

DOI: 10.13791/j.cnki.hsfwest.20220312

蔚芳, 徐雯雯, 胡晓鸣, 等. 城市体力活动空间供需均衡与空间优化研究[J]. 西部人居环境学刊, 2022, 37(3): 88-96.

WEI F, XU W W, HU X M, *et al.* The Supply-Demand Balance and Spatial Optimization of Urban Physical Activity Space[J]. Journal of Human Settlements in West China, 2022, 37(3): 88-96

# 城市体力活动空间供需均衡与空间优化研究\*

## The Supply-Demand Balance and Spatial Optimization of Urban Physical Activity Space

蔚 芳    徐雯雯    胡晓鸣    黎小龙    詹小稳    WEI Fang, XU Wenwen, HU Xiaoming, LI Xiaolong, ZHAN Xiaowen

**摘 要:** 随着城市向快节奏、机动化发展, 体力活动缺乏引发的慢性病对公共健康造成巨大威胁。科学选择运动类型和运动量是改善慢性病的重要途径, 绿色空间和体育空间是城市中重要的体力活动空间, 其供需关系直接影响着体力活动水平。基于“慢性病—体力活动—空间供需均衡”的内在逻辑, 以杭州市拱墅区为例, 本研究量化评估了两类体力活动空间的供需特征及差异, 并针对特定群体需求偏好, 探究不同空间类型供给与老年人、青少年需求的格局特征。研究表明: 第一, 体力活动空间的供需分布不均, 总体呈现“南北高, 东西低”的态势; 第二, 绿色空间和体育空间供需均衡度较高的社区分别聚集在北部和南部, 存在明显的空间极化; 第三, 体力活动空间供需均衡并不代表空间类型供给和群体偏好相互匹配, 部分高均衡度的社

区也难以满足老年人绿色锻炼或青少年中高强度的活动需求。建议从人与空间精细化匹配、绿色空间运动化、绿体空间耦合、完善空间共享模式等方面进行空间优化, 为城市规划的公共健康促进提供新的视角。

**关键词:** 体力活动空间; 城市绿色空间; 体育空间; 供需均衡; 空间优化

**Abstract:** Rapid urbanization has changed people's traditional living habits. Non-communicable diseases (NCDs) attributable to lack of physical activity (PA) threaten public health. Scientific selection of the types and amount of PA are important to reduce NCDs' effects. Considerable evidence has shown the association between PA and the built environment according to the social ecology model. Urban green spaces (UGS) and recreational infrastructure (RI) are important for PA, and provide residents not only pleasant outdoor exercise spaces, but support a variety of medium and vigorous intensity physical activities (MVPA). This study defines UGS and RI jointly as PA spaces that allow residents to engage in recreational MVPA, including parks, forests, sports venues, and community PA facilities. These spaces' supply-demand balance (SDB) influences the level of PA directly. Nevertheless, previous studies have seldom addressed ways to arrange the UGS and RI as an integrated system to explore the SDB and ways to identify the effect of UGS and RI's different SDB on PA. Therefore, this study's goal is to explore the features and differences in PA spaces' SDB, which can provide new ideas for healthy city planning, as well as compensate for the deficiencies of existing research systems, planning practices, technology, and methods, which is of great significance to the perfection of theoretical systems, spatial planning, and the promotion of public health. Based upon the "NCDs—PA—SDB" relation, this study constructs a space supply-demand indicator system, including UGS' environmental quality, accessibility, and walkability, and RI's scale, accessibility, and equity. Then, taking Gongshu District, Hangzhou as a case, it uses the Gaussian-based two-step floating catchment area, centralization index, and other methods to evaluate spatial SDB's features. Further, it uses bivariate local Moran's I to explore the SD pattern under the elderly and adolescents' demands. The study elaborates three main elements of contents on the community scale: the SDB forms three dimensions, including UGS, RI, and PA spaces; spatial SD's different effects on PA; the pattern characteristics of spaces and certain groups of people. The results showed that: 1) Different SDB spatial types differ, and the spatial indicators also lack high synergy. PA spaces' SDB is not high, and a mismatch also exists in their SDB, with higher SDB values in the south and north, and lower values in the east and west. High SDB communities are distributed near ecological parks, sports spaces, and waterfront

中图分类号 TU984.19

文献标识码 B

文章编号 2095-6304 (2022) 03-12-09

\*浙江省自然科学基金资助项目 (LY19E080025);  
浙江省教育厅科研项目资助 (Y202045580)

### 作者简介

蔚 芳 (通讯作者): 浙江大学建筑工程学院, 副教授, weif@zju.edu.cn

徐雯雯: 浙江大学建筑工程学院, 硕士研究生

胡晓鸣: 浙江大学建筑工程学院, 副教授

黎小龙: 中国城市规划设计研究院西部分院, 高级工程师

詹小稳: 浙江大学建筑工程学院, 硕士研究生

spaces; 2) Spatial polarization exists. Northern communities' UGS have the highest SDB value, while those in the south have the highest RI value, and 3) Although the supply and demand are balanced, the spaces do not satisfy certain groups of people. The spaces that have typical SDB features have different effects on the elderly or adolescents' PA level. It is suggested that space optimization should be carried out by matching people and spaces, adding sports facilities in UGS, integrating UGS and RI, and sharing space to provide a new perspective to promote public health in urban planning.

**Keywords:** Physical Activity Space; Urban Green Space; Recreational Infrastructure; Supply-Demand Balance; Spatial Optimization

## 0 引言

20世纪以来,快速城镇化进程改变着人们传统的生活习惯,高热量饮食和静坐的生活方式影响着每个人,与运动缺乏相关的健康风险成为公共健康的关键问题。慢性非传染性疾病(Non-communicable Diseases, NCDs),也称慢性病,是全球过早死亡的最主要原因<sup>[1]</sup>。缺乏运动是慢性病死亡的重要原因之一,面对缺乏运动造成的棘手健康问题,人们逐渐从被动医学治疗转向主动预防。研究表明,适当有规律的体力活动(Physical Activity, PA)有助于防治高血压、糖尿病等慢性病,提高生活质量<sup>[2-3]</sup>。“2010健康人”将体力活动确定为十大健康指标之首,运动干预已成为许多国家提高人民健康水平的重要举措。

体力活动不足是可预防的公共健康问题,受到物理环境、社会环境以及个体因素的影响<sup>[4]</sup>。城市绿色空间(Urban Green Space, UGS)和体育空间(Recreational Infrastructure, RI)为体力活动提供重要空间支撑,是影响体力活动和健康的众多变量之一。研究表明,在绿色空间内进行体力活动能产生情绪恢复、减轻焦虑等健康溢出效应<sup>[5]</sup>。国外绿体结合模式已基本形成:德国大约58%的运动是在公园、森林中进行,绿色空间成了居民的主要运动空间<sup>[6]</sup>;英国政府也通过构建具备运动功能的口袋公园来鼓励体力活动<sup>[7]</sup>。在我国,随着“全民健身”上升为国家战略,积极参与体育锻炼已成为社会共识。城市体育场馆、社区体育设施均具有提供丰富的中高强度体育活动的价值,是关乎人们健康的重要空间<sup>[8]</sup>。因此,本文将UGS和RI共同构成的活动空间定义为体力活动空间,指支持居民进行休闲性中高强度体力活动的典型空间,包括公园、绿地、森林、体育场馆、社区体育设施等。

绿色空间与体力活动之间存在的积极联系已被学术研究证实。绿色空间通过提供体育锻炼的机会积极促进健康,其空间布局对健康产生重要影响<sup>[9]</sup>。传统的空间规划重视从供给角度探索空间结构、空间布局以及指标要求,如今关注空间促进健康行为的影响要素、作用路径等<sup>[10-11]</sup>,但仍缺乏更精细化的体力活动类型、强度、频率和时间视角下的空间供需研究,现有研究多将绿色空间和体育空间作为单独系统进行供需评估,健康导向下的绿体空间耦合、空间优化等理论与实践还需进一步探讨。基于此,本文以体力活动空间促进体力活动为突破口,总结“慢性病—体力活动—空间供需均衡”的内在逻辑,讨论绿色空间和体育空间如何影响不同群体的体力活动,对比两类空间的供需特征及差异,并探讨促进PA的空间优化方式。

## 1 “慢性病—体力活动—空间供需均衡”的内在逻辑

### 1.1 体力活动：慢性病的处方

体力活动是重要的健康影响干预因素之一<sup>[12-13]</sup>。运动产生的健康效益不仅与运动的“质”即运动形式有关,还与运动的“量”,即频率、强度、时间密切相关。每周3—5天,每天≥30 min,一周≥150 min的运动对慢性病有显著的预防和改善效果<sup>[14-17]</sup>。但由于个体存在年龄、健康、疾病、兴趣偏好等客观差异,需对运动的“质”和“量”进行更精细化的管理。诸多文献分析了PA与健康的关系,笔者整理172篇相关文献发现(图1):不同运动改善慢性病的效果存在差异,有氧运动能有效预防和改善多种疾病;抗阻运动对心血管疾病等慢性病起到良好作用;柔韧运动对缓解心理疾病负担有较好效果<sup>[18-20]</sup>;不同疾病对运动“量”的需求也不同,需根据疾病特征制定精准的运动处方。总体而言,合理选择运动的“质”并提高运动的“量”是预防和改善慢性病的重要途径。

### 1.2 体力活动空间特征影响体力活动水平

世界卫生组织(WHO)指出,健康城市是有活力的城市<sup>[21]</sup>,塑造

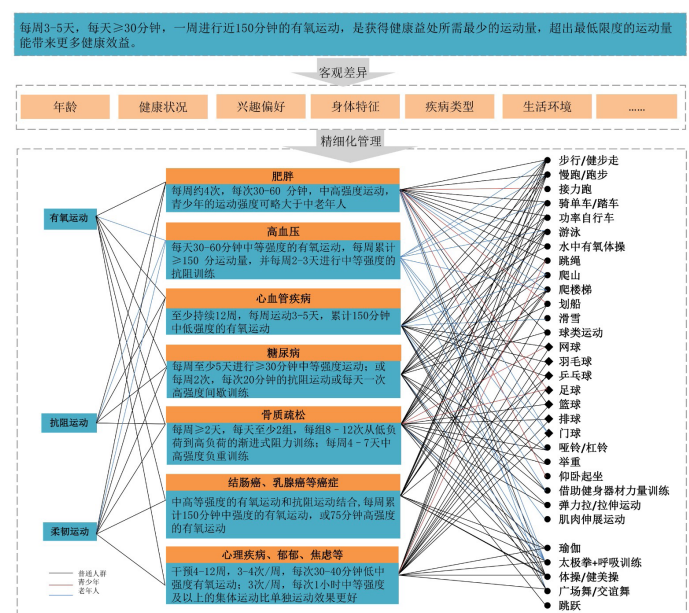


图1 体力活动的类型、时间、频率、强度与改善慢性病的关系

Fig.1 the relationship between the type, time, frequency and intensity of PA and the prevention and treatment of NCDs

健康的空间环境来鼓励积极生活已成为改善健康的重要举措。PA类型、强度、频率和时间与体力活动空间特征紧密关联。绿色空间的环境质量、可达性、可步行性等对PA产生重要影响。植被覆盖率60%以上的绿色空间能显著减轻热岛效应暴露风险<sup>[22]</sup>,使居民锻炼时获得良好心理体验,提高活动意愿<sup>[23]</sup>和时间<sup>[24]</sup>。可达性与PA频率高度相关,距离空间越近,活动频率越高<sup>[25-26]</sup>,距绿色空间超过2 250 m比830 m内的居民进行PA的概率降低约36%<sup>[27]</sup>。绿色空间内的步行、跑步等活动受到广泛关注<sup>[28]</sup>,空间中存在环境优美的健身路径能有效提高步行水平<sup>[29]</sup>。体育空间包括城市体育场馆和社区体育设施,其规模、可达性、公平性对中高强度PA的频率、类型的选择产生重要影响。

### 1.3 空间供需均衡:促进PA的空间优化路径

体力活动空间对PA的作用受供需双方的共同影响<sup>[30]</sup>。空间优化首先要厘清空间供需要素与PA属性之间的关系(图2),并以空间改善、合理布局、设施配置等途径达到供给与需求的动态均衡,是促进PA并产生健康价值的重要路径<sup>[31]</sup>。

将体力活动空间促进体力活动的健康效益纳入规划决策时,考虑绿色空间和体育空间的供需关系并以空间耦合的方式实现优化布局至关重要。健康效益取决于人们在特定空间中身体与空间互动的机会<sup>[32]</sup>,体力活动需求以及不同群体运动偏好构成了空间需求差异。老年人倾向于在绿色空间内锻炼,青少年更偏好体育空间中进行剧烈活动。考虑不同群体需求时,仅基于人口配置标准,易导致空间类型供给与群体需求不相匹配。因此,在既有空间资源禀赋差异背景下,促进PA的空间优化不仅要考虑群体需求,还应探究绿色空间和体育空间的供需关系,才能为资源的合理配置提供指导。

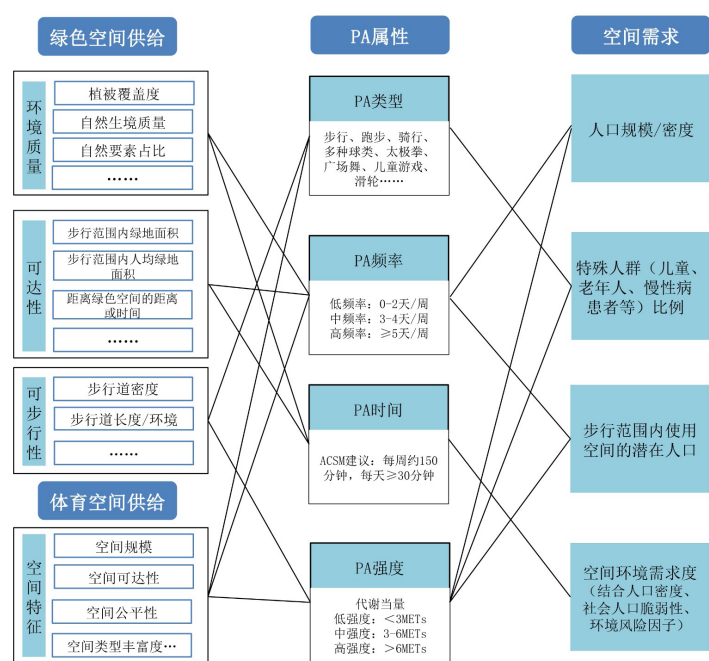


图2 体力活动空间供给、需求要素与体力活动属性之间的关系

Fig.2 the relationship between physical activity space supply-demand elements and PA attributes

## 2 研究区域、数据来源与研究方法

### 2.1 研究区域与数据来源

本文以杭州市拱墅区为研究区域,下辖18个街道174个社区,总面积119 km<sup>2</sup>。北部有国家级半山森林公园,绿色空间和体育空间分布差异较明显(图3),对体力活动空间供需研究具有一定的典型性。

研究数据包括人口、土地利用、遥感数据等。2020年人口数据来源于World population网站;2018年土地利用数据来源于杭州市国土局,通过ArcGIS从土地利用数据中提取公园绿地、森林等用地构建绿色空间数据库;体育空间数据、路网数据来源于Open Street Map和浙江省体育公共服务平台网站;2020年Landsat8.0遥感影像来源于地理空间信息云平台。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 构建供需评价体系

以社区为空间评价单元,基于已有研究,初步选择影响PA的空间供需指标,考虑到过于复杂的指标体系计算叠加后可能会掩盖空间主要供需关系的真实性。因此,采用Pearson相关分析方法剔除高度相关的指标,最终选取绿色空间的环境质量、可达性、可步行性和体育空间规模、可达性、可步行性6项指标表征空间的供需水平,测度指标如表1所示。

#### 2.2.2 供需指标测度方法

##### 2.2.2.1 绿色空间环境质量供需测度

在自然环境中进行锻炼能比人工环境获取更多的健康益处,高植被覆盖度能有效调节气候、减少污染和噪音<sup>[33]</sup>,营造舒适的锻炼场所。因此,环境质量供给以植被覆盖度(VFC)≥0.6的面积占比表征<sup>[34]</sup>,VFC的取值在[0,1],采用ENVI计算NDVI和VFC的值。公式如下:

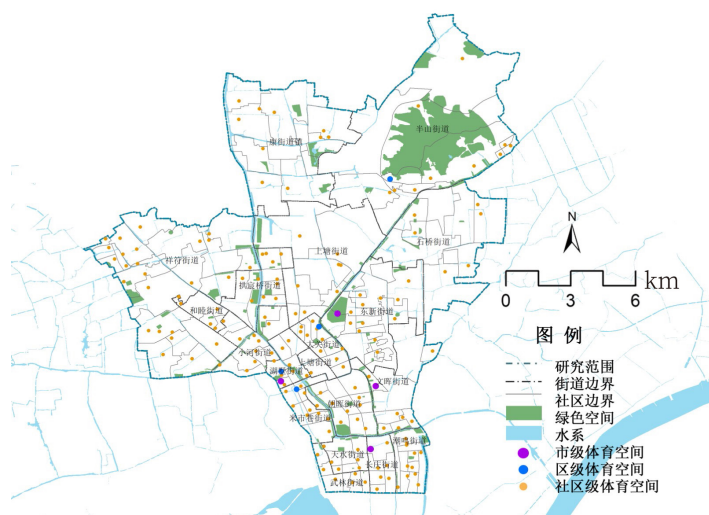


图3 研究范围

Fig.3 study area



$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

式中:NDVI指归一化植被指数; NIR为近红外波段反射值; R为红光波段反射值。

$$VFC = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \quad (2)$$

式中:  $NDVI_{veg}$ 和 $NDVI_{soil}$ 为纯植被覆盖和全裸像元NDVI值,取5%至95%置信度。

环境质量需求度反映居民对锻炼环境的实际需求,以人口密度、人口脆弱性和环境风险衡量。绿色空间对改善环境有积极作用<sup>[22]</sup>,以夏季高温作为环境风险因子的代表。由于老年人随年龄增大身体机能对环境风险的调节能力下降<sup>[35]</sup>,以≥65岁的老年人口表征人口脆弱性,计算公式如下<sup>[36]</sup>:

$$EQD = \left[ \frac{P}{\max P} \times 10 \times 0.7 + \frac{P_{65+}}{\max P_{65+}} \times 10 \times 0.3 \right] \times [T_{\max} - T_{\min}]$$

式中:EQD为环境质量需求度;P为人口密度;  $P_{65+}$ 为65岁以上人口密度,单位为人/hm<sup>2</sup>;  $T_{\max}$ 和 $T_{\min}$ 为2020年7月日均最高和最低温度。

#### 2.2.2.2 绿色空间可达性测度

可达性采用高斯两步移动搜索法计算,该方法考虑了人口需求因素。根据《城市绿地规划标准》,确定不同等级绿色空间可达性计算时的空间距离阈值(表2),并将狭长的沿河绿带切分成规模适宜的空间单元。以绿色空间中心为供给点和社区质心为需求点,分两步计算可达性:

第一步,对绿色空间j,给定空间距离阈值 $d_0$ 形成空间作用域(catchment),利用高斯方程对落在作用域范围内社区k的人口赋以权重,对加权后的人口求和,得到供给点j所有潜在需求者数量,绿色空间规模与潜在需求者数量比值为供需比率 $R_j$ 。

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{k \in \{d_{kj} \leq d_0\}} G(d_{kj}, d_0) P_k} \quad (1)$$

式中:  $P_k$ 是绿色空间j空间作用域( $d_{kj} \leq d_0$ )社区k的人口数量,  $d_{kj}$ 是从社区k到绿色空间j的空间距离,  $S_j$ 是绿色空间面积,  $G(d_{kj}, d_0)$ 为

考虑空间摩擦的高斯方程,方法如公式(2):

$$G(d_{kj}, d_0) = \begin{cases} \frac{e^{-\frac{1}{2}(\frac{d_{kj}}{d_0})^2} - e^{-\frac{1}{2}}}{1 - e^{-\frac{1}{2}}}, & \text{if } d_{kj} \leq d_0 \\ 0, & \text{if } d_{kj} > d_0 \end{cases} \quad (2)$$

第二步,对于社区i,给定空间距离 $d_0$ ,形成空间作用域,利用高斯方程对落在该作用域内的供给比率 $R_j$ 赋以权重并加和,得到可达性 $A_i$ 。

$$A_i = \sum_{j \in \{d_{ij} \leq d_0\}} G(d_{ij}, d_0) R_j \quad (3)$$

#### 2.2.2.3 绿色空间可步行性供需测度

可步行性以步行道密度和人口密度分别表征供需。步行道密度越高表示空间供给能力越强,人口密度越高表示需求越高。公式如下:

$$WD = \sum_{n=1}^n Leng_i / G_i$$

$$PD = P / G_i$$

式中:WD和PD表示步行道密度(m/hm<sup>2</sup>)和人口密度(人/hm<sup>2</sup>);Leng与n为绿色空间中步行道长度与数量;  $G_i$ 为社区面积(hm<sup>2</sup>)。

#### 2.2.2.4 体育空间可达性测度

根据PA强度,选择3-6METs中等强度和>6METs高强度的PA类型<sup>[37]</sup>,确定体育空间(表3)。采用高斯两步移动搜索法,将市级、区级和社区级体育空间的 $d_0$ 分别设为5000 m、3000 m和300 m,以体育空间作为供给点j,面积为容纳能力,计算社区i的体育空间可达性。

#### 2.2.2.5 体育空间公平性测度

基于公众PA需求考虑体育空间布局公平性,能让居民更公平地享受健康服务,满足多元化、多层次、多功能的锻炼需求。根据区域经济理论,采用集中化指数计算人口与体育空间的耦合程度,评价供需结构的合理性,公式如下:

$$R_i = \left[ 1 - \frac{1}{2} \left| \frac{X_i}{\sum X_i} - \frac{Y_i}{\sum Y_i} \right| \right] \times 100\%$$

式中: $R_i$ 为第i个社区的公平性指数;  $X_i$ 和 $Y_i$ 分别是第i个社区的人口和体育空间的数量;  $\sum X_i$ 和 $\sum Y_i$ 分别是研究区域的人口和空间总数。 $R_i$ 越接近100,说明公平性越高;越接近于0,则反之。

#### 2.2.3 供需均衡度量化评估

采用max-min归一化方法处理供需数据,量化评估供需均衡度(SDB)。以熵权法计算各指标的权重(表1),加权叠加计算两类

表1 体力活动空间供需指标及供需均衡度权重

Tab.1 index and weights of space supply-demand balance of physical activity space

体力活动空间	指标	供给侧测度	需求侧测度	供需均衡度(SDB)权重( $w_j$ )
绿色空间(UGS)	环境质量	植被覆盖度	环境质量需求度	0.28
	可达性	社区一定范围内的绿色空间面积	绿色空间一定范围内潜在的人口数量	0.42
	可步行性	步行道密度	人口密度	0.30
体育空间(RI)	规模	体育空间总面积	总人口数量	0.20
	可达性	社区一定范围内的体育空间面积	体育空间一定范围内的潜在人口数量	0.42
	公平性	体育空间数量	总人口数量	0.38

表2 绿色空间可达性计算的空间距离阈值设置

Tab.2 the catchment setting for UGS accessibility calculation

绿色空间	设置依据	空间距离阈值 $d_0$ (米)
半山森林公园	$S \geq 50 \text{ hm}^2$ , 国家级森林公园	5000
综合公园	$10 \text{ hm}^2 \leq S \leq 50 \text{ hm}^2$ 的综合公园绿地	2000
专项公园	$1 \text{ hm}^2 \leq S \leq 10 \text{ hm}^2$ , 重要功能的公园绿地	800
社区公园	$1 \text{ hm}^2 \leq S \leq 10 \text{ hm}^2$ 的社区级公园绿地	800
游园	$0.5 \text{ hm}^2 \leq S \leq 1 \text{ hm}^2$ , 以沿河绿带为主	300

表3 PA类型、强度及中高强度体育空间

Tab.3 types, intensity of PA and the moderate to vigorous physical activity space

PA类型	PA强度(METs)	体育空间类型
羽毛球	5.5	羽毛球场馆
篮球	6.5	篮球场馆
乒乓球	4.5	乒乓球场馆
足球	7	足球场馆
网球	6	网球场馆
多种运动	-	体育馆、健身点

空间的供需均衡度。研究表明,绿色空间和体育空间均对体力活动十分重要<sup>[5]</sup>,再以相同的权重叠加两类空间,得到体力活动空间的供需均衡度。公式如下:

$$S'_{ij} = (S_{ij} - S_{\min}) / (S_{\max} - S_{\min})$$

$$D'_{ij} = (D_{ij} - D_{\min}) / (D_{\max} - D_{\min})$$

$$SDB_{ij} = S'_{ij} / D'_{ij}$$

$$SDB'_{ij} = (SDB_{ij} - SDB_{\min}) / (SDB_{\max} - SDB_{\min})$$

$$SDB = \sum_{j=1}^n w_j \times SDB'_{ij}$$

式中:  $S_{ij}$ 和 $D_{ij}$ 分别表示单项指标的供给和需求;  $SDB_{ij}$ 表示单项指标的供需均衡度;  $SDB'_{ij}$ 表示归一化的供需均衡度;  $w_j$ 表示权重;  $SDB$ 表示空间供需均衡度,取值在[0,1],值越大表示均衡度越高。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同群体的空间供需格局

以绿色空间、体育空间的供给规模(空间面积)作为自变量;总人口、老年人和青少年的人口密度作为因变量,采用双变量局部Moran's I探究不同群体需求下的供需格局,对比不同人群对空间类型的主观偏好与客观供需情况之间的匹配度。

从空间供给与总人口密度结果看(图4a-4d),绿色空间、体育空间与总人口密度的Moran's I为-0.359和0.123,呈空间负相关和正相关。说明绿色空间与总人口密度在空间上的“高一低”型和“低—高”型聚集社区比“低—低”型和“高—高”型的社区更多,供需变量在空间上的差异较大。而体育空间与总人口密度呈正相关,“低—低”型和“高—高”型的社区分布在北部和南部。两者“低—高”型,即供给难以满足群体需求的社区均占比约25%,分布在西南侧。

从空间供给与老年人、青少年人口密度的结果看,绿色空间供给与老年人、青少年需求的Moran's I为-0.345和-0.366,“低—高”型和“高—低”型的社区聚集显著(图4b、4c)。体育空间供给与老年人、青少年人口密度的Moran's I为0.133和0.100,“低—低”和“高—高”型的社区比较集聚(图4e、4f)。南部社区的绿色空间供给低而老年人需求高,难以满足老年人绿色锻炼的需求;西南部的社区呈现体育空间供给低而青少年需求高的特征,这两类社区是空间供给和群体需求匹配度较低的典型代表。北部多数社区的绿色空间供给高而老年人、青少年需求低,说明绿色空间供给虽满足群体需求,但由于体育空间的缺乏,并无法满足青少年多样化的运动选择。

#### 3.2 空间供需均衡度的分布和分异特征

通过计算得到绿色空间和体育空间六项指标的供需均衡度(SDB)。由图5可知,环境质量SDB由北至南均衡度递减;可达性SDB呈显著的“东北高、西南低”分异特征;可步行性SDB较高的社区靠近半山公园以及大运河分布,在北部、南部和中部均有小规模集聚现象。体育空间规模SDB较高社区集中在中西部及北部少数区域;可达性SDB南高北低特征显著,较高社区集中在南部老城区;公

平性SDB高低分布较为均衡,较高区域聚集北部和南部。

加权叠加上述前三项指标得到绿色空间的供需均衡度(SDB),平均值为0.265,多数社区面临供不应求的问题。由图6a可知,绿色空间SDB较高的社区分布在北部、南部和中部的生态公园、体育公园、滨水空间附近。不同区域高SDB产生的原因存在差异:北面有半山公园,生态环境优越且可达性高;中部的善贤社区等靠近集体育、生态休闲于一体的城北体育公园,促进全民健身和游憩;南部社区靠近大运河,多条河流构成网络状的滨水空间,为居民提供优越的步行环境。其中,艮山门、刀茅巷等社区SDB明显较高,因其靠近城东公园和凯旋体育文化公园,沿滨水空间配有自行车轮滑中心,提供有吸引力的运动空间。SDB较低的社区分布在东部和中西部,缺少高质量的公共绿地且人口密度较高,导致空间供不应求。

体育空间的供需均衡度(SDB)平均值为0.491,高于绿色空

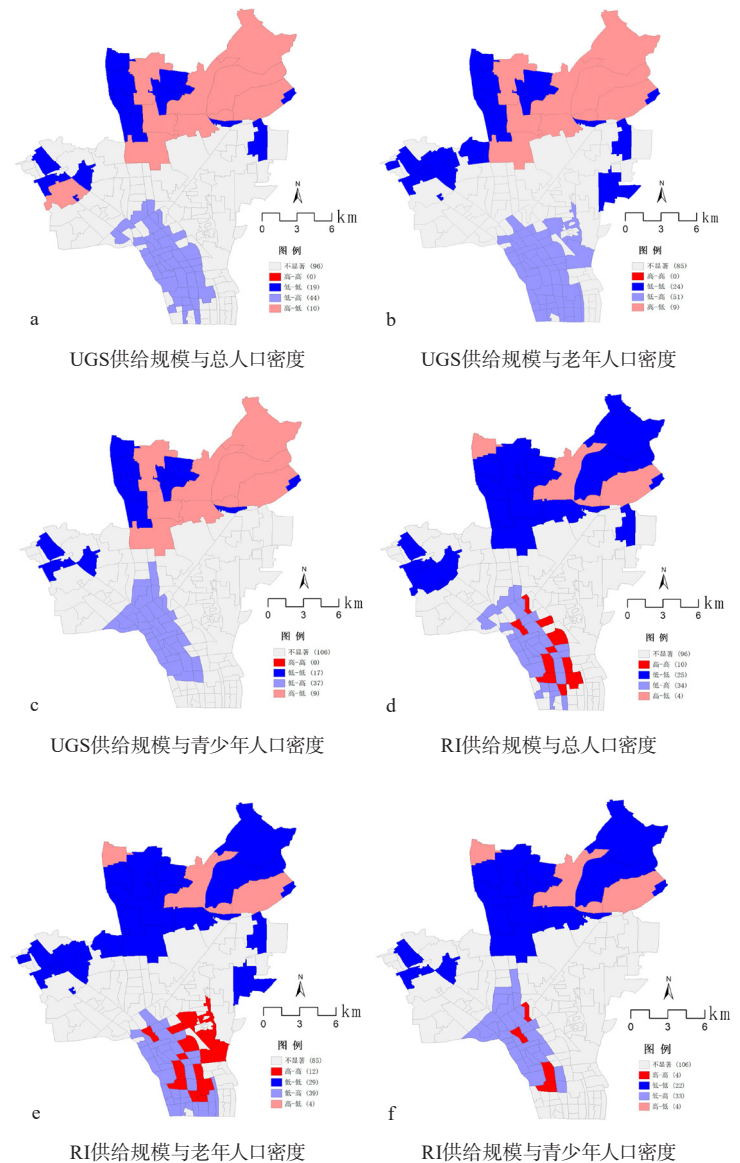


图4 UGS/RI供给与人口密度

Fig.4 UGS/RI supply and the density of the population



间,呈明显的“南高北低”分布特征,与绿色空间的SDB分布存在差异(图6b)。SDB较高的社区聚集在杭州市老城区的天水、大关等街道,已建成多元化的体育空间,社区体育设施配建完善且可达性较

高。SDB较低的社区集中在中部、东部和北部,步行范围内的体育空间多以小规模中小学体育馆、乒乓球场馆为主,对于用地需求较大的足球场、体育中心等缺乏规划。

最后,加权叠加绿色空间和体育空间的SDB得到体力活动空间总体供需均衡度。SDB值分布在0.01-0.69之间,平均值0.328,空间总体均衡度较低,空间分布呈“南北高、东西低”的特征(图6c)。结合不同群体需求下的供需格局可知,体力活动空间SDB较高的社区并不代表空间类型供给和群体偏好相互匹配,部分高均衡度的社区也难以满足老年人绿色锻炼或青少年中高强度活动需求。

### 3.3 空间供需均衡对PA的影响分析

以绿色空间和体育空间的供需均衡度表征空间对PA的影响程度,均衡度越高则积极影响越大。采用GeoDa层次聚类分析方法,对174个社区的绿色空间和体育空间SDB进行分类,得到聚类分类地图(图7),将其分为四种类型:高UGS高RI社区,占比14.9%;高UGS低RI社区,占比12.1%;低UGS高RI社区,占比37.9%;低UGS低RI社区,占比35.1%。

体力活动空间均衡的高社区对提高PA时间、频率和强度均有积极作用。该类社区沿大运河而建,滨水环境优美,毗邻体育公园,居民在步行范围内能获得环境质量良好、步行道完善的绿色空间以及体育馆、球场等运动空间。但考虑群体需求时,发现仍存在空间供给与特定群体需求不匹配的现象。高UGS低RI类型社区的绿色空间对PA的积极影响较高,促进步行、跑步、老年人运动,有效提高PA时间和频率。此类社区靠近生态公园,绿色空间丰富,但体育空间可达性较低,难以满足青少年多样化的活动需求。低UGS高RI社区对PA的积极影响依赖于体育空间,体力活动强度得以保障且满足青少年需求,但主要位于老年人口聚集的老城区,城市建设密度高,面临绿色空间零碎、质量低、增绿难等问题,减少PA时间、频率及老年人绿地锻炼的机会。二者均低的社区对PA存在负面影响,分布在缺少自然资源禀赋的西部和中北部区域,步行道和体育设施建设薄弱,绿色空间以街头绿地和面积 $\leq 2$ 公顷的绿地为主,供给难以满足需求,降低PA参与积极性。

总体而言,造成空间供需对PA影响差异的因素主要有:一是绿色空间和体育空间的分布不均衡。绿色空间的环境质量、可达性以及体

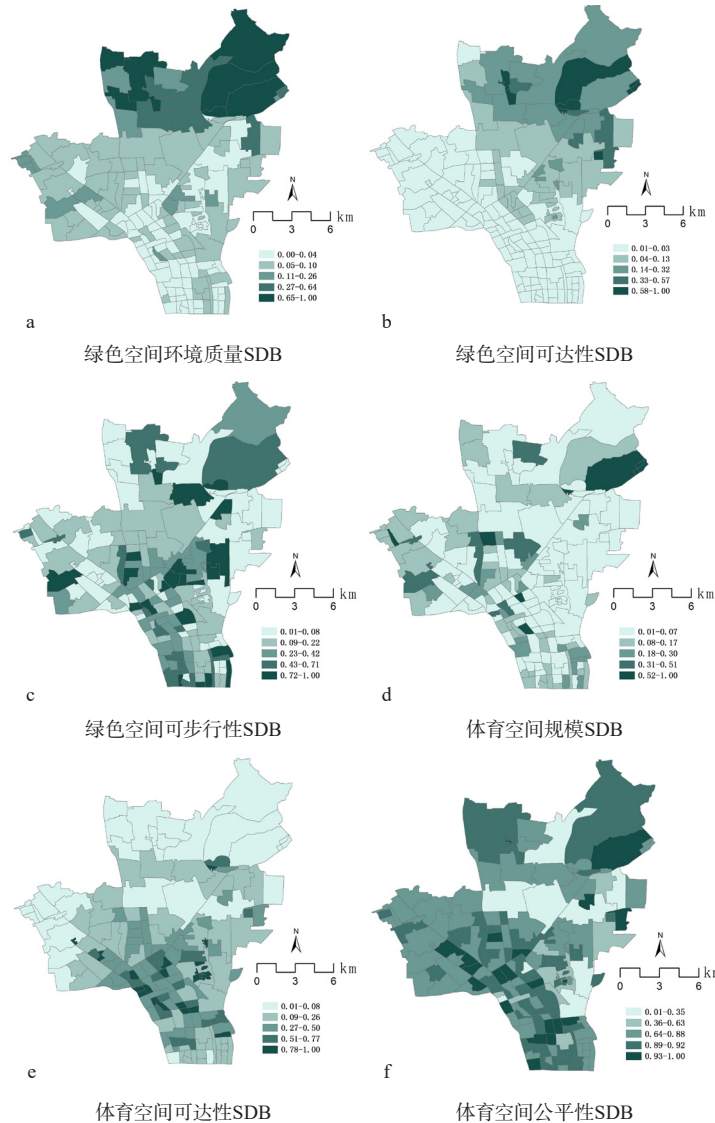


图5 各项指标供需均衡度(SDB)的空间分布  
Fig.5 the spatial distribution of the SDB of individual index

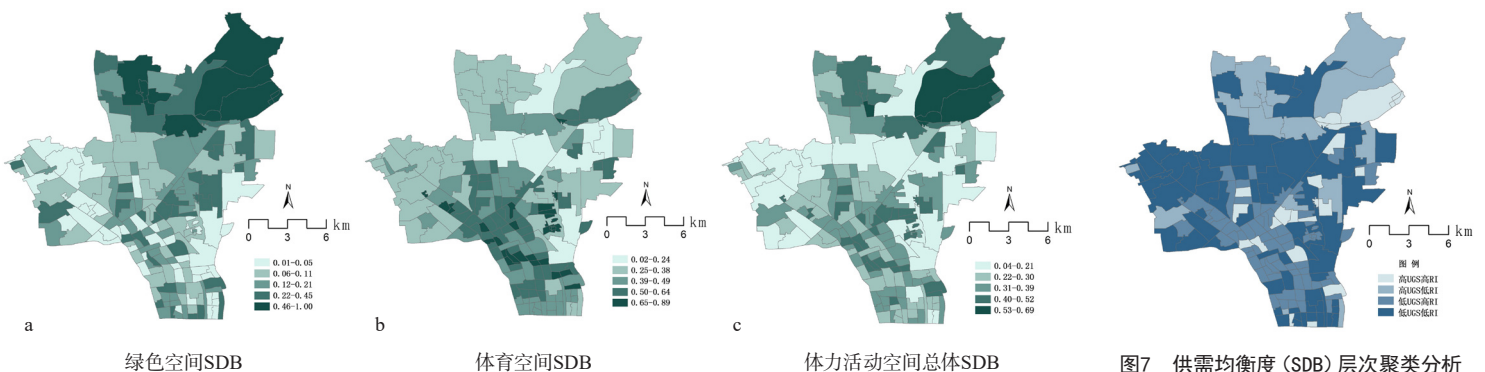


图6 绿色空间、体育空间、体力活动空间总体供需均衡度(SDB)的空间分布  
Fig.6 the spatial distribution of the SDB of urban green space, recreation infrastructure and PA space

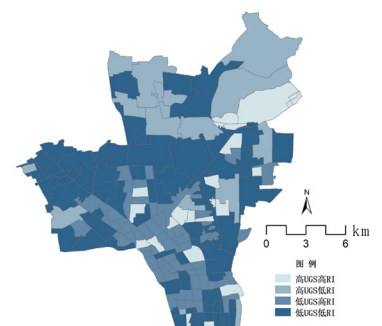


图7 供需均衡度(SDB)层次聚类分析分类地图  
Fig.7 the classification of hierarchical cluster analysis of SDB

育空间可达性、公平性等空间特征影响活动水平；二是不同群体的主观偏好与社区拥有绿色空间和体育空间的禀赋有差异，空间环境对PA及人群产生不同的影响。

4 NCDs体力活动促进的空间规划思考

针对四种空间类型，建议从人与空间精细化匹配、绿色空间运动化、绿体空间耦合、完善空间共享模式方面进行空间优化（表4）。

4.1 人与空间精细化匹配

高UGS高RI的社区应细化服务对象，将慢性病的“公园处方”理念融入空间规划<sup>[36]</sup>，考虑年龄、需求差异等因素，针对不同群体设计符合个性化需求的活动空间。在老年人聚集区，完善广场、舞蹈房等运动场所。考虑到老年人是慢性病易患人群，还应配建不同强度的力量训练器械用于抗拒运动，标明运动时间和强度，完善以健康恢复为目的的空间规划。青少年追求刺激剧烈运动且处于身心发育旺盛期，高需求区域配建多功能体育场馆，如篮球场、羽毛球球等，提高PA水平进而增健体魄。

4.2 绿色空间运动化

高UGS低RI社区应依托森林公园和大运河等自然环境，保持生态完整性基础上构建森林小径，支持徒步、骑行活动，打造生态栖息地和居民活动相融合的绿色空间。生态干扰性较低的区域布置太极、球类运动等户外空间，实现绿色空间运动化。其次，绿色空间规划之初，将中高强度体力活动规划与空间规划结合，按照活动强度、时间、频率，分析人口规模、结构、偏好等，测算空间总量、类型比例等满足居民需求，使绿色空间变为受欢迎且高频使用的运动空间。

4.3 绿体空间耦合

低UGS高RI的社区面临开发强度大、增绿困难及绿色空间可达性低等问题。首先，利用微更新等方式挖掘角落空间，构建口袋公园。通过私有空间公共化模式实现资源再生产，如城市建设密集区的多个地块共同退让形成公共绿色空间<sup>[39]</sup>；也可厘清现有空间的权责类型和权属关系，建立产权转移激励机制获得增量空间，如容积率豁免、容积率奖励等方式交换使用权，增加空间供公众使用<sup>[40]</sup>。其次，线性绿道连接体力活动空间，实现空间耦合。绿道连接社区、绿色空间、体育空间以及商场等，提高积极出行及进入休闲活动的机会。

表4 空间类型特征及空间优化策略  
Tab.4 Features of space types and space optimization strategies

类型	空间特征	典型空间	优化策略	空间优化示意图
高UGS 高RI	(1) 绿色空间可达性高 (2) 步行道密度高 (3) 体育馆、球场球馆等体育空间可达性高		人与空间精细化匹配	
高UGS 低RI	(1) 生态型绿色空间可达性高、规模大 (2) 步行道密度高 (3) 步行范围内缺乏多类型的体育空间		绿色空间运动化	
低UGS 高RI	(1) 绿色空间零碎、环境质量差、增绿困难 (2) UGS和RI连通性低 (3) 体育空间建设完善 (4) 老年人需求高		绿体空间耦合	
低UGS 低RI	(1) 两类空间可达性低 (2) 用地紧张，增量难 (3) 步行道和体育设施建设薄弱 (4) 供给未能满足需求		完善空间共享模式	

#### 4.4 完善空间共享模式

低UGS低RI的社区面临活动空间供不应求及增量难等问题,需盘活存量空间,完善空间共享模式。在社区步行范围内全方位盘活现有资源,灵活设计公共空间,提高空间利用率和应变能力。如改造废旧厂房为乒羽场馆;老旧商场改造为健身房;绿色空间或广场铺地兼作太极、舞蹈场地,为活动提供物质保障。另外,运用完善的机制发展“学区模式”,即社区与学校体育设施共享模式<sup>[41]</sup>,通过场地共建共享弥补活动空间不足等问题。

## 5 结语

体力活动是缓解慢性病的重要途径,绿色空间和体育空间为体力活动提供空间支撑。基于“体力活动空间供需均衡促进体力活动,体力活动改善慢性病,以此提高公共健康”的思路,梳理“慢性病—体力活动—空间供需均衡”的内在逻辑。研究发现,绿色空间和体育空间供需均衡度存在一定的空间差异,只有多样化的空间才能满足不同人群需求,社区周围存在丰富的体育空间,且绿色空间环境质量、可达性、可步行性的供需均衡才能有效提高PA水平。识别空间供需特征能为规划师和决策者提供空间规划管理依据。

为达到促进PA的效果,针对四类空间,建议从人与空间精细化匹配、绿色空间运动化、绿体空间耦合、完善空间共享模式方面进行优化,以期健康提供空间保障。目前,我国国土空间规划体系正在转型,完善基于公共健康等多学科融合的空间规划理论与实证研究,有助于空间规划对公共健康的推进。本研究仍有一定的局限性:采用生物物理方法测算供需指标,与PA强度有关的体育空间类型等定性指标没有通过定量化的方法进行测度等。今后的研究可以辅以问卷等社会研究方法,将居民满意度纳入供需评判标准,深化空间健康效益,与多学科合作共同推进健康空间和人群健康的研究。

#### 参考文献:

- [1] WHO. 非传染性疾病[EB/OL]. (2018-01-02)[2021-02-19]. <https://http://www.who.int/zh/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>.
- [2] ASPE. Physical Activity Fundamental to Preventing Disease[G]. Office of the Assistant Secretary for Planning and Evaluation, 2002.
- [3] LEAR S A, HU W H, RANGARAJAN S, *et al.* The Effect of Physical Activity on Mortality and Cardiovascular Disease in 130000 People from 17 High-Income, Middle-Income, and Low-Income Countries: the PURE Study[J]. *The Lancet*, 2017, 390(10113): 2643-2654.
- [4] SALLIS J F, BAUMAN V, PRATT M. Environmental and Policy Interventions to Promote Physical Activity: This Work was Prepared for the CIAR Conference on Physical Activity Promotion: An ACSM Specialty Conference[J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 1998, 15(4): 379-397.
- [5] WOOD L, HOOPER P, FOSTER S, *et al.* Public Green Spaces and Positive Mental Health-Investigating the Relationship Between Access, Quantity and Types of Parks and Mental Wellbeing[J]. *Health & Place*, 2017(48): 63-71.
- [6] 何金廖, 张修枫, 陈剑峰. 体育与城市: 德国城市绿色空间与大众体育综合发展策略[J]. *国际城市规划*, 2017, 32(5): 44-48.
- [7] 赵晓龙, 王敏聪, 赵巍, 等. 公共健康和福祉视角下英国城市公园发展研究[J]. *国际城市规划*, 2021, 36(1): 47-57.
- [8] MIDDLE I, HEDGCOCK D, JONES R, *et al.* Understanding and Planning for Organized Community Sport in Public Parks: A Case Study of Policy and Practice in Perth [J]. *Urban Policy and Research*, 2017, 35(4): 443-458.
- [9] RAO M, BARTEN F, BLACKSHAW N, *et al.* Urban Planning, Development and Non-Communicable Diseases[J]. *Planning, Practice & Research*, 2011, 26(4): 373-391.
- [10] 马明, 勃·摩戈尔, 蔡镇钰. 健康视角下绿色开放空间设计影响体力活动的要素研究[J]. *风景园林*, 2018, 25(4): 92-97.
- [11] 周珂, 陈奕言, 陈箐. 健康导向的城市绿色开放空间供给[J]. *西部人居环境学刊*, 2021, 36(2): 11-22.
- [12] 谭少华, 郭剑锋, 江毅. 人居环境对健康的主动式干预: 城市规划学科新趋势[J]. *城市规划学刊*, 2010(4): 66-70.
- [13] I-MIN L, ERIC J S, FELIPE L, *et al.* Effect of Physical Inactivity on Major Non-Communicable Diseases Worldwide: An Analysis of Burden of Disease and Life Expectancy[J]. *The Lancet*, 2012, 380(9838): 219-229.
- [14] LUAN X, TIAN X Y, ZHANG H X, *et al.* Exercise as a Prescription for Patients with Various Diseases [J]. *Journal of Sport and Health Science*, 2019, 8(5): 422-441.
- [15] LANDERS D M, ARENT S M, LUTZ R S. Affect and Cognitive Performance in High School Wrestlers Undergoing Rapid Weight Loss[J]. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 2001, 23(4): 307-316.
- [16] TANG A, SIBLEY K M, THOMAS S G, *et al.* Effects of an Aerobic Exercise Program on Aerobic Capacity, Spatiotemporal Gait Parameters, and Functional Capacity in Subacute Stroke[J]. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 2008, 23(4): 398-406.
- [17] TOUPS M, CARMODY T, GREER T, *et al.* Exercise is an Effective Treatment for Positive Valence Symptoms in Major Depression [J]. *Journal of Affective Disorders*, 2017(209): 188-194.
- [18] CHEKROUD S R, GUEORGIEVA R, ZHEUTLIN A B, *et al.* Association Between Physical Exercise and Mental Health in 1.2 Million Individuals in the USA Between 2011 and 2015: A Cross-Sectional Study[J]. *The Lancet Psychiatry*, 2018, 5(9): 739-746.
- [19] 蔡燕, 周红芳. 太极拳运动对抑郁症患者情绪的影响[J]. *中国民康医学*, 2010, 22(16): 2051-2112.
- [20] MORGAN W P, BROWN D R, RAGLIN J S, *et al.* Psychological Monitoring of Overtraining and Staleness[J]. *British Journal of*



- Sports Medicine, 1987, 21(3): 107-114.
- [21] 蔚芳, 王鑫. 基于2SFCA法的杭州体育活力空间可达性评价[J]. 城市规划, 2019, 43(11): 112-119.
- [22] 李延明, 郭佳, 冯久莹. 城市绿色空间及对城市热岛效应的影响[J]. 城市环境与城市生态, 2004(1): 1-4.
- [23] GRELLIER J, WHITE M P, ALBIN M, *et al.* Blue Health: A Study Programme Protocol for Mapping and Quantifying the Potential Benefits to Public Health and Well-Being from Europe's Blue Spaces[J]. BMJ Open, 2017, 7(6): e16188.
- [24] BROWNSON R C, BAKER E A, HOUSEMANN R A, *et al.* Environmental and Policy Determinants of Physical Activity in the United States[J]. American Journal of Public Health, 2001, 91(12): 1995-2003.
- [25] REKLAITIENE R, GRAZULEVICIENE R, DEDELE A, *et al.* The Relationship of Green Space, Depressive Symptoms and Perceived General Health in Urban Population[J]. Scandinavian Journal of Public Health, 2014, 42(7): 669-676.
- [26] LIU H, LI F, LI J, *et al.* The Relationships Between Urban Parks, Residents' Physical Activity, and Mental Health Benefits: A Case Study from Beijing, China[J]. Journal of Environmental Management, 2017(190): 223-230.
- [27] COOMBES E, JONES A P, HILLSDON M. The Relationship of Physical Activity and Overweight to Objectively Measured Green Space Accessibility and Use[J]. Social Science & Medicine, 2010, 70(6): 816-822.
- [28] 张冉, 舒平. 基于休闲性体力活动的城市绿色空间研究综述[J]. 风景园林, 2020, 27(4): 106-113.
- [29] VANHELST J, BÉGHIN L, SALLERON J, *et al.* A Favorable Built Environment is Associated with Better Physical Fitness in European Adolescents[J]. Preventive Medicine, 2013, 57(6): 844-849.
- [30] GUO S H, YANG G G, PEI T, *et al.* Analysis of Factors Affecting Urban Park Service Area in Beijing: Perspectives From Multi-Source Geographic Data[J]. Landscape and Urban Planning, 2019(181): 103-117.
- [31] 陈碧娇. 基于动、静态多源数据的城市开敞空间供需互馈评价[D]. 南京: 东南大学, 2019.
- [32] LOUREIRO M L, MACAGNO G, NUNES P A L D, *et al.* Assessing the Impact of Biodiversity on Tourism Flows: An Econometric Model for Tourist Behavior with Implications for Conservation Policy[J]. Journal of Environmental Economics and Policy, 2012, 1(2): 174-194.
- [33] ZHOU W Q, HUANG G L, CADENASSO M L. Does Spatial Configuration Matter? Understanding the Effects of Land Cover Pattern on Land Surface Temperature in Urban Landscapes[J]. Landscape and Urban Planning, 2011, 102(1): 54-63.
- [34] 李红, 李德志, 宋云, 等. 快速城市化背景下上海崇明植被覆盖度景观格局分析[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2009(6): 89-100.
- [35] 刘竞芳, 陈哲, 杨非柯, 等. 我国老年人慢性病现状及应对策略[J]. 中外医疗, 2014, 33(23): 194-195.
- [36] NEELE L, STEFFEN L. Balancing Demand and Supply of Multiple Urban Ecosystem Services on Different Spatial Scales[J]. Ecosystem Services, 2016(22): 18-31.
- [37] 孙唯佳, 孙建琴, 彭景. 代谢当量在评估体力活动强度及健康效应中的应用[J]. 现代预防医学, 2010, 37(7): 1318-1320.
- [38] 王世福, 刘明欣, 邓昭华, 等. 健康绩效导向的中国城市绿色空间转型策略[J]. 城市与区域规划研究, 2018, 10(4): 16-34.
- [39] 杨晓春, 司马晓, 洪涛. 城市公共开放空间系统规划方法初探——以深圳为例[J]. 规划师, 2008(6): 24-27.
- [40] 江海燕, 胡峰, 刘为, 等. 私有公共空间的研究进展及其对附属绿地公共化的启示[J]. 城市发展研究, 2020, 27(11): 7-11.
- [41] 李骁天, 王凯珍, 彭程. 我国城市社区与学校体育场地设施共享模式研究[J]. 体育文化导刊, 2012(10): 70-73.

#### 图表来源:

图1-7: 作者绘制

表1-3: 作者绘制

收稿日期: 2021-09-10

(编辑: 李方)