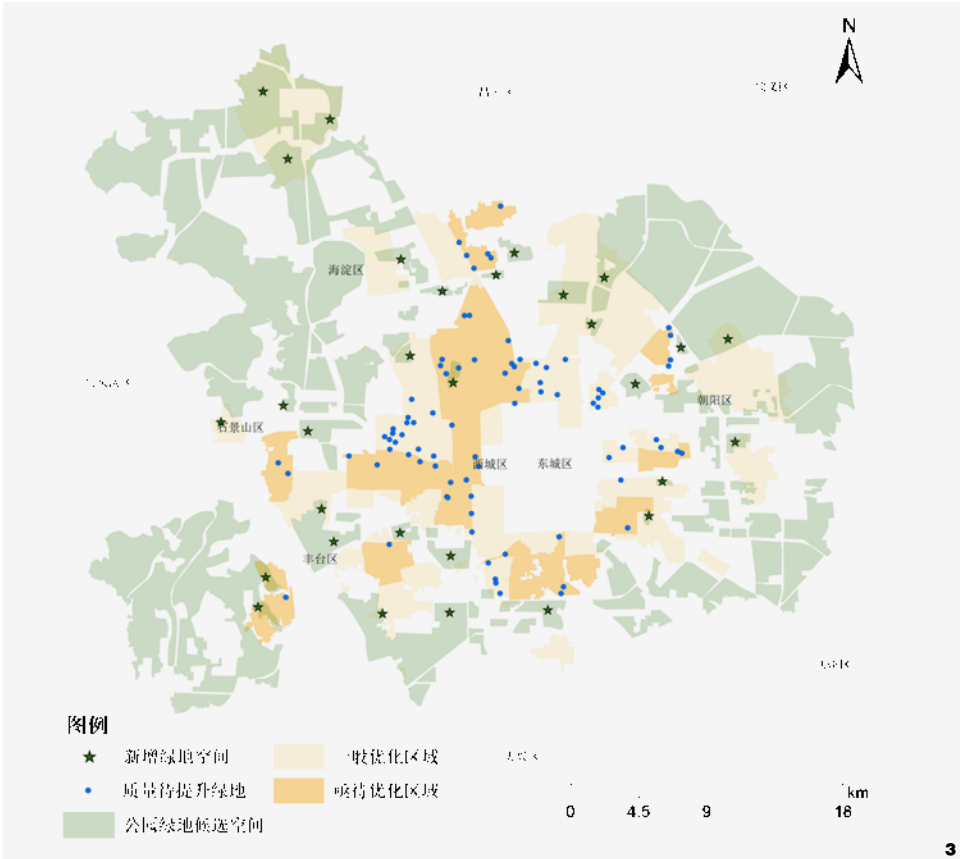


图3 面向老年人的公园绿地空间优化布局意向图
Fig. 3 Park green space optimization intention diagram for the elderly

其规模大小设定不同的服务半径，因此改进后的公园绿地供给模型更细致且更全面。

此外，由于全国第七次人口普查数据中涉及到街道层面的不同社会群体数据尚未公布，本研究以全国第六次人口普查数据中街道层面的老年群体数据、全国第七次人口普查数据中各街道的总人口数据、全国第七次人口普查公报中的各个街道内老年群体的变化率来矫正计算得到北京市主城区第七次人口普查数据街道层面的老年群体数据，利用此数据度量北京市绿地供给与居民需求的匹配关系，可为北京市规划提供实时性指导。

然而，本研究尚存在一些不足之处。公园绿地的供给能力与公园规模、公园所提供

服务的多样性和公园内部服务设施的完善程度密切相关^[36]，这些因素共同影响着居民使用公园的体验感知。由于数据可得性的限制，在公园质量的因子选择上只考虑了公园规模、公园内水体规模、公园内绿地规模和公园内部公共服务设施数量（卫生间、报亭）等4个因子，可能造成公园质量评价存在误差。未来在探究公园质量时，可综合考虑公园内部的公共服务设施的多样性及公园周边公共服务设施的便利性。大数据、GIS空间技术虽能够直观地揭示城市空间宏观层面的特征，但未来的研究中，还需借助微观层面的社会调查作为辅助，对居民的公园使用行为、各群体使用需求进行实地访谈，获取更翔实

的数据材料；以弥补大数据、GIS空间技术对人群需求主观意愿表达不足的缺陷^[37]。此外，研究区域的划定必将受到边界效应的影响，在测算街道享有的公园绿地供给时，研究区最外侧街道可能会受到研究范围外公园绿地的辐射，从而造成该街道测算的绿地供给小于实际享有的公园绿地供给，造成边缘区域评价结果存在一定误差。未来研究可将研究范围扩大到一定区域，以减弱边界效应造成的误差。

注：文中图表均由作者自制/绘。

参考文献

[1] 陈卫. 中国人口负增长与老龄化趋势预测[J]. 社会科学辑刊, 2022(5): 133-144.

[2] 杜鹏, 李龙. 新时代中国人口老龄化长期趋势预测[J]. 中国人民大学学报, 2021, 35(1): 96-109.

[3] 李凌. 老年人对城市公园绿地的需求及行为分析[J]. 乡村科技, 2020, 11(25): 58-59.

[4] 江海燕, 周春山, 肖荣波. 广州公园绿地的空间差异及社会公平研究[J]. 城市规划, 2010, 34(4): 43-48.

[5] 曾当, 郑芷青, 刘钉. 广州市区公园游人特征分析[J]. 广东林业科技, 2010, 26(4): 51-55.

[6] MAHMOUD S H, GAN T Y. Long-term Impact of Rapid Urbanization on Urban Climate and Human Thermal Comfort in Hot-arid Environment[J]. Building and Environment, 2018, 142(9): 83-100.

[7] WEI Y, HUANG C, LI J, et al. An Evaluation Model for Urban Carrying Capacity: A Case Study of China's Mega-Cities[J]. Habitat International, 2016, 53: 87-96.

[8] TWOHIG-BENNETT C, JONES A. The Health Benefits of the Great Outdoors: A Systematic Review and Meta-analysis of Greenspace Exposure and Health Outcomes[J]. Environmental Research, 2018, 166: 628-637.

[9] KRISTINE E, BØCKER C P, LARS A, et al. Residential Green Space in Childhood is Associated with Lower Risk of Psychiatric Disorders from Adolescence into Adulthood[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2019, 116(11): 5188-5193.

[10] GASCON M, TRIGUERO-MAS M, MARTINEZ D,

et al. Mental Health Benefits of Long-Term Exposure to Residential Green and Blue Spaces: A Systematic Review[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2015, 12(4): 4354-4379.

[11] NADJA K, CATHARINA P, OSKAR M, et al. Physiological and Psychological Effects of Visits to Different Urban Green and Street Environments in Older People: A Field Experiment in a Dense Inner-city Area[J]. Landscape and Urban Planning, 2021, 207: 103998.

[12] 胡锦涛. 在省部级主要领导干部提高构建社会主义和谐社会能力专题研讨班上的讲话(2005年2月19日)[J]. 领导决策信息, 2006(Z1): 35-47.

[13] 王敏, 朱安娜, 汪洁琼, 等. 基于社会公平正义的城市公园绿地空间配置供需关系——以上海徐汇区为例[J]. 生态学报, 2019, 39(19): 7035-7046.

[14] TALEN E. Neighborhoods as Service Providers: A Methodology for Evaluating Pedestrian Access[J]. Environment and Planning B-Urban Analytics and City Science, 2003, 30: 181-200.

[15] TALEAI M, SLIUZAS R, FLACKE J. An Integrated Framework to Evaluate the Equity of Urban Public Facilities Using Spatial Multi-criteria Analysis[J]. Cities, 2014, 40: 56-69.

[16] SHEN Y N, SUN F Y, CHE Y. Public Green Spaces and Human Wellbeing: Mapping the Spatial Inequity and Mismatching Status of Public Green Space in the Central City of Shanghai[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2017, 27: 59-68.

[17] RIGOLON A. A Complex Landscape of Inequity in Access to Urban Parks: A Literature Review[J]. Landscape and Urban Planning, 2016, 153: 160-169.

[18] SUGIYAMA T, GUNN L D, CHRISTIAN H, et al. Quality of Public Open Spaces and Recreational Walking[J]. American Journal of Public Health, 2015, 105(12): 2490-2495.

[19] 徐宇曦, 陈一欣, 苏杰, 等. 环境正义视角下公园绿地空间配置公平性评价——以南京市主城区为例[J]. 应用生态学报, 2022, 33(6): 1589-1598.

[20] THOMPSON C W. Linking Landscape and Health: The Recurring Theme[J]. Landscape and Urban Planning, 2011, 99(3-4): 187-195.

[21] SOUTHON G E, JORGENSEN A, DUNNETT N, et al. Perceived Species-richness in Urban Green Spaces: Cues, Accuracy and Well-being Impacts[J]. Landscape and Urban Planning, 2018, 172: 1-10.

[22] ZHANG Y Z, WANG J, CHEN Y, et al. An Assessment of Urban Parks Distribution from Multiple Dimensions at the Community Level: A Case Study of Beijing[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2021, 91(4): 106663.

[23] 周末, 王兰会. 公园绿地社会公平性变动及其驱动因素——基于人口老龄化视角[J]. 中国园林, 2023, 39(02): 57-63.

[24] SONG Y, CHEN B, HO H C, et al. Observed Inequality in Urban Greenspace Exposure in China[J]. Environment International, 2021, 156: 106778.

[25] SONG Y, HUANG B, CAI J, et al. Dynamic Assessments of Population Exposure to Urban Greenspace Using Multi-source Big Data[J]. Science of the Total Environment, 2018, 634: 1315-1325.

[26] 包路芳, 龙昊廷. 北京市人口老龄化现状、影响及对策建议[J]. 北华大学学报(社会科学版), 2022, 23(02): 55-63.

[27] 石沛沛, 肖映辉, 詹庆明. 基于大数据的武汉市人口时空聚集模式研究[C]// 智慧规划·生态人居·品质空间——2019年中国城市规划信息化年论文集. 2019: 349-357.

[28] 刘骏, 蒲蔚然. 城市绿地系统规划与设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.

[29] WANG X K, MENG Q Y, LIU X Z, et al. Evaluation of Fairness of Urban Park Green Space Based on an Improved Supply Model of Green Space: A Case Study of Beijing Central City[J]. Remote Sensing, 2022, 15(1): 244.

[30] KORDI M, BRANDT S A. Effects of Increasing Fuzziness on Analytic Hierarchy Process for Spatial Multicriteria Decision Analysis[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2012, 36(1): 43-53.

[31] 许基伟, 方世明, 刘春燕. 基于 G2SFCA 的武汉市中心城区公园绿地空间公平性分析[J]. 资源科学, 2017, 39(3): 430-440.

[32] SAATY T L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation[M]. New York: McGraw-Hill, 1980.

[33] WANG X, MENG Q, ZHANG L, et al. Evaluation of Urban Green Space in Terms of Thermal Environmental Benefits Using Geographical Detector Analysis[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2021, 105: 102610.

[34] 唐子来, 顾姝. 上海市中心城区公共绿地分布的社会绩效评价: 从地域公平到社会公平[J]. 城市规划学刊, 2015 (002): 48-56.

[35] 秦晗, 朱珈仪, 徐欢, 等. 城市公园绿地供给公平性评价与优化布局研究[J]. 园林, 2022, 39(10): 95-103.

[36] 胡杨. 北京市朝阳区公园绿地布局的公平性评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2019.

[37] KIM H M, KWAN M P. Space-time Accessibility Measures: A Geocomputational Algorithm with a Focus on the Feasible Opportunity Set and Possible Activity Duration[J]. Journal of Geographical Systems, 2003, 5(1): 71-91.