居住区绿地对提升城市绿地均衡性的影响*

刘斯琪 干晓宇

四川大学建筑与环境学院 成都 610065

摘要：【目的】探究居住区绿地对城市绿地供需匹配的影响，为提升城市绿地均衡性、改善居民福祉提供科学依据。【方法】以成都市武侯区街道为基本单元，在是否考虑居住区绿地两种情况下对城市绿地均衡性进行分析；运用生态系统服务量化方法综合对比成都市绿地空间供需分布现状，通过区位熵探索各街道生态系统服务供需关系，判断居住区绿地对城市绿地供需分布的贡献。【结果】成都市绿地空间供需分布不均匀；在考虑居住区绿地情况下，城市绿地分布全域均衡性提升了 68.1%；局部均衡性分析中的不均衡单元减少。【结论】考虑居住区绿地后，城市绿地供需分布均衡程度得到改善。研究结果为优化城市绿地结构布局提供了新思路：保护现有公园绿地、优化居住区和公园绿地布局，以及优化城市绿地质量。

关键词：生态系统服务；城市绿地；居住区绿地；绿地供需分布；成都市

DOI：10.12169/zgcsly.2024.05.15.0003

Impact of Residential Green Spaces on Enhancing the Equilibrium of Urban Green Spaces

Liu Siqi Gan Xiaoyu

(College of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: 【Objective】 The research on the spatial distribution of supply and demand for urban green spaces often overlooks residential green spaces, which are more accessible. This study is hence conducted to investigate the impact of residential green spaces on the balance of supply and demand for urban green spaces, with an aim at providing scientific bases for increasing the urban green space equilibrium and improving the residents' welfare. 【Method】 With the streets in Wuhou District of Chengdu City as the basic unit, the balance of urban green spaces is analyzed under two scenarios: including and excluding residential green spaces. The current distribution of supply and demand of urban green spaces in Chengdu is comprehensively compared using ecosystem service quantification methods. The supply-demand relationship of ecosystem services in each street is examined through location entropy to assess the contribution of residential green spaces to the distribution of urban green space supply and demand. 【Result】 The distribution of supply and demand for urban green spaces in Chengdu is uneven. When residential green spaces are taken into account, the overall balance of urban green space distribution improves by 68.1%. In the analysis of local balance, the number of imbalanced units decreases. 【Conclusion】 The inclusion of residential green spaces enhances the balance of supply-demand distribution for urban green spaces. The results provide new ideas for optimizing the structure and the layout of urban green spaces, i. e., protecting existing park green spaces, optimizing the layout of residential green spaces and park green spaces, and improving the quality of urban green spaces.

收稿日期：2024-05-15

* 基金项目：国家自然科学基金青年基金项目（51108284）

第一作者：刘斯琪（1998-），女，硕士生，研究方向为风景园林规划设计与生态系统服务。E-mail：liusiqilsq647@163.com

通信作者：干晓宇（1981-），男，博士，讲师，研究方向为景观生态学与生态系统服务。E-mail：ganxy@scu.edu.cn

Keywords: ecosystem service; urban green space; residential green space; green space supply-demand distribution; Chengdu City

城市绿地作为一种城市人群高需求公共资源，在缓解和消除城市生态问题上发挥着重要作用[1]。因此，提供充分均衡的城市绿地空间可以有效改善居民生活的满意程度[2]。然而，大部分城市公园绿地在空间供应上是不均衡的，只有 44.11%的城市公园绿地可以通过日常交通方式获得[3]，这种空间分布的不均衡本质上反映了城市绿地供应和城市居民的需求之间存在矛盾[4]，因此，研究城市绿地是否均衡对改善居民环境质量至关重要。

然而，在现有研究中，城市绿地通常是对城市公园绿地展开研究[5]，对于非公园绿地的研究较少。除了公园绿地之外，还有一些更接近居民住所的绿色资源，包括居住区、大学和政府机构内的绿色空间等，通常把这类绿地定义为非公园绿地[6]。研究表明，非公园绿地对城市绿地可达性公平程度的贡献率达到了 79.32%[7]，是一种被低估了的绿色资源[8]。非公园绿地中的居住区绿地占城市绿地使用频率的 50%[9]，是人们直接接触的生活空间[10]。然而很少有研究关注居住区绿地对于城市绿地供需布局的影响。因此本研究将非公园绿地中的居住区绿地作为研究对象。

以往城市绿地规划布局研究中，绿地覆盖率等指标能在宏观层面反映绿地的数量特征，但在揭示绿地生态效益及空间分布格局方面仍有局限[11]。随着研究的深入，部分学者开始基于绿地可达性分析，引入区位熵等方法，从空间维度深入剖析城市绿地与人口分布的匹配关系。为了进一步实现居民对城市绿地的均衡获取，学者们逐渐将生态系统服务（ecosystem services，ES）的概念融入城市绿地布局优化体系之中[12]，并提出综合考量多种生态系统类型价值的量化方法[13]，为推动城市可持续发展提供了理论支撑。

基于此，本文以街道为基本单元，通过对公园绿地及居住区绿地进行 ES 价值量计算。从是否考虑居住区绿地情况出发，运用区位熵计算研究城市绿地供需匹配空间分布。其次，通过全域均衡性和局部均衡性角度对两种情况进行对比分析，进而确定非公园绿地中居住区绿地对于城市绿地供需匹配的影响。最后，基于研究结果对城市绿地提出规划设计建议，以期为成都市及同类型城市绿地规划优化设计提供科学依据。

1 研究区概况

武侯区为四川省成都市辖区，位于成都市中心城区西南部。2021 年全区常驻人口 121.98 万人，总面积为 75.36 km^2。武侯区辖区范围内包含 15 个街道，其中包括武侯区直接管辖的 11 个行政街道（浆洗街、望江路、玉林、火车南站、晋阳、红牌楼、簇桥、机投桥、金花桥、簇锦、华兴）和高新区托管的 4 个行政街道（桂溪、芳草街、肖家河、石羊）。

2 研究方法

2.1 数据来源与预处理

本文研究所使用数据包括城市绿地数据、城市公园绿地数据、路网数据、居住单元数据、人口数据和行政划分（表 1）。通过 Arcmap10.2 进行数据校正，选取处在同一地理坐标系的往期 Google Earth 进行影像目视解译并绘制，校正后坐标统一为西安 1980 坐标系。最后，通过实地调研和随机选取 100 个验证点进行精度评定，精度达到 90%以上。参照《城市居住区规划设计标准（GB 50180-2018）》汇总为综合公园、专类公园、社区公园和游园，非公园绿地选取居住区绿地（表 2），分类统计各类别绿地面积。通过整合兴趣点数据，研究武侯区 2021 年的城市绿地数据，其中包含 102 个公园绿地，2 792 个居住区绿地（图 1）。人口数据和居住单元数据来源于成都市第七次人口普查数据与基于 Phython 对于安居客、链家相关居住区信息的爬取。

2.2 ES 价值量计算

价值法通过货币数值直观展现生态服务的价值并能描绘其空间分布特性[14]。本研究基于城市绿地的主要服务功能对 ES 进行分类[15]，主要选取生态系统服务中的固碳、释氧、隔音降噪、生物多样性以及美学景观 5 个子分支对 ES 的价值量进行精确计算[16-19]。

表 1　数据来源

数据类别	数据来源
武侯区行政区划	中国科学院资源与环境数据中心（https://www.resdc.cn/）
公园绿地面积	高分辨率遥感影像（https://www.gditu.net/）、调研、高德地图（https://www.map.baidu.com/）
公园主入口	
路网数据	OpenStreetMap 开放共享数据（www.openstreetmap.org）
居住区内绿地面积	调研、高分辨率遥感影像（https://www.gditu.net/）
人口	第七次人口普查数据
街道斑块	2020 年成都市政府行政划分
居住区斑块	成都市核心城市国土空间规划空间用地现状图、高德地图

表 2　各城市绿地类型绿地面积

绿地类型	绿地子类型	适宜规模/hm^2	数量	绿地面积/hm^2
公园绿地	综合公园	≥10	6	192.33
	专类公园	–	14	31.05
	社区公园	1.5~10	30	39.45
	游园	0.2~1.5	52	64.18
非公园绿地	居住区绿地	–	2 792	782.85



图 1　武侯区 2021 年城市绿地分布现状

2.3　街道尺度下 ES 价值量计算方法

基于 ES 需求主体的移动特性，公园绿地通常对应使用者需发生空间移动的服务类别，而居住区绿地则对应使用者无需空间移动的服务类别[13]。

公园绿地 ES 的总价值量通过价值法与可达性分析进行计算。公园绿地使用者需发生空间移动，通过居民极限步行距离阈值 1 500 m 确定公园绿地服务范围[20]，因此，结合城市路网系统，采用网络分析法确定武侯区各街道内公园绿地的服务范围，进一步计算出服务范围内的人口数量。

公园绿地 ES 价值量计算公式为：

$$E_p = \sum_{i=1}^{n} \sum_{pn} \frac{P_n}{p_{nz}} \tag{1}$$

式（1）中：E_p 为各街道公园绿地的 ES 价值；E_{pn} 为第 n 个公园绿地的 ES 价值；P_n 为第 n 个公园绿地服务范围内人口数量；P_{nz} 为第 n 个公园绿地服务范围内影响的各街道总人口数。

居住区内绿地作为已存在于需求区内的供给服务，各街道居住区绿地 ES 价值总和直接通过价值法量化统合得到，基于此，考虑居住区绿地后 ES 价值计算公式为：

$$E_s = E_r + E_p \tag{2}$$

式（2）中：E_s 为考虑居住区绿地后各街道居住区绿地及公园绿地 ES 价值总和；E_r 为各街道居住区绿地 ES 价值总和；E_p 为各街道公园绿地 ES 价值总和。

2.4　居住区绿地对城市绿地供需匹配的影响

2.4.1　均衡程度计算

为更精确地衡量居民可享用的城市绿地 ES 与城市居民人口之间的空间匹配程度，引入区位熵的概念[21]。如果区位熵大于 1，则表明该街道人均享有城市绿地 ES 价值量水平高于武侯区平均水平；反之，则低于武侯区平均水平。各街道两种情况中城市绿地的区位熵的计算公式如下。

$$Q_{pi} = \frac{\dfrac{E_{pi}}{P_i}}{\dfrac{E_p}{P}} \tag{3}$$

$$Q_{si} = \frac{\dfrac{E_{si}}{P_i}}{\dfrac{E_s}{P}} \tag{4}$$

式（3）~（4）中：Q_{pi} 为 i 街道的公园绿地 ES 价值量区位熵；E_{pi} 为 i 街道的公园绿地 ES 价值总和；P_i 为 i 街道人口数量；E_p 为所有街道公园绿地的 ES 价值总和；P 为所有街道人口总和；Q_{si} 为 i 街道的考虑居住区绿地后绿地 ES 价值量区

位熵；E_{si}为 i 街道公园绿地的 ES 价值总和；E_s 为所有街道综合绿地的 ES 价值总和。

2.4.2 全域及局部均衡性比较分析

分别从是否考虑居住区绿地两种情况出发，首先进行全域均衡性分析，通过对比 Q_{pi} 和 Q_{si} 的总体变化判断居住区绿地对城市绿地供需匹配影响的程度。继而对各街道的供需匹配变化进行局部均衡性分析，将计算得到的各街道区位熵值分为极差、较差、正常、较好、极好 5 个等级[22]，将偏离正常值范围的不均衡单元进行提取，进而判断影响城市绿地供需匹配的原因。

3 结果与分析

3.1 两种情况下的城市绿地供需匹配

3.1.1 ES 量化结果

由图 2、表 3 可知：未考虑居住区绿地时，ES 价值空间上呈现南部高、中西部低的布局，其中桂溪街道和石羊街道公园绿地 ES 价值量占武侯区公园绿地总价值的 52.72%；考虑居住区绿地后，ES 价值量整体得到提升，分布更加均匀，其中桂溪街道和石羊街道占比下降了 13.72%。

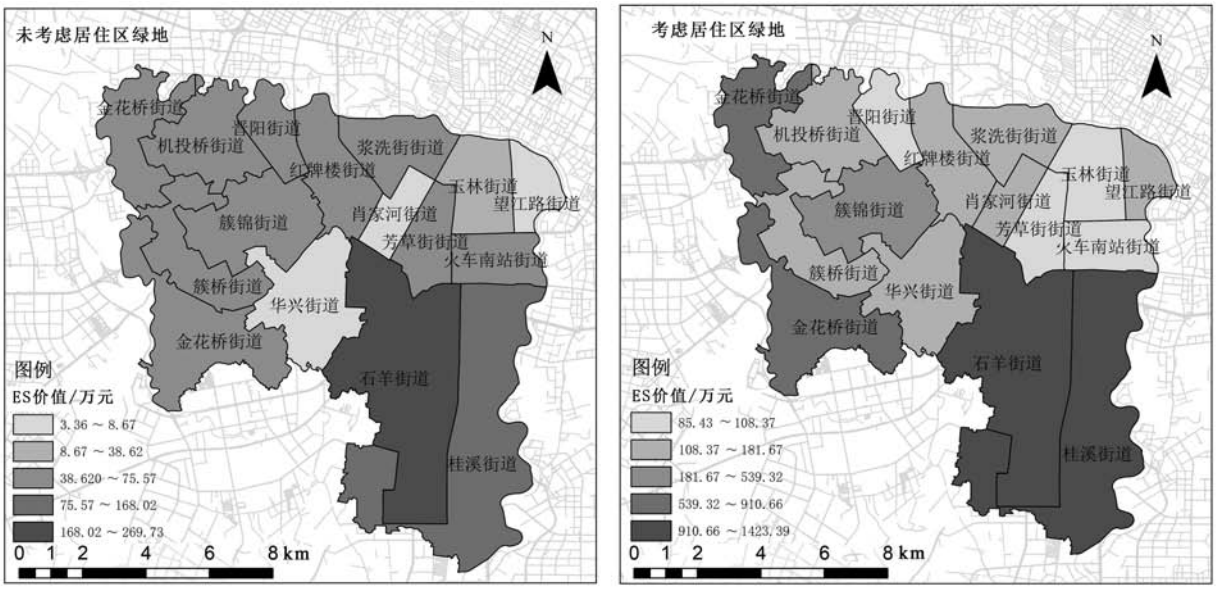


图 2 是否考虑居住区绿地两种情况下城市绿地 ES 价值分布

表 3 是否考虑居住区绿地两种情况下武侯区各街道城市绿地 ES 价值量 万元

街道名称		桂溪街道	石羊街道	火车南站街道	金花桥街道	芳草街街道	簇桥街道	簇锦街道	肖家河街道	望江路街道	玉林街道	浆洗街街道	华兴街道	晋阳街道	机投桥街道	红牌楼街道
固碳	否	9.71	8.33	0.12	6.05	0.13	1.39	2.72	0.81	0.92	0.29	0.73	1.14	0.31	0.87	0.70
	是	32.78	51.24	10.30	11.13	12.93	10.90	19.41	3.41	3.90	6.54	9.89	3.08	11.68	12.22	16.10
释氧	否	76.28	65.43	0.95	47.52	0.99	10.92	21.37	6.40	7.25	2.26	5.74	8.97	2.45	6.80	5.49
	是	257.54	402.55	80.94	87.43	101.58	85.62	152.52	26.81	30.65	51.38	77.67	24.16	91.76	95.98	126.46
减少噪声	否	41.93	35.97	0.52	26.12	0.55	6.00	11.75	3.52	3.99	1.24	3.16	4.93	1.35	3.74	3.02
	是	141.56	221.27	44.49	48.06	55.84	47.06	83.84	14.74	16.85	28.24	42.70	13.28	50.44	52.76	69.51
生物多样性保护	否	125.79	107.90	1.56	78.35	1.64	18.01	35.24	10.55	11.96	3.72	9.47	14.79	4.04	11.21	9.06
	是	424.69	663.80	133.47	144.17	167.51	141.19	251.51	44.21	50.54	84.72	128.09	39.84	151.31	158.27	208.53
美学景观	否	16.02	13.74	0.20	9.98	0.21	2.29	4.49	1.34	1.52	0.47	1.21	1.88	0.51	1.43	1.15
	是	54.08	84.53	17.00	18.36	21.33	17.98	32.03	5.63	6.44	10.79	16.31	5.07	19.27	20.16	26.56
总计	否	269.73	231.37	3.36	168.02	3.51	38.62	75.57	22.63	25.65	7.99	20.30	31.72	8.67	24.04	19.43
	是	910.661	423.39	286.21	309.15	359.18	302.75	539.32	94.81	108.37	181.67	274.65	85.43	324.46	339.38	447.15

注：表格内“否”代表“情况一：不考虑居住区绿地”；“是”代表“情况二：考虑居住区绿地”。

3.1.2 城市绿地供需匹配

在两种情况下，城市绿地 ES 供需匹配的分布都是不均匀的（图 3）。但是，考虑居住区绿地后，正常范围街道数量上升，极端范围街道

数量下降，不均衡性得到一定程度的缓解。将街道区位熵计算结果分为 5 类：$Q \leqslant 0.5$ 时，为极低等级；$0.5<Q<0.8$ 时，为较低等级；$0.8<Q \leqslant 1.2$ 时，为正常等级；$1.2<Q \leqslant 2$ 时，为较高等级；$Q>2$ 时，为极高等级。考虑居住区绿地后，极低和较低街道占比下降 33.34%；较高和极高街道占比 20%；处于正常级别街道最多，占比提升 40%。

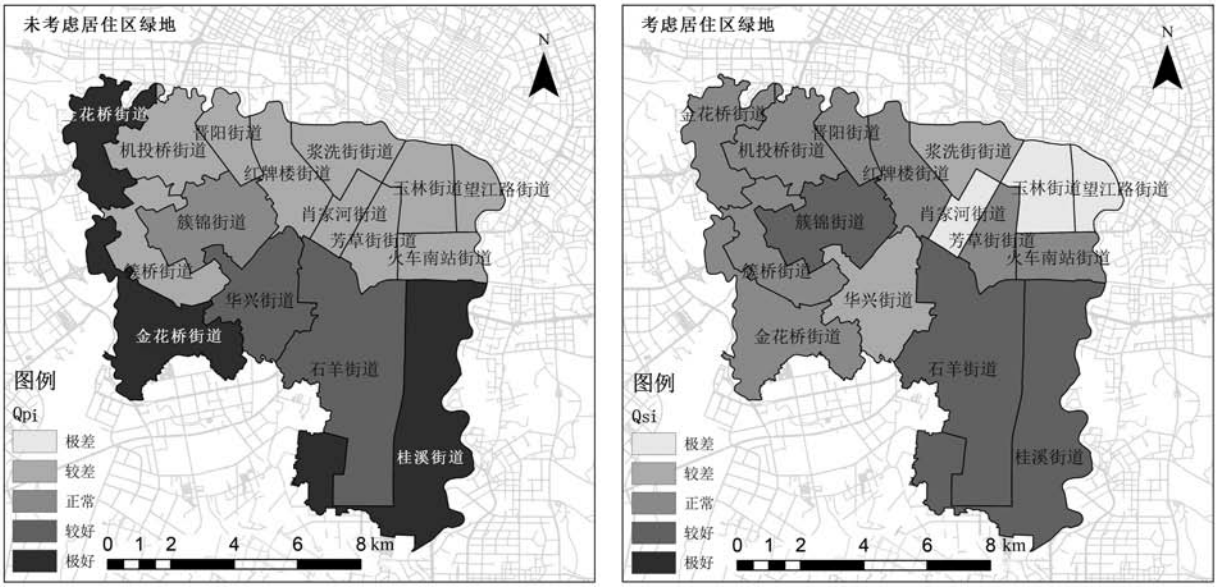


图 3　两种情况下城市绿地区位熵空间分布

3.2　居住区绿地对城市绿地供需的影响

3.2.1　全域均衡性

将两种情况下城市绿地区位熵进行全域均衡性比较分析，结果考虑居住区绿地后全域均衡性得到提升。将两种情况下的区位熵值用箱线图表示，结果（图 4）显示，箱子越窄说明数据更集中稳定。未考虑居住区绿地情况的区位熵的 Q_1（最小值）、Q_2（下四分位数）、Q_3（中位数）、Q_4（上四分位数）、Q_5（最大值）分别为 0.06、0.18、0.55、1.30 和 3.25；考虑居住区绿地后的区位熵的 Q_1、Q_2、Q_3、Q_4、Q_5 分别为 0.37、0.55、0.93、1.08 和 1.90。在未考虑居住区绿地时，区位熵 Q_{pi} 极值差为 2.36，街道内差异极大，公园绿地在空间层面分布不均匀；而考虑居住区绿地后，Q_{si} 极差值为 1.54，与 Q_{pi} 相比，Q_{si} 数据整体的离散程度减弱，极值差减少。

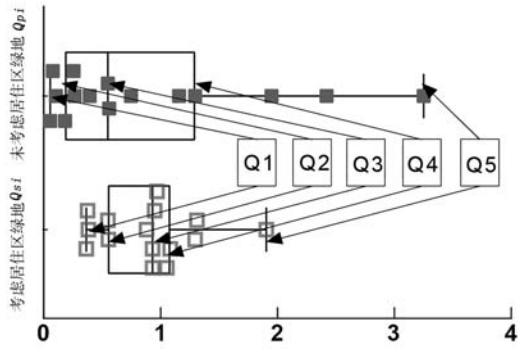


图 4　两种情况下区位熵箱线图分布

3.2.2　局部均衡性

局部均衡性分析进一步证实了居住区绿地对提升城市绿地均衡性的积极作用。对空间不均衡单元（图 5）提取可知，考虑居住区绿地后，区位熵异常值单元减少 42.9%。两种情况下较差异常值区域减少，分布差异性大。在仅考虑公园绿地情况下，处于极高空间单元的街道为桂溪和金花桥街道，说明其公园绿地 ES 远高于平均水平；而考虑居住区绿地后，极高空间单元消失，说明绿地分布更加均衡。

3.2.3　空间单元结果变化因素

居住区绿地在弥补公园绿地不足、提升居民生活质量方面发挥了积极作用。通过对不同街道单元区位熵的变化进行分析，结果（图 6）发现多种因素均对空间单元结果产生显著影响。按照区位熵变化趋势，可将街道单元分为上升和下降两大类。在考虑居住区绿地后，有 9 个街道单元区位熵上升，而 6 个街道单元区位熵下降。

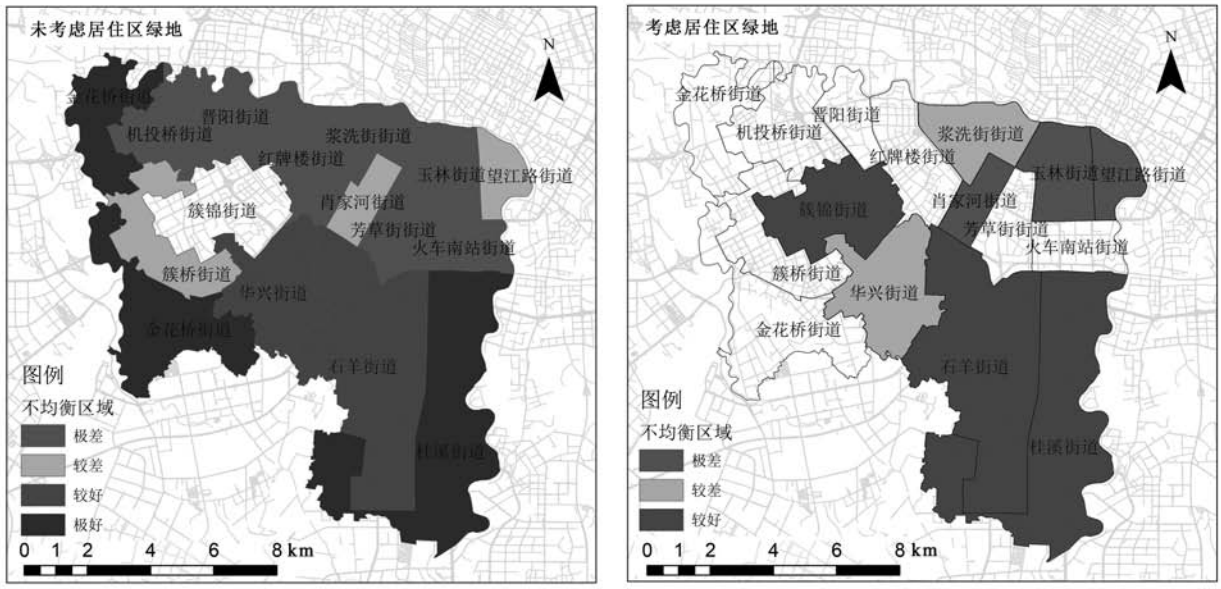


图 5 两种情况下城市绿地 ES 价值区位熵不均衡单元

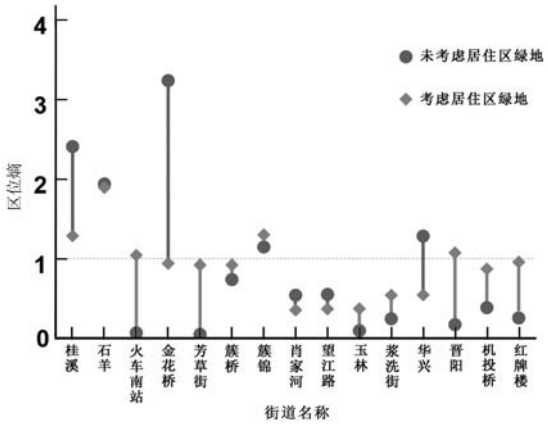


图 6 两种情况下各街道单元区位熵变化

4 讨论

目前，基于城市绿地均衡性对武汉[4]、合肥[5]、重庆[9]、上海[10]等城市绿地进行研究发现，城市绿地供需匹配存在差异，多数绿地分布不均衡[9]，这与本研究结果一致。绿地所提供的 ES 空间分布与人口分布匹配不一致的现象，往往会导致居民可享有绿地的分布均衡性问题[2]，而在多数城市发展初期未能有效对城市绿地重要性进行充分考量，旧中心城区为高密度建成区，少有大型公园绿地[10]。随着《成都市城镇老旧院落改造“十四五”实施方案》的提出，成都市开始对老旧小区内环境进行考量提升，因此关注居住区绿地对于改善居民福祉具有重要作用。

研究基于是否考虑居住区绿地两种情况进行分类研究，结果发现各街道在空间层面均衡程度存在很大差异，这与对建成环境中城市绿地资源在分类层面上是不平等的研究一致[9]。居住区绿地对于提升城市绿地 ES 供需均衡性具有积极意义，而其原因可能是在当公园绿地无供给或者供给不足情况下时，居住区绿地作为分布最广的城市绿地，可以对公园绿地的不均衡分布进行一定程度的补充[7]。

基于此，本研究以提升城市绿地均衡性为目的提出以下策略：一是保护现有公园绿地。大型公园绿地不仅对本街道居民提供 ES 价值，还对周边街道居民获取 ES 做出了积极贡献；二是优化居住区绿地布局。对于公园绿地稀少且城市用地紧张的街道，通过居住区及老旧社区改造的形式提升绿地供给能力。三是优化公园绿地布局。针对两种情况下均处于低均衡性的街道，充分利用城市内废弃空间转变为公园绿地，同时根据相关政策对公园绿地面积进行合理增设。四是优化城市绿地质量。当部分街道无法提升绿地面积时，从提升绿地质量进行考量。建议从植物植被配置、多样的服务景观等多个方面进行提升，以更好地满足居民对 ES 的需求。

本研究存在一定局限性，即未考虑在两种情况下绿地的供给能力差异，这将影响居民的出行意愿，当考虑居民出行意愿差异时，城市绿地布局分配的均衡性将更有意义，这有待进一步完善。

5　结论

本研究从增加居住区绿地视角出发，通过对是否考虑居住区绿地两种情况的比较，分析了居住区绿地对于城市绿地分布均衡性的贡献。结论如下：

1）城市绿地空间供需分布不均匀。在两种情况下，各个街道 ES 价值差异均较大。

2）考虑居住区绿地后，城市全域均衡性呈明显上升趋势，居住区绿地在提升城市绿地供需均衡性方面发挥着积极的作用。

3）是否考虑居住区绿地两种情况下各街道单元区位熵发生变化。人口密度、街道建设年代、绿地类型及分布状况等因素均对空间单元结果产生显著影响。

4）本研究在研究城市绿地供需均衡性的同时强调了居住区绿地的重要性，为优化城市绿地结构布局提供了新思路，进一步推动城市生态环境的改善和可持续发展。

参考文献

[1]屠星月，黄甘霖，邬建国.城市绿地可达性和居民福祉关系研究综述[J].生态学报，2019，39(2)：421-431.

[2]KNOBEL P，MANEJA R，BARTOLL X，et al. Quality of urban green spaces influences residents' use of these spaces，physical activity，and overweight/obesity[J]. Environmental Pollution，2021，271：116393.

[3]HUANG Y Y，LIN T，XUE X Z，et al.Spatial patterns and inequity of urban green space supply in China[J]. Ecological Indicators，2021，132：108275.

[4]陆砚池，方世明.均衡和效率双重视角下武汉市主城区公园绿地空间布局优化研究[J].长江流域资源与环境，2019，28(1)：68-79.

[5]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.

[6]ZHOU C H，ZHANG Y，FU L S，et al. Assessing mini-park installation priority for regreening planning in densely populated cities[J].Sustainable Cities and Society，2021，67：102716.

[7]KE X L，HUANG D Y，ZHOU T，et al. Contribution of non-park green space to the equity of urban green space accessibility[J]. Ecological Indicators，2023，146：109855.

[8]SIKORSKI P，GAWRYSZEWSKA B，SIKORSKA D，et al. The value of doing nothing-How informal green spaces can provide comparable ecosystem services to cultivated urban parks[J]. Ecosystem Services，2021，50：101339.

[9]杨琛，朱捷，吕梁.重庆市中心城区绿地空间公平性分析[J].中国城市林业，2022，20(5)：61-68.

[10]牛爽，汤晓敏.高密度城区公园绿地配置公平性测度研究：以上海黄浦区为例[J].中国园林，2021，37(10)：100-105.

[11]尹海伟，孔繁花，宗跃光.城市绿地可达性与公平性评价[J].生态学报，2008，28(7)：3375-3383.

[12]李方正，刘阳，施瑶，等.基于生态系统服务功能模拟演算的绿色空间规划框架：以北京市浅山区为例[J].北京林业大学学报，2019，41(11)：125-136.

[13]陈康富，张一蕾，吴隽宇.基于生态系统服务量化的城市绿地布局公平性研究：以广州市越秀区为例[J].生态科学，2023，42(3)：202-212.

[14]郭朝琼，徐昔保，舒强.生态系统服务供需评估方法研究进展[J].生态学杂志，2020，39(6)：2086-2096.

[15]闫水玉，唐俊.城市绿色空间生态系统服务供需匹配评估方法：研究进展与启示[J].城市规划学刊，2022(2)：62-68.

[16]武文婷.杭州市城市绿地生态服务功能价值评估研究[D].南京：南京林业大学，2011.

[17]李辉丹，叶长盛，华吉庆.南昌市土地利用变化对生态系统服务价值影响[J].水土保持研究，2020，27(3)：277-285，293.

[18]段彦博，雷雅凯，吴宝军，等.郑州市绿地系统生态服务价值评价及动态研究[J].生态科学，2016，35(2)：81-88.

[19]武燕，吴映梅，高彬嫔，等.成渝城市群生态系统服务价值与人类活动强度空间关系[J].水土保持研究，2023，30(1)：173-182.

[20]王宁，杜豫川.社区居民适宜步行距离阈值研究[J].交通运输研究，2015，1(2)：20-24，30.

[21]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.

[22]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(2)：48-56.