

许婧雪, 张文忠, 谌丽. 杭州城市人口密度对人居环境感知的影响 [J]. 地理科学, 2022, 42(2): 208-218. [Xu Jingxue, Zhang Wenzhong, Chen Li. Impact of urban population density on perception of human settlements in Hangzhou. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(2): 208-218.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2022.02.003

杭州城市人口密度对人居环境感知的影响

许婧雪^{1,2,3}, 张文忠^{1,2}, 谌丽⁴

(1. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 北京联合大学应用文理学院, 北京 100191)

摘要: 研究人口密度与人居环境感知的非线性关系对于合理控制大城市规模、制定适宜的人口密度控制标准以及寻求城镇化科学发展具有重要的现实意义。以杭州为案例城市, 基于 2020 年住建部“城市体检”社会满意度问卷调查结果和杭州城市建成环境空间数据, 利用三阶段逐步回归模型和中介效应检验重点分析了人口密度与居民生态宜居感知、健康舒适感知和交通便捷感知的非线性关系, 并分析了人口密度对不同维度人居环境感知的影响路径。研究发现: 人口密度与居民生态宜居感知、健康舒适感知和交通便捷感知具有显著的倒 U 型关联, 当人口密度在(1.5~2.0)万人/km²时, 居民对这 3 个维度的感知情况最好; 在影响路径方面, 人口密度对居民生态宜居感知的影响路径为部分中介, 对居民健康舒适感知以及交通便捷感知的影响路径为完全中介。研究不仅可以加深对于紧凑城市理论的理解, 还可以为城市体检工作中指标参照值的设置提供科学的参考依据, 促进新型城镇化健康有序地发展。

关键词: 城市体检; 人居环境; 人口密度; 杭州

中图分类号: F129.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2022)02-0208-11

城镇化进程涉及中国发展的广泛内容, 是中国梦想和民生的重要载体。2015 年, 中央城市工作会议提出要坚持集约发展, 树立“紧凑城市”理念, 推动城市发展由外延扩张式向内涵提升式转变。“紧凑城市”的核心思想是高密度开发、土地集约混合利用和可持续交通^[1,2], 已被广泛认为是城市形态和公共政策中最具环境可持续性的选择^[3-5]。紧凑城市理论认为, 高密度开发模式可以有效遏制城市蔓延^[6], 保护郊区开敞空间。同时, 土地集约混合利用可以有效缩短交通距离, 降低人们对小汽车的依赖, 进而优先发展公共交通减少能源消耗^[7], 为人们创造多样化、充满活力的城市生活。

尽管高密度的城市建设可以来诸多便利和益处, 但随着密度的不断增加, 交通拥堵、空气污染

加剧、噪音污染以及教育、医疗资源紧张等不利后果也逐渐显现^[8,9], 导致城市宜居性降低, 严重影响城市的长远健康发展^[10]。目前, 中国超大城市和特大城市人口密度总体偏高, 北京、上海主城区的人口密度都在 2 万人/km² 以上, 而同为国际大都市的东京和纽约只有 1.3 万人/km² 左右, 在舆论场上, “逃离北上广”也一度成为人们热议的话题。城市的高密度发展不能以牺牲居民个人生活质量为代价^[11,12], 合理的城市建设需要在保障环境可持续性的基础上, 充分考虑人口密度与居民人居环境感知的相互作用。合理控制大城市规模^[13]、寻求城镇化科学发展^[14] 是中国城镇化的战略重点。长期来看, 全国城市都要根据实际合理控制人口密度, 大城市人口平均密度更要尽快制定控制标准。

针对人口密度与人居环境感知的关系, 国内

收稿日期: 2021-09-12; **修订日期:** 2021-11-05

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41871170, 42071215)、中国科学院战略性先导科技专项 (XDA23100302)、北京市属高校高水平教师队伍建设支持计划项目 (CIT&TCD201904075) 资助。 [Foundation: National Natural Science Foundation of China (41871170, 42071215), Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences (XDA23100302), Supporting Plan for Cultivating High Level Teachers in Colleges and Universities in Beijing (CIT&TCD201904075).]

作者简介: 许婧雪 (1994-), 女, 山西太原人, 博士研究生, 主要从事城市人居环境、健康城市研究。E-mail: xujx.16b@igsnrr.ac.cn

通讯作者: 谌丽。E-mail: chenlicas@foxmail.com

外的学者已经开展了一系列实证研究。国外学者发现,人口密度与居民满意度之间存在着倒 U 型关联:在人口密度较低时,密度的增加有助于社区建筑形态及内部结构的改善、能够促进社区周边学校和商业服务水平的提升,而当人口密度超过某一限度后,社区安全性和环境维护水平会开始下降,导致居民对高密度社区的情绪反应由积极转向消极^[15-17]。总体而言,中等密度的社区更令居民满意,但对于不同的城市,最佳人口密度的数值并不相同^[17,18]。与国外丰富的研究结论相比,国内已有研究的结论则较为单一,仅发现了人口密度与人居环境感知的负向关联。中国学者认为人口密度的提高导致了人均资源的下降,同时密集的人群及活动也会给居民带来压迫感,从而降低了居住舒适度^[19-22]。

需要指出的是,人口密度与人居环境感知的关系在国内研究中往往被简单假设为是线性的,并且人口密度的影响掺杂在众多影响因素中并不作为分析重点。这不仅使得人口密度对人居环境感知影响机理的分析解释较少,还使得“什么样的城市规模是合理的”“多大的人口密度是适当的”等问题仍未能得到有效的解决。居住在密度过低或过高的城市环境中都会对居民造成一些不利影响,实现城市密度与居民感知的平衡才是关键。因此,在未来的研究中应该尝试研究二者的非线性关联。在城市体检工作中,人口密度是重点关注的考核指标,解读人口密度对居民人居环境感知的非线性影响、绘制二者的非线性拟合曲线、明晰该非线性影响的总体趋势,识别人口密度非线性作用的阈值区间,可以为城市体检工作中指标参照值的设置提供科学的参考依据。

综上,本文以杭州为例,利用 2020 年城市体检问卷调查结果以及杭州城市建成环境空间数据,结合三阶段逐步回归模型和中介效应检验对人口密度与居民人居环境感知之间的非线性关系及其影响路径进行探究。研究期望回答以下 2 个关键问题:一是人口密度与居民人居环境感知之间是否存在非线性关系;二是如果上述非线性关系成立,人口密度对人居环境感知的影响路径和机制是什么。通过对以上 2 个问题的分析,研究不仅能够揭示城市环境和居民生活质量之间的协同作用,

丰富对于紧凑城市理论的理解,而且可以加深对城市体检工作成果的解读,为城市体检工作中密度指标目标值或评优值的确定提供参考,进而促进新型城镇化科学合理、健康有序地发展。

1 研究区域

杭州位于中国东南沿海,是浙江省省会和政治、经济、文化中心,也是长江三角洲地区第二大城市。经过多年的经济快速发展,杭州市人口持续增长,建设用地规模急剧扩大。据相关部门的统计,杭州已连续多年成为全国人才净流入第一名的城市,且人口净流入量还在呈现上升趋势,2017—2019 年,杭州市人口净流入量分别为 28 万人、33.8 万人和 55.4 万人,截至 2019 年底,杭州全市常住人口突破千万,达到 1 036 万人,城镇化率达到 78.5%。

持续增加的人口、不断扩容的城市规模,给杭州城市宜居品质的持续打造提出了新的挑战。研究杭州人口密度与人居环境感知的关系,探究最佳的人口空间分布模式有其迫切性和必要性。同时,杭州市的城镇化进程以及城市发展模式是过去 40 a 中国大多数城市的普遍做法,选择杭州作为研究对象,可以在一定程度上代表中国大多数处于快速发展阶段的城市。本研究的研究范围主要包括上城、下城、拱墅、江干、西湖、滨江、萧山、余杭 8 个区。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

研究的数据基础包括建成环境空间数据和个体问卷调查数据 2 部分。空间数据方面,依据建成环境评价的 5D 维度^[23]来选取相应指标衡量样本所在地及其周边的建成环境特征。具体分别计算了样本点 1 km 搜索口径内的人口密度^①、POI(兴趣点)类型的熵指数(EI)、道路交叉口密度、公园广场密度、地铁站密度以及公交站密度。各类建成环境指标的测量方式及数据来源详见表 1。受限于数据的获取渠道和更新时间,各类数据的时间节点存在不一致的情况,但由于城市建成环境在短时间内并不会发生较大改变,因此 2 a 以内的时间差异对研究结果不会产生影响。

① 以步行速度 4~5 km/h 为参考,“15 分钟社区生活圈”的活动半径大致为 1 km。

表 1 空间数据说明及问卷调研样本属性统计

Table 1 Description of spatial data and statistics of research samples

自变量	变量分类(占比)	自变量	测量方式及数据来源
个人社会经济属性		建成环境	
性别	男性(48.0%), 女性(52.0%)	POI类型的熵指数	$El = \sum S_i \times \ln(1/S_i)$ ^① , POI数据来源于2019年12月高德地图网站抓取数据
年龄	30岁以下(26.3%), 30~39岁(34.1%), 40~49岁(19.3%), 50~59岁(12.0%), 60岁以上(8.3%)	人口密度/(万人/km ²)	以 LandScan 2018全球人口栅格数据为基础, 采用GIS 空间分析与数理统计方法对样本点1 km搜索口径内的人口密度进行估算
学历	初中及以下(10.5%); 高中(15.0%), 大专(25.9%), 大学(45.0%), 研究生(3.5%)	道路交叉口密度/(个/km ²)	次干道及支路道路交叉口密度, 路网数据来源于2018年11月杭州市百度地图路网抓取数据
家庭年收入	10万元以下(31.4%), 10~20万元(32.7%), 20~30万元(20.3%), 30万元以上(15.6%)	公园广场密度/(个/km ²)	公园广场类POI密度, POI数据来源于2019年12月高德地图网站抓取数据
户口	本地人(84.2%), 外地人(15.8%)	地铁站密度/(个/km ²)	地铁站点密度, POI数据来源于2019年12月高德地图网站抓取数据
		公交站密度/(个/km ²)	公交站点密度, POI数据来源于2019年12月高德地图网站抓取数据

注: ①中 S_i 为样本点1 km搜索口径内 i 类POI数量占总POI数量的比重。按照高德地图网站对POI的分类, 选取了与居民日常生活密切相关的18.5万个POI。POI分类包括餐饮、风景名胜、公共设施、购物、交通设施、金融、科教文化、商务住宅、生活服务、体育休闲、医疗服务、政府机构及住宿服务。

研究采用的个体数据来源于住房和城乡建设部在2020年7~8月组织开展的“城市体检”社会满意度调查。该调查通过线上问卷调查方式, 对16周岁以上的常住居民进行问卷调查, 询问了被访者对于城市生态宜居、健康舒适、安全韧性、交通便捷、风貌特色、整洁有序、多元包容、创新活力等8个维度共58项具体指标的主观满意度, 目的是为了全面了解人民群众对当前城市建设的评价, 补齐城市建设短板和不足^[24]。其中, 杭州市全市回收问卷5476份, 经过逻辑检验清理无效样本及二次抽样后最终获得有效样本5000份。在本次研究中, 空间位置落在研究范围8个城区内的有效样本数为4344份。调研样本点的具体位置见图1, 主要样本信息的描述性统计分析见表1。

2.2 研究方法

本文重点探讨人口密度与人居环境感知的关系。在具体人居环境感知指标的选择方面, 研究选择了生态宜居、健康舒适和交通便捷这3个城市体检维度下的3个一级指标和15个二级指标。这是因为在2020年“城市体检”社会满意度调查中, 这3个维度下各级指标的满意度得分代表了居民对其住区以及周边区域的感知情况, 而其他城市体检指标主要询问的是居民对所在城市的整体评价。研究方法的选择方面, 由于在城市体检社会满意度调查问卷中, 一级指标和其下属的各类二级指标之间不存在特定的换算关系, 居民对一级指

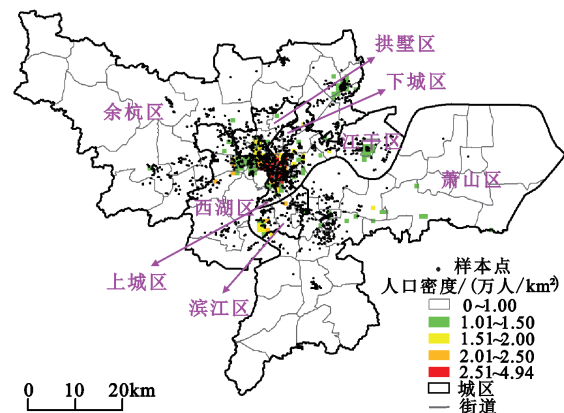


图 1 研究区域以及调研样本空间分布

Fig.1 Study areas and spatial distribution of survey samples

标的评价是根据自身感知做出的直接评价, 但二级指标满意度作为居民人居环境感知的具体表征, 在城市建成环境的客观状况和居民对一级指标的整体判断之间起到中介作用。因此, 本研究采用三阶段逐步回归模型和中介效应模型来检验城市建成环境, 尤其是人口密度, 与居民人居环境感知的关系及其影响路径。

研究设计了3个模型。模型1为未加入中介变量前的回归分析。模型的因变量(Y)为居民对3个一级指标的满意度, 模型的自变量(X)即为居民的个人社会经济属性以及居民所在空间位置1 km搜索口径内的建成环境特征。在本研究中,

人口密度是重点考察的建成环境变量,因此,在模型设定时,纳入人口密度及其平方项以探讨其与居民人居环境感知的非线性关系,其他建成环境变量则作为控制变量纳入模型;模型 2 在模型 1 的基础上加入了中介变量,中介变量(M)为居民对 3 个一级指标下若干个关键二级指标的满意度;模型 3 则是以模型 2 中的中介变量(M)为自变量,模型 1 中的自变量(X)为因变量的回归分析。中介效应的检验方式是结合 3 个模型的分析结果,利用因果逐步回归检验法对比 3 个模型中相应系数的显著性,进而进一步判断中介作用的具体方式。

3 结果分析

3.1 人口密度与人居环境感知的非线性关系

表 2 展示了模型 1(1a 的因变量为居民生态宜居满意度,1b 的因变量为居民健康舒适满意度,1c 的因变量为居民交通便捷满意度)的回归结果。在所有模型中,人口密度及其平方项的系数都通过了显著性检验。人口密度的一次项与 3 类城市体检一级指标满意度呈正向关联,而人口密度的平方项与各类指标满意度呈负向关联。这说明人口密度与人居环境感知具有显著的非线性关系,并且呈现倒 U 型。图 2 展示了人口密度与 3 类城

表 2 居民人居环境感知的线性回归结果

Table 2 Linear regression results of residents' perception of human settlements

因变量 (满意度)	系数(标准误)			因变量 (满意度)	系数(标准误)		
	模型1a	模型1b	模型1c		模型1a	模型1b	模型1c
建成环境变量				50~59岁	-2.021 (-1.954)	-1.672 (-1.662)	-1.819 (-1.442)
人口密度	5.029*** (-4.046)	3.879** (-3.192)	1.830* (-1.209)	学历(参照组:初中及以下学历)			
人口密度的平方项	-1.590*** (-4.396)	-1.389*** (-3.921)	-0.965* (-2.190)	大学	-1.128* (-2.103)	-0.463 (-0.882)	-2.192*** (-3.351)
POI混合熵	-2.087 (-0.756)	-1.479 (-0.549)	-1.435 (-0.425)	研究生及以上	-4.149** (-3.245)	-3.509** (-2.715)	-8.571*** (-5.500)
公园广场密度	0.558** (-1.667)	0.494** (-1.510)	0.101 (-2.693)	家庭年收入(参照组:10万元以下)			
道路交叉口密度	0.002 (-0.067)	0.016 (-0.575)	0.019 (-0.578)	10~20万元	-0.507 (-0.883)	-0.534 (-0.952)	-1.069 (-1.527)
公共交通站点密度	-0.220* (-2.125)	-0.187 (-1.848)	0.099* (-0.788)	20~30万元	0.214 (-0.322)	0.648 (-0.995)	-1.406 (-1.733)
个人社会经济属性变量				30万元以上	-1.482* (-2.029)	-1.023 (-1.441)	-4.288*** (-4.844)
性别(参照组:男性)				户籍(参照组:本地户籍)			
女	-0.460 (-1.006)	-0.104 (-0.233)	0.189 (-0.34)	外地户籍	-2.904*** (-3.781)	-3.643*** (-4.780)	-3.998*** (-4.247)
年龄(参照组:60岁及以上)				常数	91.276*** -15.582	90.154*** -15.775	86.869*** -12.127
30岁及以下	1.300 -1.357	3.278*** -3.510	2.397* -2.047	R^2	0.021	0.033	0.038
30~39岁	-0.138 (-0.147)	0.957 -1.051	-0.255 (-0.223)	调整 R^2	0.017	0.028	0.034
40~49岁	-2.092* (-2.185)	-1.797 (-1.938)	-2.607* (-2.232)	F值	F=5.128, P=0.000	F=7.804, P=0.000	F=9.425, P=0.000

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$ 。

市体检一级指标满意度拟合值的倒 U 型曲线关系。由图 2 可知,人口密度与城市生活舒适以及交通便捷总体满意度倒 U 型关系的顶点值在 1.5 万人/ km^2 左右,与城市生态宜居总体满意度倒 U 型关系的顶点值在(1.5~2.0)万人/ km^2 ;模型估计结果中,人口密度二次项系数的绝对值决定了倒 U 型曲线的弯曲程度,系数的绝对值越大,曲线开口越小,即随着自变量人口密度变化相同的单位,因变量居民人居环境满意度得分的变化幅度越大。由表 2 的估计结果可知,人口密度对居民生态宜居感知的影响最大,其次是生活舒适感知,对交通便捷感知的影响最小。综合模型分析结果和拟合曲线,杭州合理的人口密度应该在(1.5~2.0)万人/ km^2 ,在此区间内居民对于住区及周边区域生态宜居、健康舒适和交通便捷的感知保持在较高水平。而当人口密度低于 0.5 万人/ km^2 或超过 2.5 万人/ km^2 时,居民对住区及周边区域生态宜居、健康舒适和交通便捷的满意度会随着单位人口密度的变化而迅速降低。

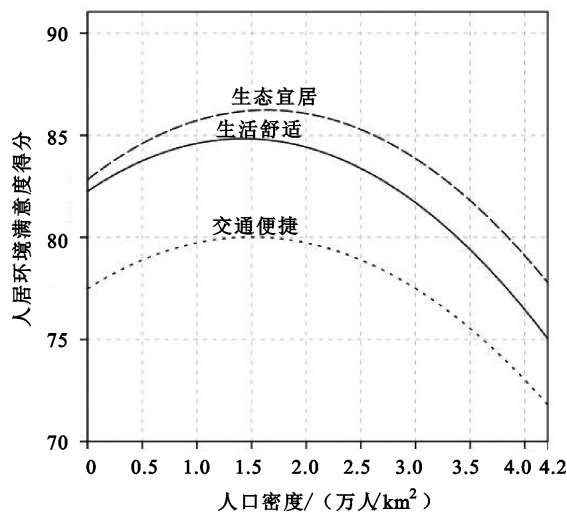


图 2 人口密度与人居环境感知的非线性拟合曲线
Fig.2 Non-linear fitting curves between population density and residents' perceptions of human settlement

3.2 人口密度对人居环境感知的影响路径

城市体检的工作目标和任务要求决定了社会满意度调查问卷中对各个体检维度的调查偏向对各类公共服务质量的考察。鉴于众多公共服务行业具有规模效益的特点^[25,26],前文发现的人口密度与居民人居环境感知的倒 U 型曲线关系可以尝试使用城市经济学理论进行解释。当区域人口密度

较低时,提高人口密度会对公共服务产生正的规模经济效应^[27],带来更多样化的中间品的服务^[28],促进居民满意度的提高。但是当人口密度到达一定阈值之后,更多人口对公共服务资源的挤占会产生一系列负面影响^[29],进而导致规模不经济、满意度下降。居民对不同维度下人居环境的整体感知是在平衡了各类正负效应之后的综合判断,结合城市体检二级指标是对一级指标的分解和细化,研究进一步引入生态宜居、健康舒适和交通便捷维度下各类二级指标满意度作为人口密度与一级指标满意度的中介变量,以探究人口密度对居民人居环境感知的具体影响路径。

3.2.1 人口密度对生态宜居感知的影响路径

表 3 展示了生态宜居维度下模型 2 和模型 3 的回归结果。根据模型 1a,模型 2a~2d 和模型 3a 中回归系数的显著性检验结果可知,人口密度对生态宜居感知的影响路径为部分中介,即人口密度一方面可以通过影响中介变量的满意度进而对生态宜居整体满意度产生影响,另一方面人口密度也可以直接对生态宜居整体满意度产生影响。进一步地,由人口密度及其平方项系数的显著性可知,人口密度与 4 个中介变量满意度也存在着倒 U 型关系。在人口密度较低时,人口密度的增加可以推动住区周边公园绿地、亲水空间和开敞空间增加更多的环境卫生设施、照明设施和游乐设施等,进而增加居民的使用体验;同时人口密度的增加也会促进周边地区建设强度的提高,提升居民对建筑密度的满意度。但当人口密度过高时,城市生态和开敞空间会被其他服务业态挤占导致斑块缩小、破碎甚至消失,建筑密度过高也会使居民产生空间压抑感。

3.2.2 人口密度对健康舒适感知的影响路径

表 4 展示了健康舒适维度下模型 2 和模型 3 的回归结果。根据模型 1b,模型 2e~2j 和模型 3b 中回归系数的显著性检验结果可知,人口密度对健康舒适感知的影响路径为完全中介,并且 6 个中介变量对健康舒适整体满意度的影响都是显著的,即人口密度是通过影响 6 个中介变量的感知从而影响健康舒适整体感知。由表 4 的分析结果还可以发现,人口密度与 5 个中介变量(综合医院、社区卫生服务中心、大型购物设施、体育场地以及社区道路、健身器材等维护)的满意度存在着倒 U 型关系,与社区超市、便利店等小型购物设施仅存在显

表3 人口密度对生态宜居感知的影响路径检验

Table 3 Path test of the impact of population density on residents' ecological livability perception

因变量(满意度)	模型2a	模型2b	模型2c	模型2d	模型3a
	公园绿地	亲水空间	开敞空间	建筑密度	生态宜居
	系数(标准误)				
建成环境变量					
人口密度	2.625*	4.427***	3.590**	3.831**	2.108**
	(-2.264)	(-3.512)	(-2.877)	(-2.598)	(-2.598)
人口密度的平方项	-1.085**	-1.441***	-1.261***	-1.521***	-0.509*
	(-3.215)	(-3.928)	(-3.474)	(-3.544)	(-2.156)
其他建成环境变量	控制	控制	控制	控制	控制
中介变量					
公园绿地					0.212***
					(-11.343)
亲水空间					0.190***
					(-9.968)
公共开敞空间					0.171***
					(-8.742)
建筑密度					0.238***
					(-17.589)
个人社会经济属性变量	控制	控制	控制	控制	控制
常数	82.948***	78.282***	84.550***	88.061***	23.449***
	(-15.179)	(-13.178)	(-14.378)	(-12.672)	(-5.969)
R^2	0.020	0.026	0.026	0.029	0.585
调整 R^2	0.016	0.022	0.022	0.025	0.583
F 值	$F=4.817,$ $P=0.000$	$F=6.264,$ $P=0.000$	$F=6.258,$ $P=0.000$	$F=6.975,$ $P=0.000$	$F=271.512,$ $P=0.000$

注: * $P<0.05$, ** $P<0.01$, *** $P<0.001$; 空白为无此项。

著的正相关关系。这说明当人口密度较低时, 人口密度的增加可以提高住区即周边生活配套设施的优化升级, 提升服务质量。但当人口密度过高时, 除小型购物设施的服务质量不会受到影响外, 其他生活配套设施的使用会产生资源挤占导致使用的时间或金钱成本增加, 居民满意度降低。

3.2.3 人口密度对交通便捷感知的影响路径

表5展示了交通便捷维度下模型2和3的回归结果。根据模型1c, 模型2k~2o和模型3b中回归系数的显著性检验结果可知, 人口密度对交通便捷感知的影响路径为完全中介, 但在5个中介变量中, 由于骑行环境满意度对交通便捷整体满意度的影响不显著, 因此人口密度是通过影响除骑行环境外的4个中介变量的感知从而影响交通

便捷整体感知。表5的分析结果还显示, 人口密度与3个中介变量(步行环境、公共交通出行以及小汽车停车)的满意度存在着倒U型关系, 而与道路通畅性仅存在显著的负相关关系。当人口密度较低时, 人口密度的增加会带来建筑密度的增加, 进而可以促进低等级道路以及其他交通设施(如信号灯、停车位等)的增设、从而优化停车环境、提升步行安全性和舒适性。同时人口密度的提高还可以促使公共交通增加运行班次、缩短班次间的间隔时间等。但当人口密度过高时, 静态的交通空间和动态的交通空间均会被挤占, 造成公共交通设施内部空间拥挤、外部道路空间拥堵、停车位短缺、步行安全隐患增多等, 降低居民对交通便捷维度的满意度。

表 4 人口密度对健康舒适感知的影响路径检验

Table 4 Path test of the impact of population density on residents' health and comfort perception

	模型2e	模型2f	模型2g	模型2h	模型2i	模型2j	模型3b
因变量(满意度)	综合医院	社区卫生 服务中心	大型购物 设施	社区超市、 便利店等设施	体育场地	社区道路、 健身器材等维护	健康舒适
	系数(标准误)						
建成环境变量							
人口密度	4.091** (-3.014)	2.917* (-2.207)	4.639*** (-3.828)	2.102** (-1.678)	4.813** (-3.202)	4.868*** (-3.346)	0.420 (-0.657)
人口密度平方项	-1.162** (-2.938)	-0.914* (-2.374)	-1.452*** (-4.111)	-0.936 (-2.565)	-1.774*** (-4.050)	-1.772*** (-4.181)	-0.220 (-1.179)
其他建成环境变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
中介变量							
			综合医院				0.154*** (-12.260)
			社区卫生服务中心				0.051*** (-4.175)
			大型购物设施				0.176*** (-12.120)
			社区超市、便利店等设施				0.149*** (-11.45)
			体育场地				0.133*** (-8.858)
			社区道路、健身器材等维护				0.217*** (-17.590)
个人属性变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数	92.417*** (-14.470)	87.631*** (-14.100)	89.250*** (-15.660)	84.441*** (-14.330)	92.394*** (-13.070)	86.282*** (-12.610)	12.575*** (-4.060)
R^2	0.040	0.035	0.037	0.040	0.036	0.041	0.735
调整 R^2	0.036	0.031	0.033	0.036	0.032	0.036	0.733
F值	$F=9.709$, $P=0.000$	$F=8.362$, $P=0.000$	$F=8.914$, $P=0.000$	$F=9.710$, $P=0.000$	$F=8.660$, $P=0.000$	$F=9.760$, $P=0.000$	$F=478.756$, $P=0.000$

注: * $P<0.05$, ** $P<0.01$, *** $P<0.001$; 空白为无此项。

3.3 其他控制变量与居民人居环境感知的关系

由表 2 可知,在除人口密度外的其他建成环境要素中,公园广场类 POI 密度以及公共交通站点密度与居民人居环境感知的关联也是显著的。其中,公园广场可达性与生态宜居和健康舒适这两类指标的满意度都有显著的正向关联。公园与广场是城市公共开敞空间的重要组成部分,在提高居民生活质量方面发挥着积极的作用^[30]。公园和广场能够组成城市通风廊道、降低区域平均容

积率及建筑密度,进而调节城市微气候,改善城市空间压抑感,促进城市生态环境的改善^[31,32]。此外,公园及广场还是居民体育锻炼、休闲娱乐以及应急避险的主要场所^[33],因此也可以提高居民在健康舒适方面的感知;公交站点与地铁站点的可达性对居民交通便捷感知的促进作用显而易见,模型估计结果也进一步证实了它们之间的显著关联。

居民个人社会经济属性与人居环境感知的关联方面,年龄、家庭年收入和户籍与生态宜居、交

表 5 人口密度对交通便捷感知的影响路径检验

Table 5 Path test of the impact of population density on residents' traffic convenience perception

因变量 (满意度)	模型2k	模型2l	模型2m	模型2n	模型2o	模型3c
	>步行环境	骑行环境	公共交通出行	道路通畅性	小汽车停车	交通便捷
系数(标准误)						
建成环境变量						
人口密度	4.303** (-3.091)	3.836** (-2.612)	3.050* (-2.211)	2.830 (-1.612)	4.030* (-2.077)	-1.310 (-1.704)
人口密度的平方项	-1.448*** (-3.573)	-1.425*** (-3.333)	-1.188** (-2.958)	-1.260* (-2.464)	-1.814** (-3.210)	0.324 (-1.446)
其他建成环境变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
步行环境						0.135*** (-8.639)
骑行环境						0.003 (-0.189)
公共交通出行						0.296*** (-21.490)
道路通畅性						0.235*** (-19.169)
小汽车停车						0.243*** (-24.751)
个人属性变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数	93.049*** (-14.122)	95.160*** (-13.687)	84.914*** (-13.003)	91.270*** (-10.984)	96.476*** (-10.504)	3.967 (-1.064)
R^2	0.025	0.028	0.030	0.034	0.042	0.753
调整 R^2	0.021	0.024	0.026	0.030	0.038	0.751
F值	F=6.188, P=0.000	F=6.833, P=0.000	F=7.247, P=0.000	F=8.443, P=0.000	F=10.268, P=0.000	F=563.124, P=0.000

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$; 空白为无此项。

通便捷以及健康舒适感知的关联都是显著的,而学历与交通便捷和健康舒适感知的关联是显著的。根据模型估计结果可以看出,年龄在 40~59 岁、家庭年收入在 30 万元以上以及户籍为外地的居民群体对 3 类人居环境指标的满意度评价偏低,而本科及以上学历的高学历居民群体对交通便捷和健康舒适这两类指标的满意度评价偏低。高收入及高学历的居民群体对居住环境品质的要求较高,因此相同城市建成环境条件下他们的满意度评价会偏低;中年居民群体可能是由于工作压力大、家庭负担重以及社会关系复杂等原因导致自身心理健康水平较低,从而影响了对其居住环境的评价;相比户籍为杭州本地的居民,外地户籍居民住房压

力更大,目前杭州市居高不下的住房成本导致居民不得不舍弃高品质的居住环境,屈居在低于期望值的环境中。

4 结论与讨论

本文以杭州为案例城市,基于 2020 年住建部“城市体检”社会满意度问卷调查结果,结合杭州城市建成环境空间数据,利用三阶段逐步回归模型和中介效应检验重点分析了人口密度与人居环境感知的非线性关系,并探索了人口密度对不同维度人居环境感知的影响路径。研究发现,人口密度与居民生态宜居感知、健康舒适感知和交通便捷感知具有显著的倒 U 型关联,即随着人口密度

的提高,居民对城市体检这3个维度的满意度呈现出先提高后降低的趋势,并且人口密度与城市生态宜居、健康舒适以及交通便捷总体满意度倒U型关系的顶点值在(1.5~2.0)万人/km²。在影响路径方面,人口密度对生态宜居感知的影响路径为部分中介,对居民健康舒适感知和交通便捷感知的影响路径则为完全中介,即人口密度可以直接影响生态宜居满意度,也通过影响3个人居环境维度下各类二级指标的满意度来间接地影响居民对生态宜居、健康舒适和交通便捷的整体满意度。

研究发现的人口密度与人居环境感知的倒U型关系,对于杭州城市规划有着重要启示。居民在紧凑的城市环境中平衡生活方式的利弊,人居环境满意度是居民在空间上相应行为的初始动因,影响居民迁移意愿,关系着城市紧凑发展政策的成功。从既有研究来看,学术界公认人口密度对人居环境质量具有重要影响,同时在实际城市发展政策与城市体检工作中,人口密度也是规划以及考核的核心指标^[34,35]。由杭州市人口密度的空间分布情况可知,研究区内大部分地区人口密度低于1万人/km²,高于1.5万人/km²的人口密集区主要位于上城区、下城区、拱墅区以及滨江区,其中上城区及下城区的部分区域人口密度高于2.5万人/km²。因此,对于人口密度过高的区域,杭州市在未来可以通过疏解中心城区非核心功能来有序推动产业和人口的合理扩散,进而降低人口密度、提升居住环境品质。对于人口密度在1.5万人/km²以下的区域,则要在城市整体规划的指导下有序承接中心城区向外扩散的人口和功能,并结合城市体检过程中发现的具体问题有针对性的进行改进,从而建立人口密度与居住环境的正反馈机制,进一步吸引流动人口。

研究人口密度与人居环境感知的非线性关系及其影响路径具有重要的现实意义,但受限于数据,研究对人居环境感知的挖掘仅停留在城市体检指标满意度这一结果层面,对于影响路径的分析也只是利用中介模型的分析结果进行定性分析,难以对人口密度过低或过高时影响居民人居环境满意度的具体原因进行精确的描述。因此在之后进行的城市体检社会满意度调查工作中,应该增加询问影响居民满意度评价的具体原因以及丰富与居民满意度评价相关联的其他调查内

容。未来研究可结合不断更新与完善的城市体检数据库,选取不同的研究方法对人口密度与人居环境感知的非线性关系进行进一步的探究与分析,以期找到中国各城市人口平均密度科学合理的控制标准。

致谢:本研究得到住房和城乡建设部的支持与资助,在此表示感谢。

参考文献(References):

- [1] 韩刚,袁家冬,张轩,等.紧凑城市空间结构对城市能耗的作用机制——基于江苏省的实证研究[J].地理科学,2019,39(7):1147-1154. [Han Gang, Yuan Jiadong, Zhang Xuan et al. The mechanism of compact city spatial structure on energy consumption: An empirical research based on Jiangsu province. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(7): 1147-1154.]
- [2] Elizabeth B. Measuring urban compactness in UK towns and cities[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2002, 29(2): 219-250.
- [3] Jabareen Y R. Sustainable urban forms: Their typologies, models, and concepts[J]. *Journal of Planning Education and Research*, 2006, 26(1): 38-52.
- [4] Helen G. The environmental advantages of cities: Countering commonsense antiurbanism[J]. *Urban Policy and Research*, 2016, 34(4): 401-407.
- [5] Kostas M. Is compact city livable? The impact of compact versus sprawled neighbourhoods on neighbourhood satisfaction[J]. *Urban Studies*, 2018, 55(11): 2408-2430.
- [6] 马丽,金凤君.中国城市化发展的紧凑度评价分析[J].地理科学进展,2011,30(8):1014-1020. [Ma Li, Jin Fengjun. Evaluation of Chinese urban compactness. *Progress in Geography*, 2011, 30(8): 1014-1020.]
- [7] 赵鹏军.土地集约利用对可持续城市交通的作用:基于国际文献理论分析[J].城市发展研究,2018,25(9):108-116. [Zhao Pengjun. Effect of intensive land utilization on sustainable urban traffic: Analysis based on international literature theory. *Urban Development Studies*, 2018, 25(9): 108-116.]
- [8] 史北祥,西蒙·马尔温,杨俊宴.后智慧城市转型背景下高密度城区建成环境的品质提升研究[J].国际城市规划,2021,36(2):16-21. [Shi Beixiang, Simon M, Yang Junyan. Study on quality improvement of built environment in high-density urban areas under the background of post smart city transformation. *Urban Planning International*, 2021, 36(2): 16-21.]
- [9] 牛方曲,孙东琪.资源环境承载力与中国经济发展可持续性模拟[J].地理学报,2019,74(12):2604-2613. [Niu Fangqu, Sun Dongqi. Modelling the sustainability of China's growth based on the resource and environmental carrying capacity. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(12): 2604-2613.]
- [10] 王勇,解延京,刘荣,等.北上广深城市人口预测及其资源配置[J].地理学报,2021,76(2):352-366. [Wang Yong, Xie

- Yanjing, Liu Rong et al. Population prediction and resource allocation in megacities from the optimum population perspective: A case study of Beijing, Shanghai, Guangzhou and Shenzhen. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(2): 352-366.]
- [11] 张文忠, 许婧雪, 马仁锋, 等. 中国城市高质量发展内涵、现状及发展导向——基于居民调查视角[J]. 城市规划, 2019, 43(11): 13-19. [Zhang Wenzhong, Xu Jingxue, Ma Renfeng et al. Basic connotation, current situation and development orientation of high-quality urban development of Chinese cities: Based on the survey of residents. *City Planning Review*, 2019, 43(11): 13-19.]
- [12] Ronita B, Kiyo K, Keisuke H. Does compact urban forms relate to good quality of life in high density cities of India? Case of Kolkata[J]. *Cities*, 2015, 48(4): 55-65.
- [13] 曲衍波, 王霞, 王世磊, 等. 环渤海地区城市规模扩张与质量增长的时空演变及耦合特征[J]. 地理研究, 2021, 40(3): 762-778. [Qu Yanbo, Wang Xia, Wang Shilei et al. Spatio-temporal evolution and coupling characteristics of urban scale expansion and quality growth in Bohai Rim. *Geographical Research*, 2021, 40(3): 762-778.]
- [14] 陈明星, 叶超, 陆大道, 等. 中国特色新型城镇化理论内涵的认知与建构[J]. 地理学报, 2019, 74(4): 633-647. [Chen Mingxing, Ye Chao, Lu Dadao et al. Cognition and construction of the theoretical connotation for new type urbanization with Chinese characteristics. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(4): 633-647.]
- [15] Cramer V, Kringlen T E. Quality of life in a city: The effect of population density[J]. *Social Indicators Research*, 2004, 69(1): 103-116.
- [16] Mouratidis K. Compact city, urban sprawl, and subjective well-being[J]. *Cities*, 2019, 92(4): 261-272.
- [17] Walton D, Murray S J, Thomas J A. Relationships between population density and the perceived quality of neighbourhood[J]. *Social Indicators Research*, 2008, 89(3): 405-420.
- [18] Drew J, Dollery B, Kortt M A. Can't get no satisfaction? The association between community satisfaction and population size for Victoria[J]. *Australian Journal of Public Administration*, 2016, 75(1): 65-77.
- [19] 党云晓, 余建辉, 张文忠, 等. 环渤海地区城市居住环境满意度评价及影响因素分析[J]. 地理科学进展, 2016, 35(2): 184-194. [Dang Yunxiao, Yu Jianhui, Zhang Wenzhong et al. Satisfaction evaluation of living environment and influencing factors in the Bohai Rim area. *Progress in Geography*, 2016, 35(2): 184-194.]
- [20] 冯健, 林文盛. 苏州老城区衰退邻里居住满意度及影响因素[J]. 地理科学进展, 2017, 36(2): 159-170. [Feng Jian, Lin Wensheng. Residential satisfaction level and influencing factors of declining old town residents in Suzhou. *Progress in Geography*, 2017, 36(2): 159-170.]
- [21] 刘义, 刘于琪, 刘晔, 等. 邻里环境对流动人口主观幸福感的影响——基于广州的实证[J]. 地理科学进展, 2018, 37(7): 986-998. [Liu Yi, Liu Yuqi, Liu Ye et al. Impacts of neighborhood environments on migrants' subjective wellbeing: A case study of Guangzhou, China. *Progress in Geography*, 2018, 37(7): 986-998.]
- [22] 申悦, 傅行行. 社区主客观特征对社区满意度的影响机理——以上海市郊区为例[J]. 地理科学进展, 2019, 38(5): 686-697. [Shen Yue, Fu Xingxing. Impact of the built environment and perceived neighborhood characteristics on residents' satisfaction: Evidence from the Shanghai suburbs. *Progress in Geography*, 2019, 38(5): 686-697.]
- [23] 林雄斌, 杨家文. 北美都市区建成环境与公共健康关系的研究述评及其启示[J]. 规划师, 2015, 31(6): 12-19. [Lin Xiongbin, Yang Jiawen. Built environment and public health review and planning in North American metropolitan areas. *Planners*, 2015, 31(6): 12-19.]
- [24] 张文忠, 何炬, 湛丽. 面向高质量发展的中国城市体检方法体系探讨[J]. 地理科学, 2021, 41(1): 1-12. [Zhang Wenzhong, He Ju, Chen Li. Method system of urban physical examination for high quality development in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(1): 1-12.]
- [25] 韩峰, 李玉双. 产业集聚、公共服务供给与城市规模扩张[J]. 经济研究, 2019, 54(11): 149-164. [Han Feng, Li Yushuang. Industrial agglomeration, public service supply and urban expansion. *Economic Research Journal*, 2019, 54(11): 149-164.]
- [26] 夏怡然, 陆铭. 城市间的“孟母三迁”——公共服务影响劳动力流向的经验研究[J]. 管理世界, 2015(10): 78-90. [Xia Yiran, Lu Ming. "Mengmu Sanqian" among cities: Study on the impact of public service on labor migration. *Management World*, 2015(10): 78-90.]
- [27] 赵可, 徐唐奇, 张安录. 城市用地扩张、规模经济与经济增长质量[J]. 自然资源学报, 2016, 31(3): 390-401. [Zhao Ke, Xu Tangqi, Zhang Anlu. Urban land expansion, scale economy and quality of economic growth. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(3): 390-401.]
- [28] 张庆华. 城市“集聚效应”驱动中国经济高质量发展[J]. 智慧中国, 2019(6): 39-40. [Zhang Qinghua. Urban "agglomeration effect" drives China's economic development. *Wisdom China*, 2019(6): 39-40.]
- [29] Traversi C M, Camagni R, Nijkamp P. Impacts of urban sprawl and commuting: A modelling study for Italy[J]. *Journal of Transport Geography*, 2010, 18(3): 382-392.
- [30] Rbbel N. Green spaces: An invaluable resource for delivering sustainable urban health[J]. *UN Chronicle*, 2016, 53(3): 37-39.
- [31] Hernandez J, Pallagst K, Hammer P. Urban green spaces as a component of an ecosystem functions, services, users, community involvement, initiatives and actions[J]. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 2018, 8(1): 550-730.
- [32] Kondo M C, Fluehr J M, Mckeen T et al. Urban green space and its impact on human health[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(3): 445.

- [33] Xu J, Wang F, Chen L et al. Perceived urban green and residents' health in Beijing[J]. *SSM-Population Health*, 2021, 14(4): 100790.
- [34] 修春亮, 魏治, 王绮. 基于“规模-密度-形态”的大连市城市韧性评估[J]. *地理学报*, 2018, 73(12): 2315-2328. [Xiu Chunliang, Wei Ye, Wang Qi. Evaluation of urban resilience of Dalian City based on the perspective of "Size-Density-Morphology". *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(12): 2315-2328.]
- [35] 洪成, 王伟强. 住区密度与居住满意度相关性研究——以上海曹杨新村为例[J]. *上海城市规划*, 2021(1): 105-112. [Hong Cheng, Wang Weiqiang. Correlation between residential density and residence satisfaction: A case study of Caoyang new village in Shanghai. *Shanghai Urban Planning Review*, 2021(1): 105-112.]

Impact of Urban Population Density on Perception of Human Settlements in Hangzhou

Xu Jingxue^{1,2,3}, Zhang Wenzhong^{1,2}, Chen Li⁴

(1. Key Laboratory of Region Sustainable Development Modeling, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences,

Beijing 100101, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

4. College of Applied Arts and Science, Beijing Union University, Beijing 100191, China)

Abstract: The study of the nonlinear relationship between population density and human settlement environment perception is of great practical significance for the rational control of the size of big cities, the formulation of appropriate population density control standards and the scientific development of urbanization. Taking Hangzhou as a case city, based on the results of the social satisfaction questionnaire of “city health examination” of the Ministry of housing and urban rural development in 2020 and the spatial data of Hangzhou urban built environment, this paper analyzes the nonlinear relationship between population density and residents' perception of ecological livability, health and comfort, and transportation convenience by using three-stage stepwise regression model and intermediary effect test. It also analyzes the influence path of population density on the perception of human settlements in different dimensions. The results show that: there is a significant inverted U-shaped correlation between population density and residents' perception of ecological livability, health and comfort, and transportation convenience. When the population density is between 15 000 persons/km² and 20 000 persons /km², residents' perception of these three dimensions is the best; In the aspect of impact path, the impact path of population density on Residents' perception of ecological livability is partial intermediary, and the impact path of population density on Residents' perception of health and comfort and traffic convenience is complete intermediary. The research can not only deepen the understanding of compact city theory, but also provide the corresponding decision-making basis for Hangzhou urban planning, and promote the healthy and orderly development of new urbanization.

Key words: city health examination; human settlements; population density; Hangzhou