



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

邢慧楠¹, 黄晓燕^{1,2}, 夏伊凡¹

(1. 陕西师范大学 西北国土资源研究中心, 陕西 西安 710119;

2. 陕西师范大学 西北城镇化与国土环境空间模拟重点实验室, 陕西 西安 710119)

摘要 积极通学是儿童体力活动的重要来源,对儿童身心健康具有重要作用。建成环境对儿童积极通学的影响受到地理学、城市规划、公共健康等多个领域学者的广泛关注,但现有研究对社区和学校建成环境的共同作用和影响差异考虑不足。该研究以西安市为案例地,运用交叉分类多层模型,探究了儿童居住社区和就读学校建成环境对其积极通学的影响。研究发现,① 社区建成环境对儿童积极通学的影响大于学校建成环境;② 影响儿童积极通学的社区与学校建成环境因素不同,社区绿色度的增加能显著促进积极通学,学校餐饮店数量、土地混合使用、十字路口数量均对积极通学产生负效应,但学校公共交通站点数量的提高能促进儿童积极通学;③ 建成环境能够调节通学距离对积极通学的影响效应,社区商店数量的增多会加剧通学距离对积极通学的负效应,社区人口密度、公共交通站点数量和学校绿色度可以削弱通学距离的负效应,从而促进儿童积极通学。研究结论可为促进儿童积极通学的相关公共政策干预和空间调整策略提供参考。

关键词 建成环境;积极通学;交叉分类多层模型;儿童;西安

中图分类号: TU984 DOI: 10.16152/j.cnki.xdxzbzr.2023-05-007

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

XING Huinan¹, HUANG Xiaoyan^{1,2}, XIA Yifan¹

(1. Northwest Land and Resource Research Center, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China;

2. Key Laboratory for Urbanization and Land Environment Geo-Simulation in Northwest China,
Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

Abstract Active commuting to school plays a crucial role in promoting physical activity and positively contributes to children's physical and mental health. While extensive attention has been paid to the impact of built environment on children's active commuting to school, there is still a lack of consideration for the joint effects and differences in the impact of built environment of neighborhood and school. In this study, a cross-classified multilevel model is employed to investigate the effects of neighborhood and school built environment

收稿日期: 2023-05-08

基金项目: 国家自然科学基金(41831284, 42371214, 41871168)

第一作者: 邢慧楠, 女, 从事人文地理研究, xhn0129@snnu.edu.cn。

通信作者: 黄晓燕, 女, 博士, 教授, 从事城市地理与城乡规划研究, hxiaoy@snnu.edu.cn。

on children's active commuting to school in Xi'an. Our findings indicate that: ① Neighborhood built environment has a greater impact on children's active commuting to school compared to school built environment; ② Neighborhood and school built environment factors that affect children's active commuting to school are different. For instance, while an increase in the number of school bus stops promotes active commuting to school, factors such as mixed land use, number of school cafeterias, and number of intersections contribute negatively to children's active commuting. ③ Built environment moderates the effect of distance to school on active commuting to school. An increase in the number of neighborhood stores exacerbated the negative effect of distance on active commuting to school; neighborhood population density, number of bus stops, and school greenery promoted active commuting to school by weakening the negative effect of distance. These research outcomes hold significant implications for developing public policies and spatial adjustments that aim to promote active commuting to schools among children.

Keywords built environment; active commuting to school; cross-classified multilevel model; children; Xi'an

《“健康中国 2030”规划纲要》强调实现全民健康要立足全人群和全生命周期两个着力点,突出解决好妇女、老年人、儿童等重点人群的健康问题。儿童时期是身心发育的关键时期,儿童健康成长关系着家庭幸福、社会稳定和可持续发展,对于实现全民健康有着重要意义。然而,随着城市化和机动化进程的加快,儿童肥胖率和慢性病发病率上升已成为严峻的全球公共卫生问题^[1]。从 1975—2016 年,全球 5~19 岁超重或肥胖的患病率从 4% 增加到 18%^[2]。《中国居民营养与慢性病状况报告(2020 年)》指出,我国 6~17 岁儿童青少年超重肥胖率达到 19%^[3]。体力活动已被大量研究证明对促进儿童健康有重要意义,可显著减少肥胖和慢性病的发生^[4]。然而,由于环境、家庭和个人生活行为方式的改变,儿童日常体力活动水平持续下降。世界卫生组织(WHO)指出全球 80% 以上的在校青少年每日中高强度体力活动未达到推荐标准^[5]。我国也仅有 29.9% 的儿童青少年中高强度体力活动水平达到国家体力活动指南推荐量^[6]。

以步行或骑自行车等积极的交通模式进行通学(也称为积极通学)已被证明是儿童体力活动的重要来源^[7-8]。提高积极通学比例,可以帮助儿童将体力活动融入日常行为,整体提升体力活动水平^[9-10]。明确并更精准地量化儿童积极通学的影响因素是制定有效干预措施的前提。大量研究表明儿童积极通学受到个体和家庭特征、交通和社区安全、社会环境和建成环境等因素的共同影响^[11-13]。其中,建成环境在促进儿童积极通学方面发挥着关键作用^[14-15],受到地理学、城市规划、公共健康等多个领域学者的广泛关注。已有研究

普遍认为通学距离是影响孩子通学方式的最重要因素,积极通学的可能性随着通学距离的增加而降低^[16-17]。但总体上,建成环境影响儿童积极通学的研究证据混杂。部分研究认为步行友好型环境特征,如高居住密度、高交叉路口密度、土地混合使用、人行道连续性和可用性、街道照明等能有效促进积极通学^[18-22]。也有研究发现居住密度与步行上学之间没有显著关系^[23],交叉路口密度与积极通学负相关^[24-25],原因是街道网络连通度高能增加积极通学的路线选择,但也会导致儿童需要穿越更多街道,加大了交通安全隐患。同样,一些研究认为土地混合使用增加了步行可达的潜在目的地数量,能促进积极通学^[26],但也有学者发现两者之间没有关系^[23]或负相关^[12]。甚至,有学者认为人行道的可用性也对儿童积极通学不产生影响^[27]。

总之,城市建成环境对儿童积极通学的影响目前尚未得到充分证实,相互矛盾的结论可能源于研究案例地、数据、方法的差异,也可能是由于大多研究在测度建成环境时,仅考虑了居住社区或学校单一地理背景^[28-29]。居住社区和学校是儿童通学的出发地和目的地,忽略社区和学校建成环境对积极通学的共同作用,会导致对建成环境效应的错误估计。且为了更精准地制定土地利用和建成环境调整策略,需要量化比较居住社区和学校建成环境因素对积极通学的影响大小和差异。此外,通学距离是影响儿童积极通学的关键因素,但在通学距离固定的情况下,建成环境在一定程度上会对通学距离影响积极通学的效应产生调节作用,而现有研究鲜有考察通学距离和建成环境因素的交互作用如何影响儿童积极通学。

基于此,本文以西安市为案例地,以小学生为研究群体,采用交叉分类多层模型考察了社区和学校建成环境对儿童积极通学的影响。本文试图回答以下问题:①社区和学校建成环境影响儿童积极通学的程度和因素有何差异?②建成环境因素如何通过跨层交互效应调节通学距离对积极通学的作用?研究在一定程度上能弥补现有研究的不足,并为促进儿童积极通学的相关公共政策和空间调整策略提供支持。

1 研究数据与方法

1.1 研究区域与数据

1.1.1 研究区概况与数据来源

本文以西安市长安区、雁塔区、莲湖区、碑林区、新城、未央区以及灞桥区等主城区为研究区域,选取处于小学阶段的 6~13 岁学龄儿童为研究对象。根据学校周边建成环境特征,将位于研究区域内的 613 所小学通过聚类分析划分为 5 种类型,然后从每个类型中随机抽取了 3 所小学,共

对 15 所学校进行调研。调研学校和被访者对应的居住小区空间分布如图 1 所示。

本文基础数据主要来自于课题组 2019 年进行的“西安市建成环境对儿童体力活动的影响”问卷调查。问卷内容主要包括儿童个人和家庭社会经济属性特征、父母和儿童体育锻炼偏好、儿童出行态度偏好及儿童通学方式。完成一份问卷的时间大约为 15~20 min。调研组招募了 20 名目标学校的儿童及其家长,对调查进行了预测试,并根据他们的反馈对调查问卷的细节进行修改和完善。2019 年 11—12 月,开始正式问卷调查。调研组首先通过联系目标学校所在区的教育局进行协调,在获得可对目标学校进行问卷调查的许可后,联系目标学校的老师。然后在老师的帮助下,每所学校按照 3% 的比例,随机在 1~6 年級的班级中选取学生发放问卷。考虑到 1~2 年级学生理解能力可能不足,问卷可和家长一起完成。最终收集的问卷调查数据共涉及 15 所学校的 749 名儿童,得到 689 份有效问卷。

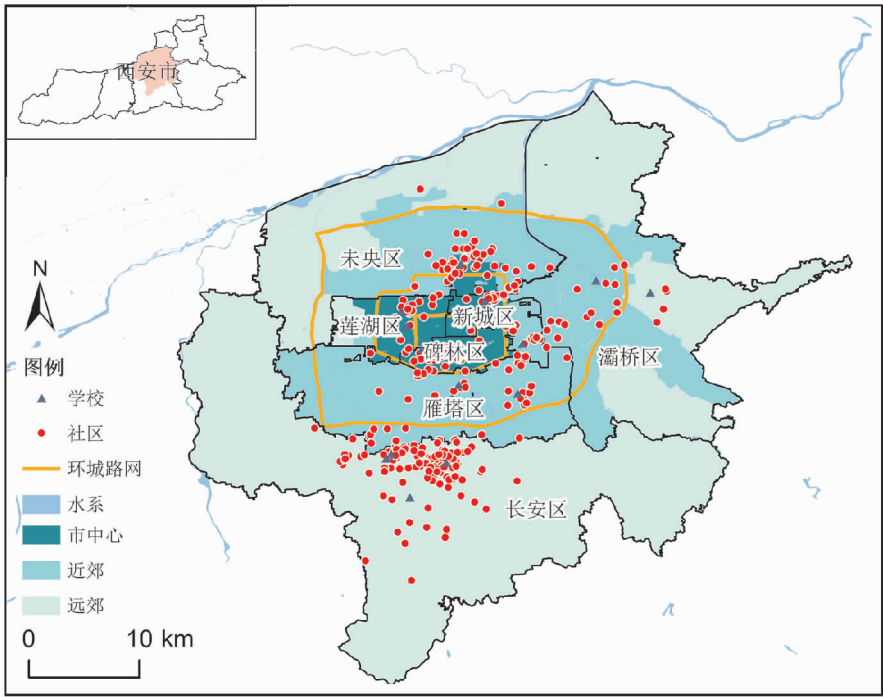


图 1 调研学校和社区的空间分布图

Fig.1 The spatial distribution of sample schools and communities

1.1.2 问卷信效度检验及验证性因子分析

采用 Cronbach's α 系数进行信度检验时,当 Cronbach's α 系数大于 0.7 时,认为问卷内部一致性较好,问卷信度较高。本文采用 SPSS 26.0

对所有样本进行信度检验,问卷整体信度检测 Cronbach's α 系数为 0.769,说明本文使用的问卷数据信度较高。

采用 KMO 和 Bartlette 球形度进行效度检验,

本文采用 SPSS 26.0 对所有样本进行效度检验,得到问卷整体 KMO 值为 0.795,表示原始变量之间相关性较强,适合做因子分析;Bartlette 球形度检验的显著值达到 0.000 的显著性水平,即问卷具有结构效度,说明数据适合做因子分析。

采用 STATA 16.0 对儿童出行态度偏好、父母锻炼偏好和儿童锻炼偏好变量进行验证性因子分析(confirmatory factor analysis, CFA)。结果显示,儿童出行态度偏好的 CFI 值(比较拟合指数)为 0.962,父母体育锻炼偏好的 CFI 值为 0.918,儿童体育锻炼偏好的 CFI 值为 0.965,CFI 值均大于 0.9,表明模型拟合度良好。

1.2 变量选择

本文主要考察社区和学校建成环境对儿童积极通学的影响。因变量为儿童是否采用积极交通方式通学的二分类变量。自变量主要包括建成环境和个体 2 个层次(见表 1)。建成环境变量主要基于相关研究综述以及数据可获取性来确定,包括了人口密度、绿色度、土地混合使用、到最近公园的距离、各类公共服务设施的数量。人口密度使用受访者居住社区或学校所在街道的常住人口密度来表征。绿色度使用社区和学校 1 km 缓冲区范围内归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)衡量。土地混合使用参考 Moniruzzaman 等^[30]公式(式 1)计算得到。

$$I_E = - \sum_{i=1}^N (p_i \ln p_i) / \ln N \tag{1}$$

式中: N 表示土地利用方式的种类数量; p_i 表示第 i 种土地利用方式的面积占总面积的比值。

考虑到各类兴趣点(point of interest, POI)可以表征土地利用的多样性,本文用不同类型的 POI 代替土地利用地理空间数据计算土地混合使用指标,包括餐饮服务、购物服务、体育休闲服务、公园、广场等。各类 POI 数据通过高德地图应用程序编程接口(API)提取。此外,本文利用 ArcGIS 10.8 进行空间分析,分别测度了社区和学校 1 km 缓冲区范围内的商店、餐饮店、运动场、公共交通站点和十字路口数量及其他建成环境变量。

个体层次变量包括儿童个人和家庭社会经济属性特征、儿童出行态度偏好、父母和儿童的体育锻炼偏好、通学距离。社会经济属性特征包括儿童年龄、性别、家庭年收入、家中拥有自行车数量、电动车数量和小汽车数量。问卷调查中要求受访者就 11 项关于小汽车、公共交通、自行车和步行

的偏好表述按照从“非常不赞同”到“非常赞同”共 4 级量表进行选择。然后通过验证性因子分析得到儿童出行态度偏好的 5 个主要因素:喜欢步行、喜欢骑自行车、喜欢乘坐小汽车、喜欢乘坐公共交通。同样,受访者就 5 项关于体育锻炼的偏好表述进行判断,通过验证性因子分析得到 2 个父母和儿童体育锻炼偏好的主要因素:父母喜欢体育锻炼、儿童喜欢体育锻炼。

1.3 研究方法

本文的数据存在交叉嵌套的跨层次结构。儿童个体嵌套于社区和学校。由于存在嵌套关系,同一社区或学校的儿童会受到相同因素的影响,从而具有某些共同特征,样本之间不再完全独立。因此,单层回归模型不再符合样本独立的经典假定,需要多层次模型才能有效地检验不同水平因素对因变量的作用。本文的数据结构在多层次的基础上更加特殊,同一社区的儿童会就读于不同的学校,同一学校的儿童会居住在不同的社区,而社区层次和学校层次之间不存在嵌套结构,说明儿童与社区和学校之间不仅存在嵌套关系,还存在交叉关系,数据结构如图 2 所示。

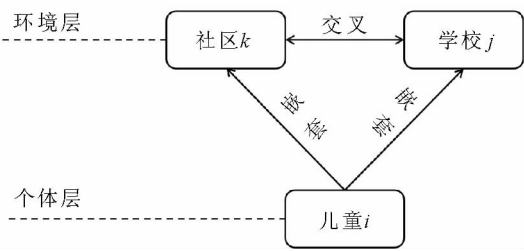


图 2 数据结构示意图
Fig. 2 Data structure diagram

结合二分类因变量,本文采用交叉分类多层 Logistic 模型进行研究。首先,构建空模型计算组内相关系数。模型选择时,需要考虑组间的方差差异,如果组间差异较大,则须采用多层模型。因此,需先计算其组内相关系数(the intraclass correlation coefficient, ICC, 式中简记为 C),以判断有无必要使用多层模型,若需使用多层模型,还可以利用其判定社区层和学校层对儿童积极通学的影响大小,计算式为

$$C_k = \sigma_k^2 / (\sigma_i^2 + \sigma_k^2 + \sigma_j^2) \tag{2}$$

$$C_j = \sigma_j^2 / (\sigma_i^2 + \sigma_k^2 + \sigma_j^2) \tag{3}$$

式中: C_k 和 C_j 分别为社区层次和学校层次的组内相关系数; σ_i^2 为个体层次方差; σ_k^2 为社区层次方差; σ_j^2 为学校层次方差。

表 1 变量的定义及描述性统计
Tab.1 The descriptive statistics of variables

层次	类别	变量	定义	均值	标准差
个体层次	个人	儿童性别	男孩 =0;女孩 =1	0.557	0.497
		儿童年龄	单位:岁	9.250	1.612
		家庭社会经济属性	30 000 元以下 =1;30 001 ~50 000 元 =2;50 001 ~100 000 元 =3;100 001 ~200 000 元 =4;200 001 ~300 000 元 =5;300 000 元以上 =6	3.130	1.281
	家庭社会属性	家中拥有自行车数量	家庭中拥有的自行车的数量	0.531	0.692
		家中拥有电动车数量	家庭中拥有的电动车的数量	0.710	0.700
		家中拥有小汽车数量	家中拥有的小汽车数量	0.890	0.582
	儿童出行态度偏好	喜欢步行出行	小孩更愿意步行出去而不是坐小汽车;小孩喜欢步行;步行出去有时比坐小汽车出去更开心	-	-
		喜欢骑自行车出行	骑自行车出去有时比坐小汽车更开心;小孩喜欢骑自行车;如果可以选择的话,小孩更愿意骑自行车出去而不是坐小汽车	-	-
		喜欢乘坐小汽车出行	小孩喜欢坐小汽车;当坐小汽车时,小孩觉得很开心;如果可以选择的话,小孩更愿意坐公交车出去而不是坐小汽车;坐公交车出去有时比坐小汽车更开心;小孩喜欢坐公交车	-	-
		喜欢乘坐公共交通出行	小孩喜欢坐小汽车;当坐小汽车时,小孩觉得很开心;如果可以选择的话,小孩更愿意坐公交车出去而不是坐小汽车;坐公交车出去有时比坐小汽车更开心;小孩喜欢坐公交车	-	-
	父母和儿童锻炼偏好	父母喜欢体育锻炼	只要有时间就会运动,不运动感觉生活少了乐趣;体育锻炼使我很开心,更加健康,是增强体质有效手段之一	-	-
		儿童喜欢体育锻炼	只要有时间就会运动,不运动感觉生活少了乐趣;体育锻炼使我很开心,更加健康,是增强体质有效手段之一	-	-
	通学距离		居住小区门口到学校门口的最短网络距离/km	1.930	2.000
社区层次	社区建成环境	商店数量	缓冲区内商店 POI 的数量	10.700	8.919
		餐饮店数量	缓冲区内餐饮店 POI 的数量	6.850	6.870
		运动场数量	缓冲区内运动场 POI 的数量	10.380	10.193
		公共交通站点数量	缓冲区内公共交通站点 POI 的数量	10.700	4.747
		十字路口数量	缓冲区内十字路口 POI 的数量	6.550	5.068
		土地混合使用	缓冲区内土地使用的多样性	0.628	0.107
		人口密度	所在街道的常住人口密度/(千人·km ⁻²)	9.861	8.679
		绿色度	缓冲区内归一化植被指数	0.372	0.074
	学校建成环境	到最近公园距离	居住小区到最近公园的距离/km	1.089	0.656
		商店数量	缓冲区内商店 POI 的数量	10.270	7.563
		餐饮店数量	缓冲区内餐饮店 POI 的数量	9.200	7.070
		运动场数量	缓冲区内运动场 POI 的数量	9.811	9.141
		公共交通站点数量	缓冲区内公共交通站点 POI 的数量	10.270	6.807
		十字路口数量	缓冲区内十字路口 POI 的数量	6.860	5.468
		土地混合使用	缓冲区内土地使用的多样性	0.573	0.237
因变量	学校建成环境	人口密度	所在街道的常住人口密度/(千人·km ⁻²)	9.811	9.148
		绿色度	缓冲区内归一化植被指数	0.387	0.060
		到最近公园距离	就读学校到最近公园的距离/km	1.429	0.507
		儿童是否积极通学	“步行”“骑行”=1;“小汽车”“出租车”“公共汽车”“地铁”“电动车/摩托车”=0	0.520	0.500
	因变量	儿童是否积极通学	“步行”“骑行”=1;“小汽车”“出租车”“公共汽车”“地铁”“电动车/摩托车”=0	0.520	0.500
		儿童是否积极通学	“步行”“骑行”=1;“小汽车”“出租车”“公共汽车”“地铁”“电动车/摩托车”=0	0.520	0.500
		儿童是否积极通学	“步行”“骑行”=1;“小汽车”“出租车”“公共汽车”“地铁”“电动车/摩托车”=0	0.520	0.500

然后,进行交叉分类多层 Logistic 模型研究,方程式为

$$\text{Logit}[\Pr(y_{ijk} = 1 \mid X_{ijk}, W_j, V_k)] =$$
$$\alpha + \sum_{m=1}^M \beta_m X_{mijk} + \sum_{n=1}^N \gamma_n W_{nj} +$$
$$\sum_{p=1}^P \delta_p V_{pk} + \mu_j + \theta_k + \varepsilon_{ijk}$$
$$\mu_j \sim N(0, \sigma_j^2)$$
$$\theta_k \sim N(0, \sigma_k^2)$$
$$\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2) \tag{4}$$

式中: y_{ijk} 为*j*学校*k*社区的儿童*i*的通学方式观测值,等于1表示积极通学,等于0表示非积极通学; X_{ijk} 、 W_j 和 V_k 分别表示个体层、学校层和社区层的变量; X_{mijk} 为个体层的第*m*个变量; W_{nj} 为学校层的第*n*个变量; V_{pk} 为社区层的第*p*个变量,具体到本研究中,个体层有13个变量,学校层有9个变量,社区层有9个变量,因此*m*、*n*和*p*的取值分别为13、9和9; β_m 、 γ_n 、 δ_p 分别表示个体层、学校层和社区层的斜率系数; μ_j 为*j*学校对积极通学的随机效应; θ_k 为*k*社区对积极通学的随机效应; ε_{ijk} 为儿童个体的随机效应。假定 μ_j 和 θ_k 在给定解释变量情况下都服从均值为零的正态分布。

2 实证结果

2.1 空模型结果和组内相关系数

为检验交叉分类多层 Logistic 模型的实用性,并判别社区和学校对儿童积极通学的影响大小,本文构建了空模型并计算了组内相关系数(见表2)。ICC 值为 0.06 ~ 0.14 时,属于中度组内相关;当 ICC 值大于 0.14 时,属于高度组内相关^[31]。组内呈中、高度相关时,便不能忽略组内相似性,应当使用多层模型进行分析。本文的研究结果显示,社区层和学校层的 ICC 值分别为 0.359 1和 0.142 8,均表现为组内高度相关,因此,本文所选用的多层模型方法适用。

ICC 值越高,说明该层次的变量能够解释更多方差,即该层次可以作为回复差异的主要来源。社区层面的 ICC 为 0.359 1,表明对于儿童积极通学概率大约 35.91% 的变异可以分解到社区层次的客观建成环境变量;学校层面的 ICC 为 0.142 8,即学校层差异导致了 14.28% 的儿童积极通学决策变异,其余 49.81 % 的变异来自个体层面。由此可见,个体层变量是导致儿童积极通学主要因素,但社区层和学校层因素也发挥着不可忽视的作

用,且社区发挥的作用大于学校。

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

	方差	95% 置信区间
σ_ε^2	0.129	0.112 ~ 0.144
σ_k^2	0.093	0.068 ~ 0.129
σ_μ^2	0.037	0.010 ~ 0.080
ICC _k		0.359 1
ICC _j		0.142 8

2.2 交叉分类多层模型结果

交叉分类多层 Logistic 模型的评估结果主要包括优势比(odds ratios, OR)、标准误差(standard error, SE)。将个人、社区和学校层次变量纳入模型(见表3),模型 Wald chi2 值为 103.22,在 1% 水平显著,表示模型的估计结果可信度较高。表 3 中,变量的 OR 值大于 1 表示正的影响,它越大说明正影响越大;OR 值小于 1 表示负的影响,它越小说明负影响越大。

从模型结果可知,通学距离对儿童积极通学产生显著负效应,这一点与大量国内外研究得到的结论一致。通学距离的 OR 值是 0.344,表明了通学距离每增加 1 单位,儿童积极通学的可能性降低 65.6%。距离越远,所花费的时间越长,人们越倾向于使用小汽车这样速度快且舒适的交通工具,或者出行便捷且出行成本低、准时性有保障的交通工具,如电动车、公交车,而较少地选择步行或者骑自行车。

在控制了个体和家庭社会经济属性、儿童出行态度偏好、父母和儿童的体育锻炼偏好后,社区和学校建成环境仍然对儿童积极通学产生显著影响。社区客观建成环境变量中,绿色度对儿童选择积极通学具有显著的促进作用,这一结果与 Queralt 等发现的社区 1 km 缓冲区内的绿地面积与体力活动显著正相关研究结果类似^[19]。社区绿色度的 OR 值为 1.052,表示社区绿色度每提高 1 单位,儿童积极通学的可能性会提升 5.2%,绿色度在一定程度上表征了步行和骑行环境的优劣,绿色程度高有利于净化空气,降低噪声污染,提高步行和骑行的舒适度和安全性,从而促进儿童积极通学。

学校建成环境变量中,餐饮店数量对儿童积极通学产生显著负效应,餐饮店数量的 OR 值为 0.822,这表明学校周边餐饮店数量每增加 1 单位,儿童积极通学的可能性降低 17.8%,可能的

原因是学校周边餐饮店数量越多,人流量越大,环境越嘈杂,从而降低了儿童积极通学的舒适度感受,导致儿童积极通学概率的降低。学校周边 1 km 范围内土地混合使用与儿童积极通学显著负相关,其 OR 值为 0.969,代表着土地混合使用每增加 1 单位,儿童积极通学的可能性降低 3.1%。学校十字路口数量对儿童积极通学产生显著负效应,十字路口数量每增加 1 单位,儿童

积极通学的可能性会降低 15.4%。高交通容量、高连接性的地区相应会承受较大交通量,从而降低儿童步行和骑行交通环境的安全性,导致儿童积极通学的可能性降低。学校附近公共交通站点数量对儿童积极通学行为产生显著正效应,其 OR 值为 1.120。这说明学校附近公共交通站点数量每增加 1 单位,儿童积极通学的可能性将会增加 12%。

表 3 交叉分类多层 Logistic 模型结果
Tab.3 Results of cross-classified multilevel model

层次	变量	OR 值	标准误差
个体层次	儿童年龄	0.775	0.179
	儿童性别	1.091	0.088
	家庭年收入	1.035	0.107
	家中拥有自行车数量	1.098	0.191
	家中拥有电动车数量	0.434 ***	0.081
	家中拥有小汽车数量	0.860	0.186
	儿童步行偏好	1.387	0.343
	儿童自行车偏好	0.813	0.141
	儿童小汽车偏好	1.107	0.152
	儿童公交车偏好	0.974	0.192
	父母体育锻炼偏好	1.001	0.267
	儿童体育锻炼偏好	1.131	0.326
社区层次	通学距离	0.344 ***	0.047
	商店数量	0.988	0.022
	餐饮店数量	1.004	0.031
	运动场数量	1.00	0.005
	公共交通站点数量	1.013	0.042
	十字路口数量	1.045	0.038
	土地混合使用	0.997	0.176
	人口密度	0.960	0.029
	绿色度	1.052 *	0.031
	到最近公园距离	0.765	0.307
学校层次	商店数量	1.018	0.038
	餐饮店数量	0.822 **	0.049
	运动场数量	1.010	0.012
	公共交通站点数量	1.120 ***	0.083
	十字路口数量	0.846 ***	0.052
	土地混合使用	0.969 *	0.017
	人口密度	1.066	0.048
	绿色度	0.985	0.074
	到最近公园距离	0.765	0.306

对数似然值 = -306.849
Wald chi2 = 103.22
Prob > chi2 = 0.000

注:*** 表示在 1% 水平上显著,** 表示在 5% 水平上显著,* 表示在 10% 水平上显著。

个体层面的变量中,电动车拥有量和通学距离对儿童积极通学产生显著负效应。电动车拥有量的 OR 值为 0.434,说明家庭拥有电动车数量每增加 1 单位,儿童积极通学的可能性将会变为原来的 0.434 倍,即积极通学的可能性就会降低 56.6%。由于电动车驾驶简单方便、出行易停放、使用经济成本低,使得有电动车甚至拥有多辆电动车的家庭在通学出行时更倾向于使用电动车。儿童性别、年龄、家庭收入、自行车拥有量、小汽车拥有量及锻炼和出行偏好对儿童积极通学均不产生显著影响。

2.3 交互作用

一个自变量对因变量的影响效应随着另一个自变量的水平不同而有所变化,则这 2 个变量之间就存在交互效应。本文进一步将通学距离与社区、学校建成环境变量进行交互,探究通学距离对积极通学的影响效应随着建成环境水平的不同而产生的变化,即测度建成环境因素如何通过跨层

交互效应调节通学距离对积极通学的作用。建成环境对积极通学的影响路径见图 3。

将通学距离交互社区和学校建成环境变量,并纳入交互模型,探讨通学距离与建成环境交互后对儿童积极通学的影响(见表 4)。模型的评估结果主要为优势比和标准误差。

绘制交互前后建成环境与积极通学相关系数的热力图,以直观揭示建成环境变量对通学距离影响积极通学的调节效应(见图 4)。

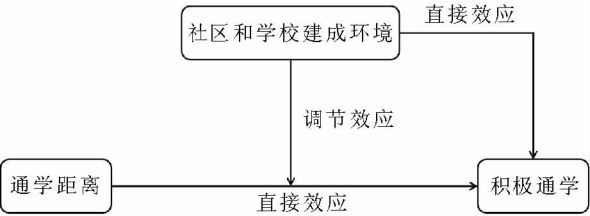


图 3 建成环境对积极通学的影响路径

Fig. 3 The impact path of built environment on active school travel

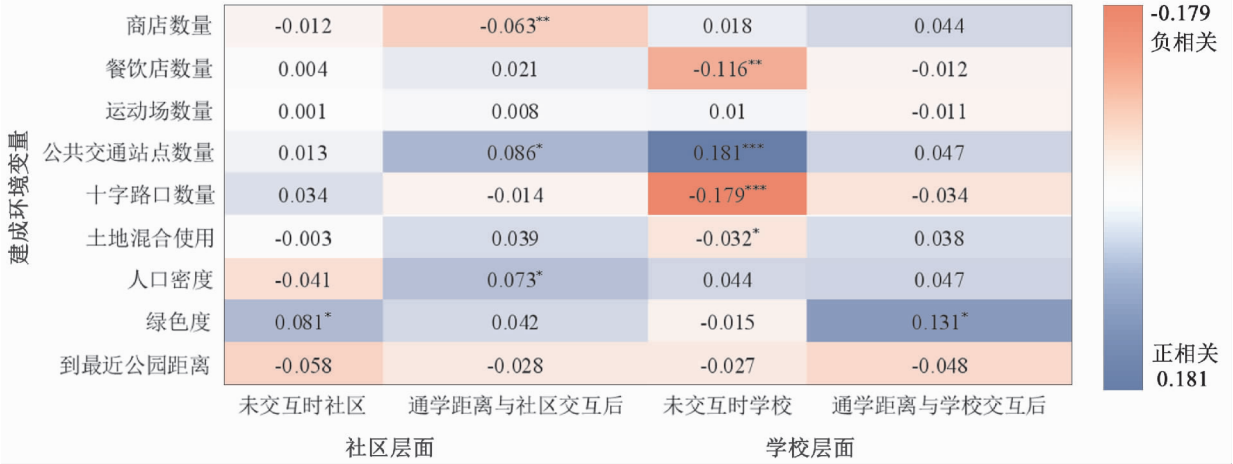
表 4 通学距离与建成环境交互效应结果

Tab. 4 Results of cross-level interaction effects for home-school distance and built environment

交互层次	交互变量	OR 值	标准误差
与社区层次交互	商店数量	0.939 **	0.026
	餐饮店数量	1.021	0.018
	运动场数量	1.008	0.007
	公共交通站点数量	1.080 *	0.046
	十字路口数量	0.986	0.032
	土地混合使用	1.173	0.058
	人口密度	1.040 *	0.022
	绿色度	1.397	0.096
	到最近公园距离	0.759	0.251
与学校层次交互	商店数量	1.045	0.039
	餐饮店数量	0.988	0.027
	运动场数量	0.989	0.011
	公共交通站点数量	1.048	0.074
	十字路口数量	0.967	0.054
	土地混合使用	1.795	2.729
	人口密度	1.059	0.045
	绿色度	1.227 *	0.053
	到最近公园距离	0.829	0.385

对数似然值 -279.154 1
Wald chi2 =98.39
Prob > chi2 = 0.000

注:***表示在 1% 水平上显著,**表示在 5% 水平上显著,*表示在 10% 水平上显著。



注:蓝色代表正相关,红色代表负相关,颜色越深相关性越强;***表示在1%水平上显著,**表示在5%水平上显著,*表示在10%水平上显著。

图 4 建成环境与积极通学相关系数热力图

Fig. 4 Thermodynamic diagram of correlation coefficient between built environment and active school travel

2.3.1 通学距离与社区层交互结果

结合表 3 和图 4,可以得出建成环境变量对儿童积极通学具有调节效应。以社区公共交通站点数量为例,未交互时,其与积极通学不显著相关,但交互后,通学距离与社区公共交通站点数量的交互项系数在模型中显著为正,图 4 中对应变量颜色由浅色转向深蓝色,结合表 3 中主效应结果,说明随着社区公共交通站点数量密度的增加,通学距离对儿童积极通学的消极影响在减弱,这表示社区公共交通站点数量虽然不会直接影响儿童积极通学,但却能通过调节效应削弱通学距离对积极通学的负效应,即社区公共交通站点数量的增多,通过调节效应促进儿童积极通学。对于社区人口密度而言,未交互时,社区人口密度对儿童积极通学的影响不显著,但交互后,通学距离与社区人口密度的交互项系数在模型中显著为正,结合表 3 中主效应结果,说明随着社区人口密度的增加,通学距离对儿童积极通学的消极影响在减弱,即社区人口密度的增多,能够通过调节效应促进儿童积极通学。大部分研究表明高人口密度能够促进非机动车出行^[32],本文得出了与此类似的结论,人口密度高,对步行、骑行的安全性和氛围都有提升作用,从而促进儿童积极通学。而对于社区商店数量而言,交互后的系数和儿童积极通学呈显著负相关,结合表 3 中的主效应结果可知,随着社区商店数量的增多,通学距离对儿童积极通学的负向影响进一步增强,换言之,社区商店数量的增多,通过调节效应降低了儿童积极通

学的可能性。

2.3.2 通学距离与学校层交互结果

在学校层面,探究建成环境对积极通学的调节效应,发现仅有学校绿色度这一建成环境变量与通学距离交互后对积极通学产生显著影响。通学距离与学校绿色度的交互项系数显著为正,结合表 3 主效应结果,说明学校的绿色度削弱了通学距离对儿童积极通学的负面影响,即较好的绿色度能通过调节效应促进儿童积极通学。

3 结论与讨论

3.1 结论

积极通学是儿童体力活动的重要来源,对儿童身心健康具有重要作用。建成环境对儿童积极通学的影响研究结论混杂,且大多研究对社区和学校建成环境的共同作用和影响差异考虑不足。本文以西安市为案例地,以小学生为研究群体,采用交叉分类多层模型考察了社区和学校建成环境对儿童积极通学的共同影响,主要结论如下。

1)社区和学校的客观建成环境变量均对积极通学产生重要影响,而且社区层次影响程度大于学校层次。儿童积极通学概率 35.91% 的变异可以分解到社区层次的客观建成环境变量,而学校建成环境差异导致了 14.28% 的儿童积极通学决策变异。

2)社区和学校客观建成环境影响儿童积极通学的变量不同。在社区层面,只有绿色度对积

极通学产生显著正效应;在学校层面,公共交通站点数量的增多能够促进儿童积极通学,餐饮店数量增多、土地混合使用提高、十字路口数量增多会降低儿童积极通学的可能性。

3)建成环境能够调节通学距离对儿童积极通学的影响效应。在社区层面,更多的公共交通站点数量和高人口密度能够削弱通学距离对儿童积极通学的负效应,有利于儿童积极通学,而商店数量的增多会加大通学距离的负效应,降低儿童积极通学的可能性;学校层面,提高绿色程度可以降低通学距离对积极通学的抑制作用,促进儿童积极通学。

3.2 讨论

本文得到一些与国外研究不同的结论,在国外的研究中,乘坐公共交通会代替儿童步行或骑行通学。因此,公共交通站点数量越多,儿童乘坐公共交通越便捷,儿童积极通学概率越低。但本文得到的结论是学校周边的公共交通站点数量能直接促进积极通学,社区周边的公共交通站点数量能通过调节作用促进儿童积极通学。这说明,公共交通站点数量的增多并未对步行或骑行起到代替作用,而是起到了一定的促进作用。从中国城市的空间发展看,公共交通建设往往伴随着步行环境的改善,公共交通站点分布多的地区往往步行道的建设也相对完善,有利于促进儿童积极通学。

土地混合使用对儿童积极通学的影响在已有研究中结论相互矛盾。本文得出的结论是较高土地混合使用会降低儿童积极通学的可能性。由于处于制度转型和快速空间重构期,中国城市在土地混合使用方面与西方城市存在显著差异,即城市土地混合使用现象在我国城市中更加普遍,而学校周边用地类型增多会吸引更多需求的人前往,因此会提高学校周边交通流量,带来安全隐患,从而降低儿童积极通学的可能性。

本文研究结论对于制定促进儿童积极通学的相关公共政策干预和空间调整策略有一定启示和参考。首先,本文发现社区和学校的建成环境均会对儿童积极通学产生影响,且影响积极通学的建成环境变量具有差异。因此,在对建成环境进行精准调整时,不能仅局限于居住社区,需要同时考虑学校和社区建成环境。并且需要区分社区和学校不同建成环境变量作用的差异性,在不同地点选择有效的建成环境变量进行干预。以十字路

口数量为例,学校周边的十字路口数量对儿童积极通学具有显著负效应,但社区周边十字路口数量与儿童积极通学无显著相关性。结合产生负效应的原因,在实践中更应当注意通学期间学校周边十字路口处的安全性,如采用控制交通流量、在十字路口处安排专职人员护送儿童等措施。其次,本文还发现客观建成环境调节了通学距离对积极通学的影响效应。这表明,虽然作为影响儿童积极通学的最重要因素,通学距离很难调节,但在通学距离固定的情况下,仍然可以通过改善建成环境促进儿童积极通学,这拓展了建成环境对儿童积极通学的作用路径。如社区周边绿色度可以直接促进儿童积极通学,但学校周边绿色度也可以通过调节效应促进儿童积极通学,在实践中,无论是社区周边还是学校周边的绿色度,都应予以重视。

本研究也存在一些不足。首先,本研究主要是基于截面数据的研究,基于调查数据的限制,未做到纵向研究,难以总结建成环境与通学方式之间的因果关系;其次未考虑建成环境对儿童积极通学的尺度效应和分区效应,即可修改面积单元问题(modifiable areal unit problem, MAUP),在未来的研究中会进一步完善。

参考文献

- [1] World Health Organization. Report of the committee on ending childhood obesity[R]. Geneva: WHO, 2016.
- [2] World Health Organization. Obesity and overweight[EB/OL]. (2021-05-09)[2023-04-21]. <https://www.who.int/zh/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>.
- [3] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 中国居民营养与慢性病状况报告(2020年)[EB/OL]. (2020-12-23)[2023-04-21]. https://www.gov.cn/xinwen/2020-12/24/content_5572983.htm?eqid=ed49bc4e0004423700000003646f196a.
- [4] GUTHOLD R, STEVENS G A, RILEY L M, et al. Global trends in insufficient physical activity among adolescents: A pooled analysis of 298 population-based surveys with 1.6 million participants[J]. The Lancet Child & Adolescent Health, 2020, 4(1): 23-35.
- [5] ORTEGA F B, CADENAS-SÁNCHEZ C, DELGADO G, et al. Systematic review and proposal of a field-based physical fitness-test battery in preschool children: The prefit battery[J]. Sports Medicine, 2015, 45(4): 533-555.

- [6] CHEN P J. Physical activity, physical fitness, and body mass index in the Chinese child and adolescent populations: An update from the 2016 physical activity and fitness in China [J]. *Journal of Sport and Health Science*, 2017, 6(4): 381-383.
- [7] FAULKNER G E, 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.
- [8] KEK C C, BENGOCHEA E G, SPENCE J C, et al. The relationship between transport-to-school habits and physical activity in a sample of New Zealand adolescents [J]. *Journal of Sport and Health Science*, 2019, 8(5): 463-470.
- [9] 刘吉祥,肖龙珠,周江评,等. 建成环境与青少年步行通学的非线性关系: 基于极限梯度提升模型的研究 [J]. *地理科学进展* 2022, 41(2): 251-263.
LIU J X, XIAO L Z, ZHOU J P, et al. Non-linear relationships between the built environment and walking to school: Applying extreme gradient boosting method [J]. *Progress in Geography*, 2022, 41(2): 251-263.
- [10] 路改改,殷江滨,黄晓燕. 城市建成环境对儿童体力活动的影响研究: 以西安市为例 [J]. *上海城市规划*, 2020(5): 1-7.
LU G G, YIN J B, HUANG X Y. Associations of urban built environment with physical activity of children: A case study of Xi'an [J]. *Shanghai Urban Planning Review*, 2020(5): 1-7.
- [11] VAN SLUIJS E M F, EKELUND U, CROCHEMORE-SILVA I, et al. Physical activity behaviours in adolescence: Current evidence and opportunities for intervention [J]. *Lancet*, 2021, 398(10298): 429-442.
- [12] 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.
- [13] FULTON J E, SHISLER J L, YORE M M, et al. Active transportation to school: Findings from a national survey [J]. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 2005, 76(3): 352-357.
- [14] ITO K, REARDON T G, ARCAYA M C, et al. Built environment and walking to school findings from a student travel behavior survey in Massachusetts [J]. *Transportation Research Record*, 2017, 2666(1): 78-84.
- [15] SUN G B, HAN X L, SUN S H, et al. Living in school catchment neighborhoods: Perceived built environments and active commuting behaviors of children in China [J]. *Journal of Transport & Health*, 2018, 8: 251-261.
- [16] MCDONALD N C. Active transportation to school: Trends among U. S. schoolchildren, 1969—2001 [J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2007, 32(6): 509-516.
- [17] TIMPERIO A, CRAWFORD D, TELFORD A, et al. Perceptions about local neighborhood and walking and cycling among children [J]. *Preventive Medicine*, 2004, 38(1): 39-47.
- [18] CURTIS C, BABB C, OLARU D. Built environment and children's travel to school [J]. *Transport Policy*, 2015, 42: 21-33.
- [19] QUERALT A, MOLINA-GARCIA J. Physical activity and active commuting in relation to objectively measured built-environment attributes among adolescents [J]. *Journal of Physical Activity and Health*, 2019, 16(5): 371-374.
- [20] 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.
- [21] BRAZA M, SHOEMAKER W, SEELEY A. Neighborhood design and rates of walking and biking to elementary school in 34 California communities [J]. *American Journal of Health Promotion*, 2004, 19(2): 128-136.
- [22] FRANK L, KERR J, CHAPMAN J, et al. Urban form relationships with walk trip frequency and distance among youth [J]. *American Journal of Health Promotion*, 2007, 21(4): 305-311.
- [23] EWING R, SCHROEER W, GREENE W. School location and student travel analysis of factors affecting mode choice [J]. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2004, 1895(1): 55-63.
- [24] 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.
- [25] ULFARSSON G F, SHANKAR V N. Children's travel to school: Discrete choice modeling of correlated motorized and nonmotorized transportation modes using covariance heterogeneity [J]. *Environment and Planning*, 2008, 35(2): 195-206.
- [26] MCMILLAN T E. The relative influence of urban form on a child's travel mode to school [J]. *Transportation*

Research, 2007, 41(1):69-79.

[27] DEWEESE R S, YEDIDIA M J, TULLOCH D L, et al. Neighborhood perceptions and active school commuting in low-income cities[J]. American Journal of Preventive Medicine, 2013, 45(4):393-400.

[28] 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, 2017,134(3):30-36.

HE L L, LIN L. 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.

[29] 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.

[30] MONIRUZZAMAN M, PAEZ A, HABIB K M N, et al. Mode use and trip length of seniors in Montreal[J]. Journal of Transport Geography, 2013, 30: 89-99.

[31] COHEN J. Statistical power analysis for the behavioral sciences[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 1990,14(1):71.

[32] 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.

(编辑 李波)