

城市建成环境对儿童积极通学的影响研究* ——以合肥市为例

Study on the Impact of Urban Built Environment on Children's Active School Travel: A Case Study of Hefei

宣蔚 张孟 梁晓璐 XUAN Wei, ZHANG Meng, LIANG Xiaolu

摘要 鼓励积极通学有利于儿童体力活动水平的增长与心理健康的发展,减少社会对机动车的依赖,助力城市的可持续发展。基于合肥市儿童通学行为数据,运用二元逻辑回归探讨学区范围和家校路径的建成环境变量对儿童积极通学的影响。结果表明,近六成儿童步行通学,积极通学的儿童住家聚集在学校周边500 m内;此范围内的建筑密度、建筑容积率和学区范围的住宅用地比例与积极通学呈显著相关;通学路径建成环境中,家校路线距离和道路交叉口数量与儿童积极通学存在稳定关联,沿街POI密度、商业分布和通学路径道路平均宽度也是影响儿童积极通学的显著性指标。此外,建成环境能够显著调节最强预测因子通学距离对儿童通学的影响效应。研究结果可为促进积极通学的儿童友好与城市可持续发展提供支持。

Abstract Encouraging active school travel benefits the growth of children's physical activity levels and mental health development. Additionally, it reduces dependence on motor vehicles, thereby contributing to sustainable urban development. Utilizing data on children's school travel behavior in Hefei, this paper investigates the impact of school district scope and home-school path variables on active school travel through binary logistic regression. Results indicate that nearly 60% of children walk to school, with those residing within 500 meters of the school actively commuting. Within this range, building density, floor area ratio, and the proportion of residential land within the school district exhibit significant associations with active school travel. Moreover, factors within the route environment, such as distance and the number of road intersections, show a stable association with children's active school travel. Additionally, POI density, commercial distribution, and average road width are also significant indicators. Notably, the built environment is found to significantly moderate the impact of the strongest predictor, namely commuting distance, on children's school commuting behavior. These findings provide support for promoting child-friendly and sustainable urban development that prioritizes active school travel.

关键词 建成环境;积极通学;儿童友好;社会生态学模型;个体差异

Key words built environment; active school travel; child-friendly; social ecological model; individual difference

文章编号 1673-8985 (2025) 01-0113-09 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. sup. 20250115

作者简介

宣蔚

合肥工业大学建筑与艺术学院
安徽省城市风貌与空间环境更新技术工程研究中心
徽州古村落数字化保护与传承创意安徽省重点实验室
教授,博士生导师,xuanwei417@163.com

张孟

合肥工业大学建筑与艺术学院
硕士研究生
梁晓璐
合肥工业大学建筑与艺术学院
硕士研究生

0 引言

体力活动的普遍缺乏是全球主要公共卫生问题之一^[1]。有研究指出,世界范围内80%以上的青少年没有达到世界卫生组织的推荐活动指南,即每日超过60 min的中等至剧烈运动 (Moderate to Vigorous Physical Activity,

*基金项目:国家自然科学基金项目“基于人工智能与多源数据的长三角城市群碳排放空间结构演化与预测研究”(编号52478050);国家自然科学基金项目“基于人迹地图数据的城市街区空间组织与居民低碳出行的关联机制研究”(编号52008143);重点实验室自主创新专项“基于历史信息转译的徽州传统村落空间演变驱动机制研究”(编号PA2024GDSK0082)资助。

MVPA)^[2]。2017年,我国仅34.1%的儿童和青少年达到此推荐标准^[3],该群体由于体力活动不足引起的超重肥胖、视力不良、慢性病等健康问题亟待解决^[4-5]。有研究表明,儿童独立活动时的活动量较家长陪同时有明显增强^[6],积极通学(步行、骑自行车)^[7]作为儿童独立活动中最具代表性的许可内容^[8-10],能有效增强儿童的体力活动水平,改善其心理健康^[11],并且有助于儿童的认知发展,扩大他们的情感体验^[12]。此外,儿童独立出行能力也被视为儿童友好城市环境的评价标准之一^[13]。同时,鼓励积极通学能够缓解城市交通压力,减少温室气体排放和空气污染伤害^[14]。

积极通学作为儿童健康促进(health promotion)的重要环节,了解其可能的影响因素已经成为政府、城市规划者、公共卫生从业人员以及学校和社区群体的重要任务。社会生态学模型为组织和理解可能影响健康促进的因素提供了一个框架^[15-17],包括4个层次:个人、社会环境、建成环境和政策。虽然积极通学具有特定背景相关性,但多项研究指出,个人与家庭特征(儿童性别、年龄、家庭收入、汽车保有量),邻里与学校特征(邻里安全、学校等级),客观测量与主观感知的建成环境特征(通学距离、可步行性)、“安全上学路线”与“步行校车”等政策均与儿童积极通学相关^[6],^[18]^[127],^[19]^[320],^[20]^[19],^[21]^[22]。物理建成环境与学生个人及家庭特征经过复杂的相互选择,共同决定了儿童的通学行为,综合考虑多层次影响因素的作用对提升儿童积极通学能力至关重要^[23]^[50]。

建成环境可能会从3个一般维度影响出行需求——密度(density)、多样性(diversity)和设计(design),即塞韦罗(Cervero)和科克曼(Kockelman)^[24]提出的3D模型。通常被用作步行指标的建成环境的3个最相关因素是居住密度、混合土地利用率和街道连通性^[18]^[119],^[25-27],^[28]^[858],但儿童通学与成人出行并不完全一致。这3个建成环境因素与儿童积极通学之间的关联尚无定论^[20]^[15]。部分研究认为,促进成人步行的环境特征同样能促进儿

童积极通学,这意味着较高的居住密度、功能复杂的土地利用性质、连通性良好的街道网络可以有效促进步行通学行为。但也有研究发现,居住密度与步行通学之间没有关系^[29]^[72]或呈负相关^[18]^[125],^[30]^[14],土地利用组合与非机动车上学之间存在负相关,道路交叉口密度的增加会引发交通安全问题,因此与积极通学呈负相关。

国外众多研究使用GIS测度建成环境变量以客观评估建成环境与积极通学的相关性^[20]^[2],常围绕儿童住家、学校或通学路径周边的缓冲区域展开^[31],也有研究将三者共同纳入考量^[32]。相较之下,国内的实证研究稍显不足,且多聚焦于学校与社区层面,缺少对通学路径的关注。例如,邢慧楠等^[33]使用西安的样本,进行了社区和学校建成环境对儿童积极通学的影响研究。何玲玲等^[34]通过调查上海多所小学,探究了学校周边建成环境对儿童通学方式的影响。值得注意的是,缓冲区的设定方法和大小选择也会使建成环境与通学方式的关联性存在差异,即产生可塑性面积单元问题(MAUP)^[35],因此要结合具体研究对象确定空间单元划分方法和空间尺度^[36]。此外,不同的国家与城市建成环境差别较大,西方的经验结论是否适用于国内城市尚无定论,因此需要更多的实践和研究。

本文基于合肥市小学生的通学行为数据,试图寻找与证明影响儿童积极通学的学校周边与个体通学路径建成环境因素。其中,重点关注可能造成显著差异的空间尺度的选取。本研究不仅增加了精细尺度的通学实证研究,也可为促进积极通学的儿童友好与可持续发展提供支持。

1 数据与方法

1.1 研究对象选取

研究选取2023年新一线城市中常住人口增长率最高的合肥市作为调研区域。考虑到同一维度建成环境对不同年龄阶段的儿童和青少年产生的影响不尽相同^[18]^[118],^[23]^[47],^[29]^[69],^[37-38],本文聚焦于小学学龄阶段儿童。同时依据

所处城区位置、周边建成环境等因素,选择合肥市主城区4个行政区内不同学区的6所学校(见图1)。通过前期的观察与访谈调研,决定通过发放问卷来获取儿童通学行为数据。

1.2 研究数据

1.2.1 通学行为数据

问卷调查于2023年9月—10月进行,首先通过联系目标学校所在区的教育局进行协调,与学校老师沟通后获知,除一年级外的小学生均有能力填写问卷,同时为保证精确的儿童视角,问卷发放仅聚焦2—6年级。随后采用分层抽样方法,从6所小学2—6年级中每年级随机抽取2个班级,由学生在校完成后回收。共计回收问卷2 930份,其中有效问卷达2 864份,有效回收率为97.7%。

调查问卷内容主要包括儿童个人与家庭经济特征、通学方式、交通与安全感知、独立通学意愿。社会经济特征包括儿童的年级、性别、有无兄弟姐妹陪同、是否佩戴电话手表、家中电动自行车及小汽车数量。后续研究将通学方式归为包括步行与自行车的积极通学与除此之外的非积极通学2类。对交通状况的主观评估设置了非常不拥堵、不拥堵、一般、拥堵、非常拥堵5个等级,分别赋值-2、-1、0、1、2,经连续打分后纳入模型,分数越高代表越拥堵。以上问题均采用选择题的方式且用词简易,以简化儿童作答流程并确保其对题目的理解。此外,问卷针对各小学提供了各自学区范

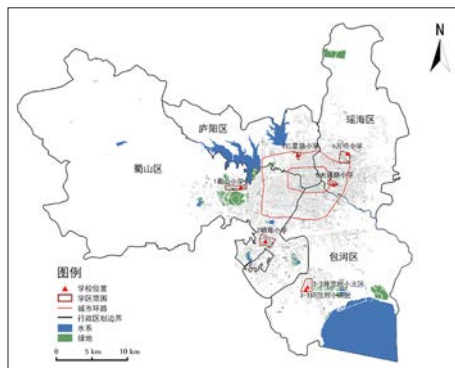


图1 样本小学空间分布

Fig.1 Spatial distribution of sample schools

资料来源:笔者自绘。

范围内的地图,由学生选择居住的小区并绘制出上下学路线。

1.2.2 建成环境变量

本文选择每所小学的学区范围作为建成环境变量空间分析的缓冲区,又基于城镇小学的服务半径与样本小学的实际位置特征,加入测度学校周边500 m缓冲区范围内的建筑指标。

建成环境数据包括国家地理信息公共服务平台(天地图)的建筑与路网矢量数据、高德地图POI数据、地理编码与路径规划数据、第七次全国人口普查数据(见表1)。建筑密度、建筑容积率、道路网密度在ArcGIS中根据矢量建筑与路网统计得出,前二者以学校为中心做500 m半径的圆形缓冲区,仅统计缓冲区与学区相交范围内的建筑;土地利用混合度选择居住、公共管理与公共服务、商业服务业、工业、绿地等5类用地,根据公式(1)计算得出。

通过调用地图平台的地理编码及路径规划API服务对儿童住址和通学路径进行可视化(见图2),同时统计路线距离、道路交叉口数量与路线直接性。后于ArcGIS中对通学路径建立距道路中心线50 m的缓冲区以捕捉确定沿街POI密度。最后根据问卷中儿童自绘的家校路线与实地调研,对通学路径、道路交叉口数量进行统计校验,并对道路平均宽度与沿街底层建筑类型进行统计与判断。

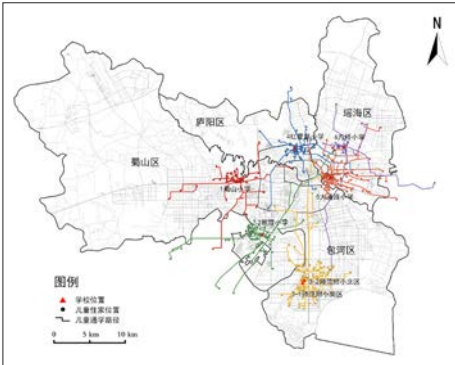


图2 通学路径可视化
Fig.2 Visualization of routes to school

资料来源:笔者自绘。

1.3 研究方法

本文数据中儿童个体嵌套于学校,理论上样本之间并非完全独立,考虑采用多层回归模型。但数据来源于各学校各年级随机抽样样本,能较好代表各校儿童总体特征,因此可通过计算其组内相关系数来判断有无必要使用多层模型,计算公式为:

$$\rho = \frac{\sigma_{u0}^2}{\sigma_{u0}^2 + \sigma_e^2} \tag{1}$$

式中: ρ 为学校层次的组内相关系数(Intraclass Correlation Coefficient, ICC), σ_{u0}^2 是学校层次方差(组间方差), σ_e^2 是个体层次方差(组内方差)。构建空模型计算组内相关系数(见表2),组间方差P值为0.129,高于0.05证明其并非统计显著,且ICC值为0.057意味着因变量的变异只有很小一部分能通过组间差异解释,即证明样本数据并未表现出组内相关(学校层面的组间变异可忽略),结合儿童是否积极通学的二分类因变量,本文

选用二元逻辑回归,构建模型如下:

$$\ln\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k X_{ki} \tag{2}$$

式中: β_0 为回归模型截距, β_k 为回归模型系数, X_{ki} ($i=1,2,\dots,n$)为自变量, K 为变量总数; P_i 为采取步行和自行车方式的积极通学的概率;则 $1-P_i$ 为采取其他方式的非积极通学的概率。

分析前对所有连续变量进行Z-score标准化处理,然后进行共线性检验,除人口密度外其余指标的方差膨胀因子(VIF)均小于10,剔除后剩余变量均通过共线性检验。

2 研究结果分析

2.1 样本描述性统计

本文仅讨论放学时儿童的通学情况,为控制通学距离影响,仅纳入学区内样本($N=2\ 262$)。变量描述性统计如表3所示,儿童的性别比例与年级分布较为均衡,样本具有代表性。其中积极通学的儿童占比接近六

表1 建成环境影响因子指标及计算方法
Tab.1 Calculation method of impact factor index for built environment

空间单元划分	指标因子	计算方法
学校周边	人口密度	街道人口数/街道面积(千人/km ²)
	建筑密度(500 m缓冲区)	建筑基底面积/缓冲区用地面积
	建筑容积率(500 m缓冲区)	建筑总面积/缓冲区用地面积
	土地利用混合度(熵指数)	$E = \frac{-\sum(A_{ij} \ln A_{ij})}{\ln N_j}$ (A_{ij} 为学校j周围缓冲区中第i类用地所占比例; N_j 为学校j周围缓冲区中用地类型的数量)
	道路网密度	道路长度/研究区用地面积(km/km ²)
	住宅用地比例	居住用地面积/研究区用地面积(km ² /km ²)
	沿街POI密度	通学路线50 m缓冲区内POI数/通学路线长度(个/km)
通学路径	沿街是否为商业	沿街底层是否为商业建筑(1=是;0=否)
	道路平均宽度	家校路线的平均宽度/m
	家校路线距离	家校路线的距离/m
	路线直接性	家校路线距离/家校直线距离
	道路交叉口数量	家校路线的交叉口数量/个

资料来源:笔者自制。

表2 空模型的方差估计结果和组内相关系数
Tab.2 Variance estimation results for empty models and ICC

参数	方差	标准误差	显著性	95% 置信区间
σ_e^2	0.230227	0.006855	0.000	0.217177—0.244063
σ_{u0}^2	0.013935	0.009183	0.129	0.003829—0.050707
ICC			0.057	

资料来源:笔者自制。

成,大约四成的学生认为放学时学校周边不拥堵,八成左右儿童佩戴电话手表且具有独立通学意愿。此外,近四成儿童有兄弟姐妹陪同通学,一成左右的儿童家中没有电动自行车或小汽车。

各校儿童的通学分布特征如图3所示。其中,积极通学儿童中整体上为高年级占比

具有优势(见图3a);各校男生积极通学概率均高于女生(见图3b);各校儿童拥堵感知迥异,但仅有蜀山小学(学校1)拥堵感知比例高于不拥堵(见图3c);通学方式中步行占比最大,其次为电动自行车(见图3d);各校儿童通学陪同人员分布较为一致,父母接送占比最大(见图3e);家校距离分布差

异较大(见图3f)。整体上,各校儿童积极通学比例从40%至70%不等,极差在30%左右。

建成环境方面,综合各变量能够反映各校真实的建成环境特征(见表4)。如蜀山小学(学校1),500 m缓冲区内建筑密度为次高,但建筑容积率最低,因其地处旧城区,学校周边多为低层老旧建筑;学校前为城市支

表3 个体特征描述性统计(N=2 262)
Tab.3 Descriptive statistics of individual characteristics (N=2 262)

变量	释义	比重/%
年级	2年级	21.79
	3年级	19.89
	4年级	18.35
	5年级	20.07
	6年级	19.89
性别	男生	53.76
	女生	46.24
是否积极通学	否	41.25
	是	58.75
通学方式	步行	57.91
	电动自行车	35.59
	自行车	0.84
	小汽车	3.54
	公交/地铁	0.80
	三轮车	1.33
交通状况感知	非常不拥堵	13.88
	不拥堵	25.82
	一般	34.79
	拥堵	17.60
是否佩戴电话手表	是	20.34
	否	79.66
有无独立通学意愿	有	82.76
	无	17.24
有无兄弟姐妹陪同	有	37.98
	无	62.02
电动自行车数量	0	9.77
	1	48.63
	2	32.01
	≥3	9.59
小汽车数量	0	10.83
	1	61.58
	2	22.37
	≥3	5.22
通学是否感觉安全	是	76.97
	否	23.03

资料来源:笔者自制。

表4 各校建成环境特征描述性统计
Tab.4 Descriptive statistics of built environment characteristics in various schools

指标因子	均值(标准差)						
	1	2	3-1	3-2	4	5	6
学校编号							
人口密度	9.26	10.90	3.81		29.53	29.07	4.74
建筑密度/%	19.92	15.17	7.73	10.95	12.51	23.67	13.26
建筑容积率	0.85	1.21	1.13	1.31	1.77	1.97	1.09
土地利用混合度(熵指数)	0.91	0.88	0.82		0.67	0.50	0.62
道路网密度/(km/km ²)	9.45	7.79	10.89		10.89	18.41	9.11
住宅用地比例/%	36.81	26.47	32.67		69.95	56.96	42.26
沿街POI密度/(个/km)	0.20 (0.09)	0.05 (0.03)	0.06 (0.04)	0.03 (0.03)	0.05 (0.03)	0.18 (0.08)	0.04 (0.04)
沿街是否为商业	0.75 (0.44)	0.28 (0.45)	0.42 (0.49)	0.00 (0.00)	0.56 (0.50)	0.90 (0.30)	0.29 (0.46)
道路平均宽度/m	11.10 (1.89)	16.23 (2.50)	18.68 (6.26)	24.02 (7.37)	13.21 (3.91)	13.06 (3.65)	22.56 (9.74)
家校路线距离/m	1 084 (454)	717 (382)	839 (427)	691 (246)	567 (155)	445 (186)	1 045 (434)
路线直接性	1.26 (0.16)	1.82 (0.55)	2.01 (0.75)	1.55 (0.28)	1.60 (0.41)	1.49 (0.24)	1.86 (0.51)
道路交叉口数量/个	1.64 (0.93)	1.15 (0.79)	1.99 (1.55)	1.72 (0.93)	1.41 (0.56)	0.96 (0.49)	2.06 (1.52)

资料来源:笔者自制。

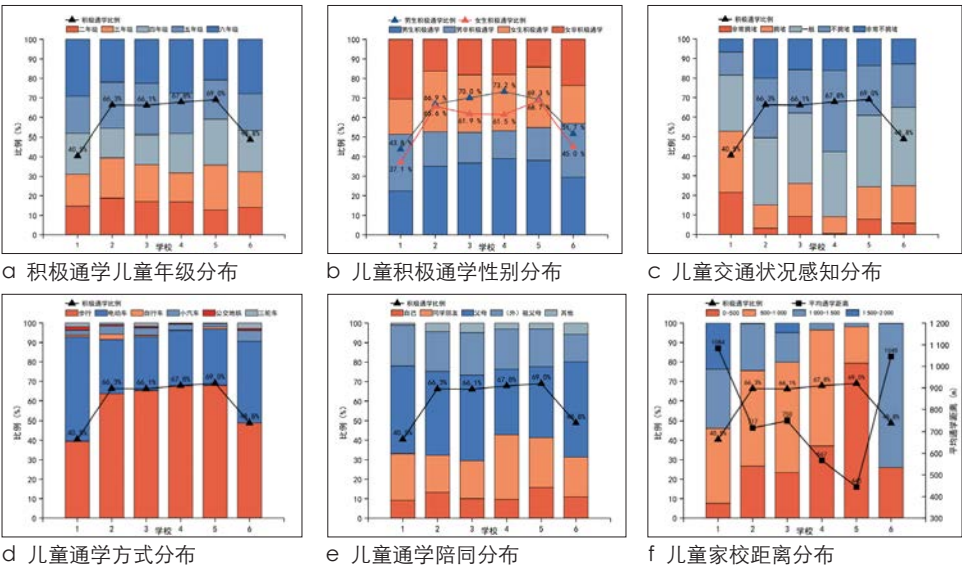


图3 各校儿童通学特征分布
Fig.3 Distribution of children's school travel characteristics in various schools

资料来源:笔者自绘。

路,沿街商业业态丰富且POI密度最高,其平均家校距离最远。

将积极通学的儿童住家进行可视化(见图4),可以看出其分布呈现一个中心的基本特点,但其并非以学校为中心而是倾向于聚集在学校位置一侧。除了蜀山小学,核密度最高的儿童住家组团基本位于各校周围500 m缓冲半径内。一定程度上也能看出儿童住家并非均质分布,因此考虑500 m缓冲半径与学区相交范围内的建筑特征指标较为合理。

2.2 二元Logistic回归模型结果

本文构建模型1—3,探讨个人及家庭社会经济特征、学校周边与通学路径两个维度的建成环境因素对儿童积极通学的影响,结果如表5所示。模型1中,首先,年级越高的儿童,积极通学比例越高。因为随着年龄增长,他们会获得更加成熟安全的技能^[39]。同时,男生较女生更易获得家长对其独立通学的许可,在既往研究中也有所体现^[40-44]。其次,儿童对交通状况感知越安全,积极通学概率越高。这是因为父母对儿童判断力不成熟的想法会阻碍其积极通学行为的发生^[45-46]。最后,具有独立通学意愿的儿童会主动寻求同学朋友相伴出行,佩戴电话手表能让家长随

时掌握儿童的行踪,有兄弟姐妹陪同能增加安全保障,因此与积极通学呈显著正相关。本文发现,儿童家中电动自行车数量与积极通学呈显著负相关,与部分国外研究结论不同的是^{[30]12, [47]},儿童家中小汽车数量与积极通学并不相关。

模型2考察了学校周边建成环境对儿童积极通学的影响,结果显示,500 m缓冲区的建筑容积率与儿童积极通学呈显著正相关,而建筑密度则与之呈负相关。这是因为500 m缓冲区的建筑容积率能够一定程度反映积极通学频率最高的儿童群体的数量,但建筑密度在一定范围内与建筑容积率呈负相关。综合来说,越多儿童的住家位置越接近学校,儿童群体的积极通学比例越高。此外,学区范围的住宅用地比例与积极通学呈负相关,这可能是因为高比例的住宅用地通常意味着儿童通学距离的增加^{[19]318, [48-49]}。

模型3探索了通学路径建成环境特征对儿童积极通学的影响,结果可知,家校路线距离与儿童积极通学呈显著负相关,表现为每增加一单位,儿童积极通学概率降低56%。过长的通学距离会增加儿童的安全风险及体力负担,因此阻碍儿童积极通学^{[19]319, [20]4, [28]852, [50-52]}。同时,道路交叉口数量的负相关作用与问卷中

儿童的不安全感知因素来源相一致,交叉口较少的通学路线意味着交通暴露水平较低,对儿童更为可取^[53-54]。此外,研究发现,当沿街主要建筑类型为商业建筑时,儿童积极通学的可能性降低20%,但道路平均宽度与儿童积极通学呈正相关。这可能因为成熟的沿街商业分布往往伴随较小的道路宽度,增加了交通拥堵与事故发生几率,但道路越宽,等级越高,人行道设施就越完备,会增加儿童通学的安全保障。

2.3 交互作用分析结果

上述模型中各类指标独立分析,为避免隐性的相关性遮掩问题而暂未考虑其潜在的关联性。随后,为全面理解变量之间的相互作用,构建模型4与模型5分析各类建成环境指标间及个人特征与其之间的相互影响,基于二者结果又选择解释力度最高的因子与其他建成环境因子构建交互项,于模型6测度建成环境因素的跨层交互效应(见表6)。

模型4中,将学校周边与通学路径建成环境同时纳入模型时,与其分别纳入模型(模型2、模型3)相比,家校路线距离及道路交叉口数量的负相关性保持不变,POI密度由不相关变为显著正相关,其余如建筑容积率、住宅用地比例等指标的显著性均有所下降,可以看出建成环境指标之间存在一定的相互作用,新变量的加入会激发已有变量的潜在显著性,或相关性受其他显著变量的影响而减弱。个人特征作为控制变量的作用及其对建成环境指标相关性的潜在影响有待探讨。

模型5中,将个人特征作为控制变量纳入模型后,建成环境指标中呈显著的仅有3项。其中,建筑密度的负相关性有所增加,这意味着个人及家庭社会经济特征会强化建筑密度带来的儿童通学差异。道路交叉口数量对儿童积极通学的消极影响有所减弱但仍显著,可以看出个人特征会缓解部分建成环境因素导致的积极通学比例差异。家校路线距离仍保持强烈负相关,其余建成环境指标均不显

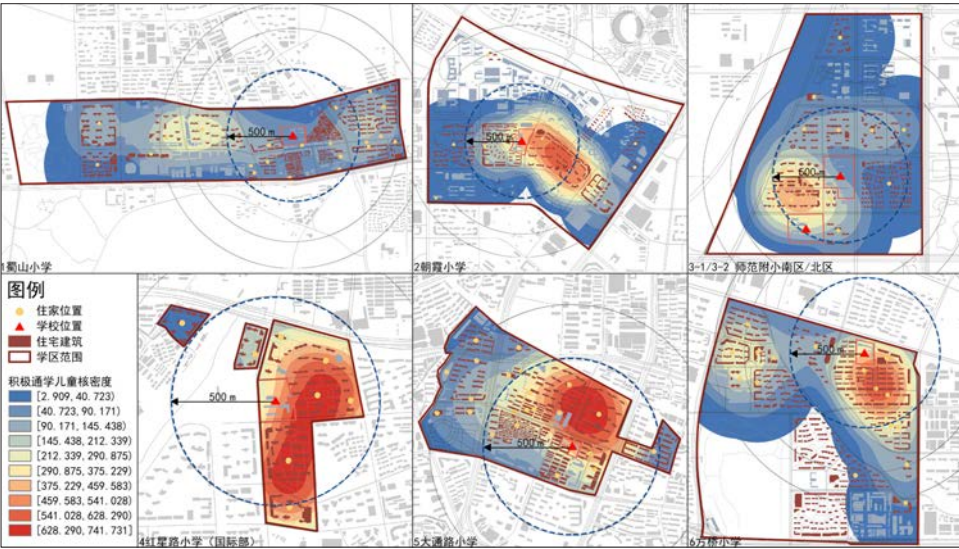


图4 积极通学儿童住家空间分布特征
Fig.4 Spatial pattern of home for children with active school travel

资料来源:笔者自绘。

表5 儿童积极通学的二元logistic回归模型结果
Tab.5 Results of binary logistic regression model of children's active school travel

层次	变量	模型1		模型2		模型3	
		仅考虑个人及家庭特征		仅考虑学校周边建成环境		仅考虑通学路径建成环境	
		系数	标准误	系数	标准误	系数	标准误
个人及家庭社会经济特征	年级	0.388***	0.047	—	—	—	—
	性别(男)	0.259***	0.091	—	—	—	—
	交通拥堵感知	-0.313***	0.048	—	—	—	—
	是否佩戴电话手表(是)	0.358***	0.119	—	—	—	—
	有无独立通学意愿(有)	0.572***	0.119	—	—	—	—
	有无兄弟姐妹陪同(有)	0.169*	0.094	—	—	—	—
	电动自行车数量	-0.369***	0.047	—	—	—	—
	小汽车数量	0.045	0.046	—	—	—	—
学校周边建成环境	通学是否感觉安全(是)	0.313***	0.111	—	—	—	—
	建筑密度(500 m缓冲区)	—	—	-0.123*	0.069	—	—
	建筑容积率(500 m缓冲区)	—	—	0.799***	0.102	—	—
	土地利用混合度	—	—	0.109	0.073	—	—
	道路网密度	—	—	-0.081	0.116	—	—
	住宅用地比例	—	—	-0.317***	0.076	—	—
通学路径建成环境	POI密度	—	—	—	—	0.042	0.065
	沿街是否商业(是)	—	—	—	—	-0.238**	0.116
	道路平均宽度	—	—	—	—	0.176***	0.062
	家校路线距离	—	—	—	—	-0.824***	0.077
	路线直接性	—	—	—	—	0.071	0.053
	道路交叉口数量	—	—	—	—	-0.189**	0.080
R²		0.154		0.070		0.203	
-2对数似然值		2 792.155		2 944.840		2 697.072	
预测百分比		64.3		62.6		70.2	

注：*P<0.10，**P<0.05，***P<0.01。

资料来源：笔者自制。

著。综合以上模型中各指标因子的相关系数，可以判定家校路线距离对儿童积极通学的解释力度最高。

模型6将通学距离与建成环境变量进行交互，探究其影响效应随着建成环境水平的不同而产生的变化。结果表明，虽然未交互时，建筑密度、住宅用地比例与积极通学呈负相关，但交互后的正相关与建筑容积率一样，证明三者皆能通过调节效应缓解通学距离对儿童积极通学的消极影响。此外，道路交叉口数量、沿街商业分布与交互前保持一致，强烈的负相关证明其使通学距离的负向影响进一步加强。

综合以上模型来讲，没有证据能够表明土地利用混合度、道路网密度与路线直接性会

对儿童积极通学产生影响。虽然土地利用多样性与高密度街道网络往往会缩短目的地距离，提供更多的出行机会与路线选择^[55-57]，但儿童往返家校的目的地十分明确，很少临时改变行为，通学路线也较为固定。同时有研究指出，路线直接性在更大半径的研究区域敏感性方面存在局限性^[58]，高度连通但交通量较低的街道网络才有利于儿童步行通学^[59]。此外，个人特征的整体相关性较为稳健，证明该控制变量对因变量的影响不依赖于模型中的其他建成环境变量，增强了模型的可靠性。

3 结论与启示

3.1 结论

本文以合肥市为例，尝试从儿童个体完

整的通学路线视角分析建成环境对儿童积极通学的影响。在对儿童通学特征与居住小区分布进行客观刻画的基础上，进一步探讨学区内儿童家校间建成环境特征及其对儿童积极通学的影响。研究分别比较了个人及家庭经济特征、通学路径、学校周边建成环境因素对儿童积极通学的影响关系，以及三者之间的相互影响，其中重点关注通学距离与其他建成环境因子的交互作用，得到以下结论。

(1) 儿童个体差异对通学方式的选择有稳定且显著的影响，具体表现为年级越高、男生、感觉放学时交通状况良好与安全、佩戴电话手表、有独立通学意愿、家中电动自行车数量越少的儿童积极通学的倾向更高。

(2) 城市建成环境能够显著影响儿童积极通学。学校周边建成环境中，学校周围500 m缓冲区内的建筑容积率与儿童积极通学呈正相关，建筑密度和学区范围的住宅用地比例与儿童积极通学呈负相关，土地利用混合度和道路网密度与儿童积极通学无关。通学路径建成环境中，家校路线距离、道路交叉口数量和沿街商业分布与儿童积极通学呈负相关，道路平均宽度、POI密度与儿童积极通学呈正相关，路线直接性与儿童积极通学不相关。

(3) 建成环境能够显著调节最强预测因子通学距离对儿童通学的影响效应。学校周边建成环境中，建筑密度、建筑容积率和住宅用地比例能够缓解通学距离带来的消极影响，促进儿童积极通学。而家校路径建成环境中的沿街商业指标与道路交叉口数量则会加剧通学距离的负效应，降低儿童积极通学的可能性。

3.2 启示

儿童是否积极通学由家长的两个决策决定，对安全问题的考量决定了是否选择护送，对便利性的评估决定了最终的通学方式^[60]。父母和儿童的安全感知可能来源于微观城市形态特征，例如道路交叉口的设置、人行道设施

表6 交互作用分析结果
Tab.6 Analysis results of interaction effects

层次	变量	模型4 考虑学校周边与通 学路径建成环境 共同作用		模型5 考虑个人特征与建成 环境共同作用		模型6 考虑通学距离与 建成环境交互	
		系数	标准误	系数	标准误	系数	标准误
个人及家 庭社会经 济特征	年级	—	—	0.462***	0.053	0.454***	0.051
	性别(男)	—	—	0.334***	0.100	0.325***	0.098
	交通拥堵感知	—	—	-0.263***	0.054	-0.290***	0.052
	是否佩戴电话手表(是)	—	—	0.609***	0.135	0.524***	0.131
	有无独立通学意愿(有)	—	—	0.608***	0.129	0.595***	0.128
	有无兄弟姐妹陪同(有)	—	—	0.143	0.103	0.163	0.101
	电动自行车数量	—	—	-0.341***	0.051	-0.339***	0.050
	小汽车数量	—	—	0.006	0.05	-0.005	0.049
	通学是否感觉安全(是)	—	—	0.092	0.123	0.184	0.119
	建筑密度(500 m缓冲区)	-0.151	0.092	-0.213**	0.099	0.253*	0.131
学校周边 建成环境	建筑容积率(500 m缓冲区)	0.223*	0.134	0.020	0.146	0.252*	0.141
	土地利用混合度	-0.069	0.102	0.003	0.110	-0.002	0.118
	道路网密度	-0.179	0.138	0.039	0.149	-0.256	0.188
	住宅用地比例	-0.161	0.105	-0.118	0.114	0.380***	0.127
	POI密度	0.174**	0.084	0.115	0.088	0.061	0.092
通学路径 建成环境	沿街是否商业(是)	-0.160	0.124	0.016	0.132	-1.206***	0.116
	道路平均宽度	0.131*	0.077	0.065	0.082	0.041	0.080
	家校路线距离	-0.795***	0.099	-0.842***	0.105	—	—
	路线直接性	0.032	0.062	0.036	0.065	-0.076	0.094
	道路交叉口数量	-0.185**	0.086	-0.160*	0.092	-0.367***	0.063
R ²		0.208		0.322		0.292	
-2对数似然值		2 687.690		2 448.735		2 514.498	
预测百分比		70.3		73.0		71.3	

注：*P < 0.10，**P < 0.05，***P < 0.01。

资料来源：笔者自制。

的完善和建筑分布的密集程度。便利性则会受到家校距离、道路宽度等间接影响出行时间与出行活动链的建成环境要素的影响。研究结果表明,建成环境指标之间存在相互作用,因此考虑建成环境的作用时,可能需要建成环境特征的组合,而不是单项指标的作用,才能产生有意义的变化。此外,两个决策受到更广泛的物理社会环境的影响,即城市的发展与规划及个人倾向的复杂网络决定了家庭对学校、工作和社区位置的选择,这些地点的抉择又会影响家庭在日常生活模式中的位置。对于儿童通学方式的选择,可以制定干预措施,以更有效地解决护送安全与便利性的问题。例如,通过电话手表与孩子保持沟通,让孩子与同学朋友结

伴出行,此类提供成人监督的非基础设施项目可能是缓解安全问题的有力策略^[61]。同时,建成环境虽然变化缓慢,但通过土地利用和交通政策也具有改变的潜力^[62]。例如在通学高峰时段对学校周边路段进行管控,以增加车辆通行的行为成本,强化步行通学的价值;强化公共交通设施建设,增设公交站点与线路,降低私家车与电动自行车的使用率,改善公共交通通学比例低下的现状。这些应该纳入促进儿童友好城市建设的举措中。

与已有研究重点关注城市宏观建成环境与儿童通学行为之间的相关性不同,本文聚焦6所小学分层随机抽取样本,进行儿童个体场所层面通学路径与学校周围建成环境的多尺

度复合分析,实现了对不同学区儿童个体通学行为的真实刻画。此外,本文对样本儿童通学路径可视化后明确建成环境的研究单元,有利于更加客观地探讨儿童通学差异的根本原因,但研究仍存在不足之处。首先,本文为横截面研究,无法说明建成环境与积极通学的因果关系,也不能建立起积极通学的长期趋势,需要补充纵向数据来控制群体对步行出行的自我选择。其次,儿童通学是特定环境影响下的行为,因此研究结果可能无法适用于其他城市,也可能随着时间的推移而改变。最后,本文对儿童的安全感知与独立通学意愿等进行考量,但未对其家长主观感知、出行习惯等间接影响儿童通学的指标进行考察。未来研究可以扩大样本范围,细化通学路径建成环境指标,也可以更加关注农村地区,了解儿童通学需求的地理差异。

参考文献 References

[1] BLAIR S N. Physical inactivity: the biggest public health problem of the 21st century[J]. British Journal of Sports Medicine, 2009, 43(1): 1-2.

[2] HALLAL P C, ANDERSEN L B, BULL F C, et al. Global physical activity levels: surveillance progress, pitfalls, and prospects[J]. The Lancet, 2012, 380(9838): 247-257.

[3] ZHU Z, TANG Y, ZHUANG J, et al. Physical activity, screen viewing time, and overweight/obesity among Chinese children and adolescents: an update from the 2017 physical activity and fitness in China—the youth study[J]. BMC Public Health, 2019, 19(1): 197.

[4] 谌晓安,王人卫,白晋湘. 体力活动、体适能与健康促进研究进展[J]. 中国运动医学杂志, 2012, 31 (4) : 363-372.

CHEN Xiaolan, WANG Renwei, BAI Jinxiang. Research progress on physical activity, physical fitness, and health promotion[J]. Chinese Journal of Sports Medicine, 2012, 31(4): 363-372.

[5] 李良,徐建方,路瑛丽,等. 户外活动和体育锻炼防控儿童青少年近视的研究进展[J]. 中国体育

- 科技, 2019, 55 (4) :3-13.
- LI Liang, XU Jianfang, LU Yingli, et al. Research progress on myopia prevention and control by promoting outdoor activity and physical exercise in children and adolescents[J]. China Sport Science and Technology, 2019, 55(4): 3-13.
- [6] DAVISON K K, WERDER J L, LAWSON C T. Children's active commuting to school: current knowledge and future directions[J]. Preventing Chronic Disease, 2008, 5(3): A100.
- [7] COOK S, STEVENSON L, ALDRED R, et al. More than walking and cycling: what is "active travel"?[J]. Transport Policy, 2022, 126: 151-161.
- [8] SHAW B, WATSON B, FRAUENDIENST B, et al. Children's independent mobility: a comparative study in England and Germany (1971-2010)[R]. London: Policy Studies Institute, 2013.
- [9] HILLMAN M, ADAMS J, WHITELEGG J. One false move...: a study of children's independent mobility[M]. London: Policy Studies Institute, 1990.
- [10] 何玲玲, 王肖柳, 林琳. 中国城市学龄儿童体力活动影响因素: 基于社会生态学模型的综述[J]. 国际城市规划, 2016, 31 (4) :10-15.
- HE Lingling, WANG Xiaoliu, LIN Lin. Factors associated with physical activity of school age children in Chinese cities: a systemic review based on a social ecological model[J]. Urban Planning International, 2016, 31(4): 10-15.
- [11] STARK J, MESCHIK M, SINGLETON P A, et al. Active school travel, attitudes and psychological well-being of children[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2018, 56: 453-465.
- [12] FRIMAN M, WESTMAN J, OLSSON L E. Children's life satisfaction and satisfaction with school travel[J]. Child Indicators Research, 2019, 12(4): 1319-1332.
- [13] BROBERG A, KYTTAE M, FAGERHOLM N. Child-friendly urban structures: bullerby revisited[J]. Journal of Environmental Psychology, 2013, 35: 110-120.
- [14] GERIKE R, DE NAZELLE A, WITTWER R, et al. Special issue "walking and cycling for better transport, health and the environment"[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2019, 123: 1-6.
- [15] MCLEROY K R, BIBEAU D, STECKLER A, et al. An ecological perspective on health promotion programs[J]. Health Education Quarterly, 1988, 15(4): 351-377.
- [16] STOKOLS D. Translating social ecological theory into guidelines for community health promotion[J]. American Journal of Health Promotion, 1996, 10(4): 282-298.
- [17] GILES-CORTI B, TIMPERIO A, BULL F, et al. Understanding physical activity environmental correlates: increased specificity for ecological models[J]. Exercise and Sport Sciences Reviews, 2005, 33(4): 175-181.
- [18] IKEDA E, STEWART T, GARRETT N, et al. Built environment associates of active school travel in New Zealand children and youth: a systematic meta-analysis using individual participant data[J]. Journal of Transport & Health, 2018, 9: 117-131.
- [19] ROTHMAN L, MACPHERSON A K, ROSS T, et al. The decline in active school transportation (AST): a systematic review of the factors related to AST and changes in school transport over time in North America[J]. Preventive Medicine, 2018, 111: 314-322.
- [20] WONG B Y-M, FAULKNER G, BULIUNG R. GIS measured environmental correlates of active school transport: a systematic review of 14 studies[J]. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 2011, 8(1): 39.
- [21] PONT K, ZIVIANI J, WADLEY D, et al. Environmental correlates of children's active transportation: a systematic literature review[J]. Health & Place, 2009, 15(3): 827-840.
- [22] 焦健. 促进儿童步行与骑车通学: 欧美安全上学路计划的成功经验与启示[J]. 上海城市规划, 2019 (3) :90-95.
- JIAO Jian. Promoting children's walking and cycling to school: enlightenment from safe routes to school program in Euramerican cities[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2019(3): 90-95.
- [23] TIMPERIO A, BALL K, SALMON J, et al. Personal, family, social, and environmental correlates of active commuting to school[J]. American Journal of Preventive Medicine, 2006, 30(1): 45-51.
- [24] CERVERO R, KOCKELMAN K. Travel demand and the 3Ds: density, diversity, and design[J]. Transportation Research, Part D (Transport and Environment), 1997, 2(3): 199-219.
- [25] BENTLEY R, BLAKELY T, KAVANAGH A, et al. A longitudinal study examining changes in street connectivity, land use, and density of dwellings and walking for transport in Brisbane, Australia[J]. Environmental Health Perspectives, 2018, 126(5): 057003.
- [26] SAELENS B E, SALLIS J F, FRANK L D. Environmental correlates of walking and cycling: findings from the transportation, urban design, and planning literatures[J]. Annals of Behavioral Medicine, 2003, 25(2): 80-91.
- [27] FRANK L D, SALLIS J F, SAELENS B E, et al. The development of a walkability index: application to the neighborhood quality of life study[J]. British Journal of Sports Medicine, 2010, 44(13): 924.
- [28] PONT K, ZIVIANI J, WADLEY D, et al. Environmental correlates of children's active transportation: a systematic literature review[J]. Health & Place, 2009, 15(3): 849-862.
- [29] BRINGOLF-ISLER B, GRIZE L, MÄDER U, et al. Personal and environmental factors associated with active commuting to school in Switzerland[J]. Preventive Medicine, 2008, 46(1): 67-73.
- [30] OZBIL A, YESILTEPE D, ARGIN G, et al. Children's active school travel: examining the combined perceived and objective built-environment factors from space syntax[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(1): 286.
- [31] LEE C. Physical activity and environment research in the health field: implications for urban and transportation planning practice and research[J]. Journal of Planning Literature, 2016, 19(2): 147-181.
- [32] PANTER J R, JONES A P, VAN SLUIJS E M F, et al. Neighborhood, route, and school environments and children's active commuting[J]. American Journal of Preventive Medicine, 2010, 38(3): 268-278.
- [33] 邢慧楠, 黄晓燕, 夏伊凡. 社区和学校建成环境对儿童积极通学的影响——基于交叉分类多层模型的西安实证[J]. 西北大学学报 (自然科学版), 2023, 53 (5) :749-760.
- XING Huinan, HUANG Xiaoyan, XIA Yifan. Associations of neighborhood and school built environment with active commuting to school in children: an empirical study of Xi'an City based on cross-classified multilevel model[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2023, 53(5): 749-760.
- [34] 何玲玲, 林琳. 学校周边建成环境对学龄儿童上下学交通方式的影响——以上海市为例[J]. 上海城市规划, 2017 (3) :30-36.
- HE Lingling, LIN Lin. The impacts of school neighborhood built environment on school-age children's school commuting: a case study of Shanghai[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2017(3): 30-36.
- [35] OPENSHAW S. Modifiable areal unit problem[C]// Proceedings of the ACM SIGSPATIAL International Workshop on Advances in Geographic Information Systems. New York: Association for Computing Machinery, 2008.
- [36] 王侠, 焦健. 基于通学出行的建成环境研究综述[J]. 国际城市规划, 2018, 33 (6) :57-62.
- WANG Xia, JIAO Jian. A review of built environment research based on children's school travel behavior[J]. Urban Planning International, 2018, 33(6): 57-62.
- [37] MOLINA-GARCIA J, QUERALT A, ADAMS M A, et al. Neighborhood built environment and socio-economic status in relation to multiple health outcomes in adolescents[J]. Preventive Medicine, 2017, 105: 88-94.
- [38] MOLINA-GARCIA J, QUERALT A.

- Neighborhood built environment and socioeconomic status in relation to active commuting to school in children[J]. *Journal of Physical Activity & Health*, 2017, 14(10): 761-765.
- [39] RIAZI N A, WUNDERLICH K, YUN L, et al. Social-ecological correlates of children's independent mobility: a systematic review[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(3): 1604.
- [40] CURTIS C, BABB C, OLARU D. Built environment and children's travel to school[J]. *Transport Policy*, 2015, 42: 21-33.
- [41] YARLAGADDA A K, SRINIVASAN S. Modeling children's school travel mode and parental escort decisions[J]. *Transportation*, 2008, 35(2): 201-218.
- [42] MCDONALD N C. Household interactions and children's school travel: the effect of parental work patterns on walking and biking to school[J]. *Journal of Transport Geography*, 2008, 16(5): 324-331.
- [43] MURRAY L. Making the journey to school: the gendered and generational aspects of risk in constructing everyday mobility[J]. *Health Risk & Society*, 2009, 11(5): 471-486.
- [44] SOLTANI A, ZAMIRI M. Investigation of school students' travel patterns, two case areas of Mashhad, Iran[J]. *Modern Applied Science*, 2011, 5(5): 225-232.
- [45] WEN L M, FRY D, RISSEL C, et al. Factors associated with children being driven to school: implications for walk to school programs[J]. *Health Education Research*, 2008, 23(2): 325-334.
- [46] GREVES H M, LOZANO P, LIU L, et al. Immigrant families' perceptions on walking to school and school breakfast: a focus group study[J]. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2007, 4: 9.
- [47] SOLTANI A, JAVADPOOR M, SHAMS F, et al. Street network morphology and active mobility to school: applying space syntax methodology in Shiraz, Iran[J]. *Journal of Transport & Health*, 2022, 27: 101493.
- [48] LEE S, LEE C, NAM J W, et al. School walkability index: application of environmental audit tool and GIS[J]. *Journal of Transport & Health*, 2020, 18: 100880.
- [49] MOLINA-GARCIA J, CAMPOS S, GARCIA-MASSO X, et al. Different neighborhood walkability indexes for active commuting to school are necessary for urban and rural children and adolescents[J]. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2020, 17(1): 124.
- [50] IKEDA E, HINCKSON E, WITTEN K, et al. Associations of children's active school travel with perceptions of the physical environment and characteristics of the social environment: a systematic review[J]. *Health & Place*, 2018, 54: 118-131.
- [51] FAULKNER G E J, BULIUNG R N, FLORA P K, et al. Active school transport, physical activity levels and body weight of children and youth: a systematic review[J]. *Preventive Medicine*, 2009, 48(1): 3-8.
- [52] PANTER J R, JONES A P, VAN SLUIJS E M F. Environmental determinants of active travel in youth: a review and framework for future research[J]. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2008, 5: 34.
- [53] HUERTAS-DELGADO F J, HERRADOR-COLMENERO M, VILLA-GONZÁLEZ E, et al. Parental perceptions of barriers to active commuting to school in Spanish children and adolescents[J]. *European Journal of Public Health*, 2017, 27(3): 416-421.
- [54] LARSEN K, GILLILAND J, HESS P M. Route-based analysis to capture the environmental influences on a child's mode of travel between home and school[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2012, 102(6): 1348-1365.
- [55] THORNTON L E, PEARCE J R, KAVANAGH A M. Using geographic Information Systems (GIS) to assess the role of the built environment in influencing obesity: a glossary[J]. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2011, 8: 9.
- [56] HELBICH M, VAN EMMICHOVEN M J Z, DIJST M J, et al. Natural and built environmental exposures on children's active school travel: a Dutch global positioning system-based cross-sectional study[J]. *Health & Place*, 2016, 39: 101-109.
- [57] LEE M, BARBOSA H, YOUN H, et al. Morphology of travel routes and the organization of cities[J]. *Nature Communications*, 2017, 8: 2229.
- [58] DAGHASH F, ANABTAWI R, BYON Y-J, et al. Exploring the limitations of pedestrian route directness: a correlation between sensitivity and radius variability[J]. *Buildings*, 2023, 13(10): 2612.
- [59] GILES-CORTI B, WOOD G, PIKORA T, et al. School site and the potential to walk to school: the impact of street connectivity and traffic exposure in school neighborhoods[J]. *Health & Place*, 2011, 17(2): 545-550.
- [60] FAULKNER G E J, RICHICHI V, BULIUNG R N, et al. What's "quickest and easiest?": parental decision making about school trip mode[J]. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2010, 7: 62.
- [61] MCDONALD N C, AALBORG A E. Why parents drive children to school: implications for safe routes to school programs[J]. *Journal of the American Planning Association*, 2009, 75(3): 331-342.
- [62] HEATH G W, BROWNSON R C, KRUGER J, et al. The effectiveness of urban design and land use and transport policies and practices to increase physical activity: a systematic review[J]. *Journal of Physical Activity & Health*, 2006, 3(s1): S55-S76.