

基于多出行模式两步移动搜索法的 东莞市小学空间可达性研究

郑奎娟^{1,2,3}, 肖童^{2,3,4}, 刘晔^{2,3*}, 覃茹婧², 柴力行², 姚江春⁴

(1. 韩山师范学院地理科学与旅游学院, 广东 潮州 521041; 2. 中山大学地理科学与规划学院, 广州 510006;
3. 广东省城市化与地理环境空间模拟重点实验室, 广州 510006; 4. 广州市城市规划勘测设计研究院, 广州 510060)

摘要:教育资源可达性的精准评估是衡量教育资源配置合理性的基础和前提,也是推进公共教育均等化的重要途径。针对前人在教育资源可达性研究中对设施综合服务能力研究不足和交通模式单一等问题,论文以东莞为例,结合多源数据、综合服务能力和多出行模式改进两步移动搜索法,测度东莞市小学空间可达性,并评价其公平性。研究发现:① 东莞市小学可达性呈现西高东低的空间特征,高可达性的格网主要在中心城区4个街道及虎门镇、厚街镇等;低可达性的格网主要在水乡地区、大岭山和银瓶山等地形复杂地区。② 从公平性视角看,东莞市域和91.18%的镇街小学空间分配处于绝对公平水平,茶山镇、东坑镇公平性最高,麻涌镇、松山湖高新区、虎门镇公平性最低。③ 学龄人口规模、人均GDP和教育经费支出是东莞市小学空间可达性的主要影响因素。研究可为实现东莞市教育资源的空间优化配置和构建更公平的教育发展新格局提供决策参考。

关键词:小学教育资源;可达性;两步移动搜索法;综合服务能力;多出行模式;东莞市

教育公平是实现社会公平的内在需求和基本保障^[1-2],也是满足人民日益增长的美好生活的需要。党的二十大报告提出“促进教育公平,加快义务教育优质均衡发展”;《中华人民共和国国民经济和社会发展规划第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》提出,“要巩固义务教育基本均衡成果,推动义务教育优质均衡发展和城乡一体化”。基本公共教育资源的空间布局直接关系到公共教育服务的均等化,教育优质均衡发展对实现高质量发展和社会公平正义具有重要的意义。尽管已有研究运用两步移动搜索法技术,开展中国大城市教育资源的可达性分析,但前人大多在行政村、社区、镇街等地理尺度上开展分析,采用单一指标(如学位数)评价教育资源的供给水平,且只考虑某种出行方式

(如步行)的情景,分析结果与现实存在着较大的偏差。因此,有必要对已有的两步移动搜索法进行改进,更准确地评价城市教育资源的可达性水平,为实现教育资源的空间优化配置和构建更公平的教育发展新格局提供决策参考。

随着教育地理学的兴起,越来越多学者运用地理学的理论与方法开展教育公平性和教育资源优化配置的研究。国内外地理学者大多关注教育资源的分布格局及其影响机制^[3-4]、教育设施的空间规划选址^[5-6]、教育资源可达性评价^[7]、学区划分^[8]等话题。其中,空间可达性评价方法是衡量教育空间公平性的常用手段^[9-10]。可达性最早由Hansen^[11]提出,主要用于衡量从需求点到目标点的相对便捷程度,关注供给和需求的分布及空间匹配

收稿日期:2023-02-10;修订日期:2023-06-04。

基金项目:国家自然科学基金重点项目(41930646);国家自然科学基金面上项目(42171196)。[Foundation: Key Project of the National Natural Science Foundation of China, No. 41930646; General Project of the National Natural Science Foundation of China, No. 42171196.]

第一作者简介:郑奎娟(1983—),女,广东潮州人,讲师,主要从事教育地理研究。E-mail: achiuang@hstc.edu.cn

*通信作者简介:刘晔(1986—),男,广东广州人,教授,博士生导师,主要从事城市人居环境与居民健康福祉、城市化与人口流动、人才流动的研究。E-mail: liuye25@mail.sysu.edu.cn

引用格式:郑奎娟,肖童,刘晔,等. 基于多出行模式两步移动搜索法的东莞市小学空间可达性研究[J]. 地理科学进展, 2023, 42(7): 1341-1354. [Zheng Luanjuan, Xiao Tong, Liu Ye, et al. Using multiple travel mode two-step floating catchment area (2SFCA) approach to measure the spatial accessibility of primary schools in Dongguan City, China. Progress in Geography, 2023, 42(7): 1341-1354.]
DOI: 10.18306/dlkxjz.2023.07.009

程度^[12]。教育资源空间可达性的研究方法主要有比例模型^[13]、最短距离法^[14]、等值线法^[15]、网络分析法^[16]、引力模型^[17]、两步移动搜索法及其各种改进模型^[18]等等。其中,引力模型和两步移动搜索法可以综合考虑供给和需求双方条件、空间阻抗、交通模式等因素,能较客观地进行可达性评估,是目前公共服务设施可达性分析最为成熟的2种方法^[19]。引力模型又称潜能模型或重力模型,该模型以区域中的所有供给点与需求点相互产生的势能总和来反映点与点间的可达性水平。有学者在引力模型的基础上,评估中小学的可达性水平^[17,20]。

与引力模型相比,两步移动搜索法(two-step floating catchment area model, 2SFCA)用供需比的形式直观表现出获得服务的机会累计值来衡量其可达性,可以更好地识别出可达性低值区,可实现性强,对现实的模拟更具参考价值^[21-22]。为使研究结果更符合实际,许多学者在传统两步移动搜索法的基础上进行改进^[9],通过引入距离衰减函数、调整搜索半径、引入竞争因素和考虑多出行模式等措施提升可达性的评估水平^[23-24]。21世纪以来,国内外不少学者将改进后的两步移动搜索法引入教育资源的空间可达性研究,评价某区域范围内居民获得教育资源的便捷程度,研究不断深入,但仍存在一定局限性。首先,对教育需求人口的统计空间尺度的确定,多数学者使用行政村、街区、大尺度格网的人口数据^[18,25-26],尺度较大,少数学者以居住小区、建筑物等相对精细的空间尺度统计需求人口^[27-29],但不同小区和建筑物存在形态不规则与尺度差异,且人口数据获取繁琐、精准度有限。也有学者利用学籍信息获取学生居住精准空间位置,但仍以行政村作为结果统计基本单元,可达性评估不够精细^[30]。其次,对教育资源服务能力的评估,多数学者采用学位数、专任教师数等单一指标评价教育资源的服 务能力^[26-28,30],但学校的服务能力是多种指标和因素综合作用的结果,不同等级服务能力影响可达性的客观评价。部分学者引入多指标评估学校的服务能力,但指标数量较少,且没有结合当地居民的需求与偏好对各项指标进行赋权,从而难以准确地评价学校的实际综合服务能力^[18,23]。再者,现有研究多以单一出行方式或固定的搜索距离研究教育

资源可达性^[27-28],忽视了出行方式选择的多样性,以及由不同出行方式产生的服务范围的灵活性。实际上,学生出行行为是家庭多成员多因素综合考虑下的决策,不同群体对通学出行方式的选择存在差异^[23],且对不同出行方式的时间长度接受不同,从而影响学校的空间服务范围以及对可达性的评估结果。

为弥补上述研究不足,本文选取东莞市为研究案例地,以200 m×200 m的细粒度格网为分析单元,构建考虑小学综合服务能力和多出行模式情景的两步移动搜索法模型,结合东莞市的实有人口数据、人口普查数据、学校服务能力数据和学生出行调查数据,测度东莞市小学空间可达性状况并揭示其空间分异格局。本文试图回答以下问题:东莞市小学可达性水平存在何种空间差异特征,东莞市及其下辖各镇街小学的分布公平性水平如何,影响东莞市小学空间可达性的因素有哪些?

1 研究区域、数据与方法

1.1 研究区域

东莞市位于广州与深圳之间,综合经济实力位居国内百强城市前列,是新一线城市。1988年东莞市升格为地级市,下辖中心城区4个街道、28个镇以及松山湖高新区,成为中国仅有的4座不设区县的城市之一。2017年市委、市政府为促进区域间要素资源的自由流动和优化配置,推动统筹区域联动协调发展,将全市划分为6大片区,分别是城区片区、松山湖片区、滨海片区、水乡新城片区、东部产业园片区、东南临深片区^①。根据第七次人口普查(简称“七普”)和《东莞市统计年鉴2021》,至2020年末东莞市常住人口为1046万人,常住人口城镇化率达到92.2%。东莞路网整体趋于均衡发展,公路网密度约259.69 km/100 km²,居全省前列,农村路网同样密度较高。2019年全市有486所小学,在校小学生人数84万多人,非本市户籍学生超过80%,保障外来人口随迁子女享有平等教育资源是东莞市义务教育发展的重要任务。2020年东莞市政府通过了《东莞市教育扩容提质千日攻坚行动计划(2020—2022年)》,计划2022年完成义务教育阶段

① 城区片区包括南城、莞城、东城、万江4个街道和高埗镇、石碣镇;滨海片区包括长安镇、虎门镇、沙田镇和厚街镇;松山湖片区包括松山湖高新区(东莞生态产业园区)、茶山镇、寮步镇、大朗镇、大岭山镇、石龙镇、石排镇;水乡新城片区包括麻涌镇、中堂镇、望牛墩镇、洪梅镇、道滘镇;东部产业园片区包括常平镇、谢岗镇、东坑镇、桥头镇、企石镇、横沥镇、黄江镇;东南临深片区包括塘厦镇、清溪镇、凤岗镇、樟木头镇。

学校建设项目104个,增加学位12.74万个。东莞市教育扩容提质建设攻坚时期,急需对城市现有教育资源布局情况有更科学合理的研究,指导新时期学校的规划布局以及学区的划分。

1.2 数据来源

(1) 人口数据。数据来自东莞市公安局2018年一标三实的实有人口数据和七普数据。七普数据空间粒度粗,只到镇街级别,但学龄人口数量准确度高;一标三实的实有人口记录每个登记人口的经纬度,可以精准定位人口空间位置,粒度细致到格网级别,但学龄人口数量存在偏差。两套人口数据相互校验使人口数据更具时效性、准确性。具体做法是以一标三实的实有人口数据为基础,计算每个200 m×200 m格网小学学龄人口的占比,将七普数据的小小学龄人口数按比例分配到每个格网,得到七普的小小学龄人口格网数据,最终生成25651个人口数非零的格网作为可达性分析的需求单元。根据已有研究,40 m和50 m、100 m、400 m分别是社区(村)、县区、省域的人口空间数据适宜格网尺度^[31-33],其中40~200 m能较准确地揭示研究区局部区域的人口分布差异,是空间关系表达效果较好的格网尺度^[31]。为保证格网尺度的精细度,减少数据冗余且提高计算效率,本文使用200 m的格网作为东莞市小学空间可达性的基本分析单元。细粒度格网人口数据有利于减小形状不规则产生的计算误差,尤其对农村地域人口密度相对较低的地方,有利于提高两步移动搜索法空间可达性的计算精度^[34]。

(2) 路网数据。数据来自东莞市自然资源局,包括道路类型、级别、长度等数据。结合《城市道路交通规划设计规范(GB 50220—95)》以及东莞市小学上下学时间段实际交通状况,对各级道路不同交通方式的速度进行赋值(表1),利用ArcGIS进行空间分析时,各级道路所有交通方式的速度单位均转化为“m/min”。

(3) 设施数据。包括小学的位置点空间数据及服务能力数据,小学位置点通过百度地图坐标拾取器爬取各小学的坐标数据,利用ArcGIS 10.2处理成矢量点数据。小学服务能力数据来自东莞市教育局的2018—2019年度的教育统计报表,包括东莞

表1 各等级道路不同出行方式的通行速度

Tab.1 Traffic speed for different travel modes on various levels of roads

道路类型	小汽车/ (km/h)	公共汽车 ^② / (km/h)	骑行/ (m/min)	步行/ (m/min)
快速路	50	35	300	80
主干路	40	25	300	80
次干路	30	15	300	80
支路	20	10	300	80
其他路	10	0	300	80

市义务教育阶段学校的学生规模、师资条件和硬件设施等相关基本信息。

(4) 学生通学出行行为与择校行为调查数据。研究团队于2021年12月在东莞市开展有关学龄儿童通学行为及择校因素的问卷调查,问卷内容涵盖小学生上下学的交通方式、出行时间、出行距离、家庭接受的上学极限时长和极限距离以及择校因素等。问卷由所调查学校教师发放给学生家长进行填写,最终回收问卷813份,其中有效问卷755份。

1.3 研究方法

1.3.1 学校综合服务能力 S_j

教育优质均衡的配置水平与学校服务能力的评估,需要综合多项教育指标来衡量。《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》要求“推进义务教育均衡发展……均衡配置教师、设备、图书、校舍等资源”。参考已有文献^[35-36],并考虑数据的可获得性,选取了3大类别(师资条件、学校容量和硬件设施)9项指标(专任教师数、一级及以上职称教师数、本科及以上学历教师数、用地面积、班数、在校生数量、图书数量、计算机数量、校舍面积)对学校服务能力进行综合评价。

文章利用熵值法确定9大指标的客观权重,再根据问卷调查对择校因素的调查结果运用AHP层次分析法测算3大类别的主观权重,最终确定主客观综合权重测算学校综合服务能力 S_j 。首先,对9项评价指标进行归一化无量纲处理,采用式(1)对第 j 所小学的第 i 项指标无量纲化:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}}{\max\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\} - \min\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}} + 0.0001 \quad (1)$$

② 公共汽车的平均行车速度往往低于小汽车。根据2020年东莞市政府发布的《东莞市交通发展白皮书》,东莞市高峰期道路公交平均运行速度在25 km/h以上。公交行驶速度设置以白皮书报告的平均速度为基础,根据不同级别道路进行赋值。主干道及以上等级的道路速度设置等于或高于平均速度;次干道、支路受停靠站、高峰时段交通拥堵,以及非机动车、行人的干扰会逐渐增大,道路速度依次降低;支路以下的其他路基本不通公交,速度设为0。

式中: x_{ij}' 指第 j 所学校的第 i 项指标标准化后的数值; x_{nj} 指第 j 所学校的第 n 项指标的原始数值。

其次,通过熵值法确定各评价指标的客观权重 q_i ;再次,根据问卷调查中东莞市小学生家长对师资条件 γ_1 、学校容量 γ_2 和硬件设施 γ_3 等3个影响学校资源的因素重要性的主观认知,运用AHP层次分析法测算3大类别的主观权重 γ_θ ,得到 $\gamma_1=0.4231$ 、 $\gamma_2=0.2576$ 、 $\gamma_3=0.3193$,通过一致性检验。为解决主观权重存在的主观随意性以及客观权重缺少考虑决策人主观意向的问题,将主、客观权重向量有机结合起来,借鉴马国顺等^[37]的主客观权重综合法,利用公式(2)计算第 i 项指标的主客观综合权重 w_i ,结果如表2。根据综合权重,利用式(3)计算小学服务能力。

$$w_i = \gamma_\theta q_i / \sum_{i=1}^n \gamma_\theta q_i \quad (2)$$

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i x_{ij}' \quad (3)$$

式中: S_j 指第 j 所小学的综合服务能力。

1.3.2 多出行模式 M 及时间阈值 t_0 的设置

问卷调查结果显示,东莞市小学生上学出行方式呈现多样化,主要用步行、骑行、小汽车、公共交通等方式上学,根据不同出行方式将学生分成4个组别的人口。不同出行方式居民愿意付出的极限时间存在差异。根据已有研究,小学生通学理想的出行时间是15 min左右,能够忍受的最大出行时间是30 min,步行与骑行等非机动出行方式受学生与接送者的生理性制约,出行极限时间相对较短^[38]。另外,结合《城市公共服务设施规划标准》

(GB50442)及学龄儿童通学家庭出行行为调查的统计结果^③,对不同出行方式设置不同的搜索时间阈值(表3)。

1.3.3 基于综合服务能力多出行模式的两步移动搜索法

综合服务能力多出行模式两步移动搜索法的计算步骤如下:

第一步,以每所小学为供给点 j ,以学生前往学校的不同出行方式的路网极限时间阈值 t_0 为半径建立学校 j 搜索域,汇总每种出行方式学校 j 搜索域范围内所有的人口数,利用高斯函数的距离衰减规律进行加权,对每种出行方式加权后的人口进行加和汇总,计算学校 j 的教育服务供需比 R_j :

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{m \in M} \sum_{v \in \{t_{vj,m} \leq t_{0,m}\}} (P_{v,m} \times G_{t_{vj,m}, t_{0,m}})} \quad (4)$$

式中: M 表示学生通学的4种出行方式,即步行、骑行、小汽车、公共交通, m 为其中某一种出行方式; $P_{v,m}$ 表示格网居民点 v 使用出行模式 m 到达小学的学龄人口数量; $t_{vj,m}$ 表示搜索半径内使用出行模

表3 东莞市小学生通学4种出行模式的人口比重与搜索半径

Tab.3 The share and search radius of four travel modes for primary school students in Dongguan City

指标	出行模式			
	步行	骑行	小汽车	公共交通
人口比重/%	24.9	25.8	38.6	10.7
搜索半径 t_0 (最大值)/min	15	15	25	25

表2 东莞市小学服务能力权重

Tab.2 Weighting of primary school service capacity in Dongguan City

类别	变量	指标	客观权重	主观权重	综合权重
师资条件	x_1	专任教师数(人)	0.0729	0.4231	0.0873
	x_2	一级以上职称教师数(人)	0.3038	0.4231	0.3639
	x_3	本科及以上学历教师数(人)	0.0843	0.4231	0.1009
学校容量	x_4	用地面积(m^2)	0.0859	0.2576	0.0627
	x_5	班数(个)	0.0659	0.2576	0.0481
	x_6	在校生数量(人)	0.0735	0.2576	0.0536
硬件设施	x_7	图书数量(册)	0.0596	0.3193	0.0538
	x_8	计算机数量(台)	0.1040	0.3193	0.0940
	x_9	校舍面积(m^2)	0.1501	0.3193	0.1357

③ 搜索半径的最大时间阈值的设置是以研究团队在东莞开展的学龄儿童通学行为调查结果为依据。步行方式有96%的居民接受10~20 min,其中接受15 min的居民达56.7%;骑行方式有81.5%的居民接受5~20 min,其中接受15 min的居民达50.5%;小汽车有86.9%的居民能接受10~30 min,其中接受25 min的居民达45.4%;公共交通有74.5%的居民能接受10~30 min,其中接受25 min的居民达42.9%。

式 m 从居民点 v 到学校 j 的出行时间, $t_{0,m}$ 表示出行模式 m 的搜索半径; $G_{t_{vj,m}, t_{0,m}}$ 表示使用出行模式 m 从居民点 v 到学校 j 的距离阻抗, 文中采用高斯距离衰减函数, 计算公式如下:

$$G_{t_{vj,m}, t_{0,m}} = \begin{cases} \frac{e^{-\frac{1}{2} \times (t_{vj,m}/t_{0,m})^2} - e^{-\frac{1}{2}}}{1 - e^{-\frac{1}{2}}} & (t_{vj,m} \leq t_{0,m}) \\ 0 & (t_{vj,m} > t_{0,m}) \end{cases} \quad (5)$$

根据已有研究, 居民在一定范围内对教育服务设施的访问会随距离增加先缓慢下降, 随着不断远离起始点, 衰减速率会加速变快。高斯函数类似正态分布曲线, 能更好地模拟现实中的衰减情况^[28]。

第二步, 以东莞市任一格网居民点 v 为需求点, 以学生前往学校的某一出行方式 m 的路网极限时间阈值 t_0 为半径, 建立居民点 v 的搜索域, 查找所有搜索域内学校 j , 将这些学校的供需比 R_j 在高斯衰减函数的基础上进行汇总求和, 得到居民点 v 的基于时间成本到达学校的供需比之和, 即基于某一出行方式 m 的居民点 v 的教育可达性 $A_{v,m}$, 最后将所有出行方式的可达性进行加和, 得到综合可达性 A_v :

$$A_{v,m} = \sum_{j \in \{t_{vj,m} \leq t_{0,m}\}} \frac{P_{v,m}}{\sum_{m \in M} P_{v,m}} \times R_j \times G_{t_{vj,m}, t_{0,m}} \quad (6)$$

$$A_v = \sum_{m \in M} A_{v,m} \quad (7)$$

式中: A_v 是居民点 v 的教育可达性, 其数值越大, 表示该居民点的教育可达性水平越高。

1.3.4 基尼指数

基尼指数是国际上综合考察居民内部收入分配差异状况的重要分析指标, 并逐渐发展成为衡量社会公平的评价指标, 近年来使用基尼指数测度教育资源分配公平性的研究不断增加^[23,39]。本文利用基尼指数构建教育资源公平性评价模型^[40], 分别对全市、各片区、各镇街内的小学空间可达性的公平性情况进行测度, 并进行可视化分析。教育公平性评价的基尼指数计算公式如下:

$$GI = 1 - \sum_{k=1}^n (h_k - h_{k-1})(y_k + y_{k-1}) \quad (8)$$

$$y_k = \frac{\sum_{v=1}^k A_v P_v}{\sum_{v=1}^n A_v P_v} \quad (9)$$

式中: GI 指地理空间单元(全市、片区或镇街)的小

学教育公平性指数, 即基尼指数; n 为研究地理空间单元内的格网居民点总数; k 为居民点排列数, 按照小学教育可达性从小到大进行排序后的第 k 个格网, $k=1, 2, \dots, n$; h_k 为居民点 1 到 k 的学龄人口累积比例; y_k 是从居民点 1 到 k 的小学教育可达性与学龄人口乘积的累积比例; P_v 是居民点 v 的人口数。根据基尼指数国际上的解释, $GI \leq 0.2$ 表示教育资源空间分配绝对公平, $0.2 < GI \leq 0.3$ 表示教育资源空间分配比较公平; $0.3 < GI \leq 0.4$ 表示教育资源空间分配相对合理; $0.4 < GI \leq 0.5$ 表示教育资源空间分配差距较大; $GI > 0.5$ 表示教育资源空间分配差距悬殊。

1.3.5 空间回归分析

拉格朗日乘数检验、LM-Error 和 LM-Lag 的检验结果均显著, 表明所选取的社会经济条件与小学可达性的数据存在较强的空间关系, 空间回归模型的结果较普通最小二乘法(OLS)回归模型的结果更优。基于空间滞后模型和空间误差模型检验结果的比较, 空间误差模型 LogLikelihood(-90585.765)、 $R^2(0.936)$ 均较空间滞后模型的 LogLikelihood(-94734.8)、 $R^2(0.901)$ 大, 空间误差模型的 AIC(181184)、SC(181232) 均较空间滞后模型的 AIC(189484)、SC(189541) 小。相较而言, 空间误差模型具有更好的解释作用, 拟合效果更好, 更适用于本文研究。空间误差模型是考虑周边区域解释变量对研究区域解释变量的影响, 模型公式如下:

$$A_v = X\beta + \varepsilon \quad (10)$$

$$\varepsilon = \lambda W\varepsilon + \mu \quad (11)$$

式中: A_v 是因变量, 代表居民点格网 v 的教育可达性; X 是解释变量组成的矩阵; β 是解释变量 X 的系数, 反映解释变量对因变量的影响; μ 是空间自相关误差项; W 是空间权重; λ 是空间相关误差参数; ε 是随机误差项。

本文采用空间误差模型进行分析, 将教育可达性作为因变量。模型的自变量选取参考已有公共服务设施和教育资源相关研究的机制分析, 义务教育资源空间配置与常住人口、城市经济水平、产业结构、教育投入、道路交通等因素有关^[41-43]。结合东莞市以及本文研究的具体情况, 从教育需求者、教育投入经济能力等视角出发, 选取常住人口、学龄人口、人均 GDP、财政支出、教育经费等 5 个社会经

济条件作为自变量^④,探索东莞市小学空间可达性的影响因素。

2 东莞市小学学龄人口和学校的空间分布特征

2.1 学龄人口空间分布特征

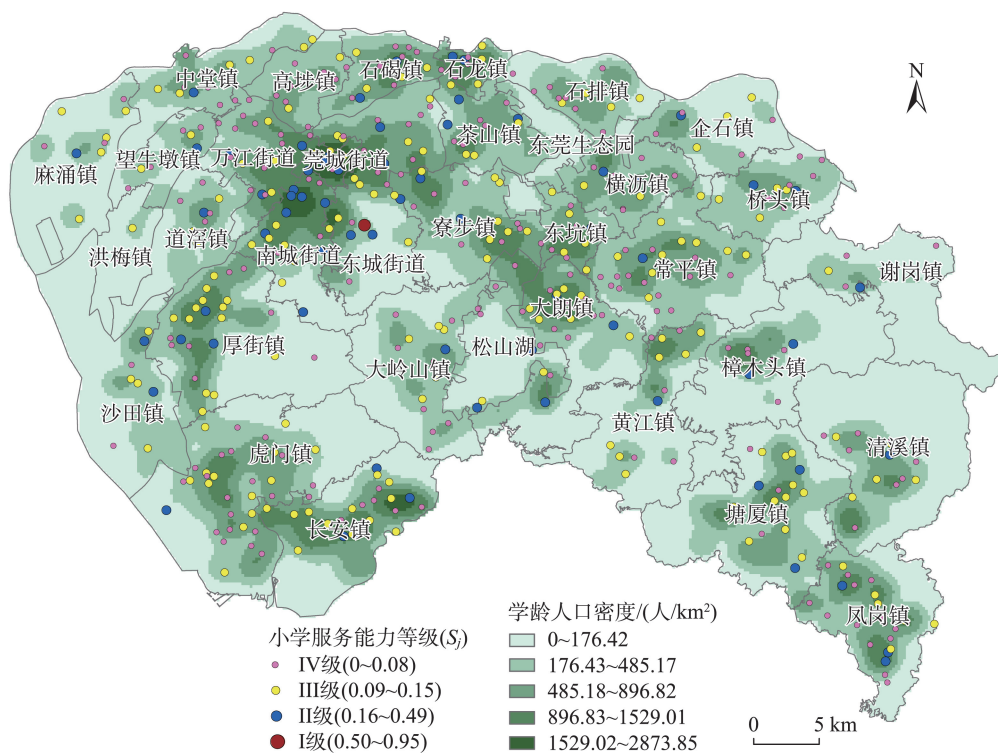
统计各格网居民点的小学学龄人口数,以反映东莞市小学教育资源的需求规模。如图1,东莞市小学学龄人口密度分布呈现一主多副的空间格局。密度较高的区域主要集中在中北部地区,以城区片区的东城、莞城、南城、万江4个街道的学龄人口最为集中,形成学龄人口的核心聚集区;滨海片区的长安镇、东南临深片区的凤岗镇、松山湖片区的石龙镇和大朗镇等出现学龄人口次级散点副中心。水乡新城片区的麻涌镇、洪梅镇、望牛墩镇,东南临深片区的银瓶山周边清溪镇、樟木头镇等,以

及松山湖片区和滨海片区交界处大岭山四周相邻镇街地区学龄人口相对稀疏。

总体上,东莞市域学龄人口密度以中心城区为主核心区向外呈距离衰减,镇域学龄人口密度较低,但在各镇中心多出现学龄人口集聚点。人口稀疏区域多为水域、山地等地形复杂的地区。

2.2 小学服务能力结构特征

基于小学服务能力因子 S_j 的测算结果,将各小学服务能力按自然断点法分为4个等级,由高到低依次为I、II、III、IV,并整理得到东莞市各镇街小学服务能力总和(图1)。学校服务能力4个等级的学校数量总体差异明显,I、II、III、IV级的学校数量分别为1、67、182、236所,呈金字塔结构,III、IV级学校占总数的86.01%。东莞小学分布格局与人口分布格局基本一致,I、II级学校主要集中在人口密度高的中心城区。服务能力最强与最弱的学校分别是东华小学(0.9470)和石龙镇青少年业余体育学校



注:底图源自东莞市自然资源局提供的第三次全国国土调查的东莞市镇街边界图,底图无修改。下同。

图1 东莞市小学学龄人口密度与学校服务能力的空间差异

Fig.1 Spatial variation of primary school-aged population density and service capability of primary schools in Dongguan City

④ 常住人口和学龄人口数据是由七普获得镇街尺度数据,并以一标三实实有人口的格网尺度数据为基础,将七普数据换算进格网,取得格网尺度的常住人口和学龄人口数据。人均GDP、财政支出、教育经费数据是由《2021 东莞市统计年鉴》和东莞市政府官网获得镇街尺度数据,考虑人均GDP镇街内部的均质性,及财政支出与教育经费在镇街内的教育投入强度基本一致,在空间回归分析中这3个数据采用镇街尺度。

(0.0046),前者是后者的205.87倍,差异非常大。小学服务能力总和最高的镇街为东城街道(2.89),最低的为洪梅镇(0.22),前者是后者的13.14倍。东城街道、虎门镇、长安镇、厚街镇、南城街道5个镇的服务能力最高,占全市总服务能力的31.20%,这些镇的学校整体以Ⅲ级为主,且Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级学校较为齐全,全市唯一一所Ⅰ级学校(东华小学)位于东城街道,各级学校比例较均衡;服务能力最弱的5个镇是洪梅镇、谢岗镇、望牛墩镇、企石镇、高埗镇,其服务能力总和仅占全市总服务能力的5.98%,这些镇学校数量少,且超过60%的学校的服务能力为Ⅳ级。

3 东莞市小学空间可达性与公平性分析

3.1 小学空间可达性水平的空间差异

计算东莞市全域范围内的小学可达性得分,利用自然断点法将各格网可达性得分划分为5个等级(图2),并计算各镇街小学空间可达性的均值、标准差和极值(图3)。东莞市小学空间可达性水平整体上呈现西高东低,且可达性由高值区由向四周随距离衰减。可达性最高(1.10~1.71)和较高(0.82~1.09)的区域居民格网数量少,仅占总数的8.72%,主要集

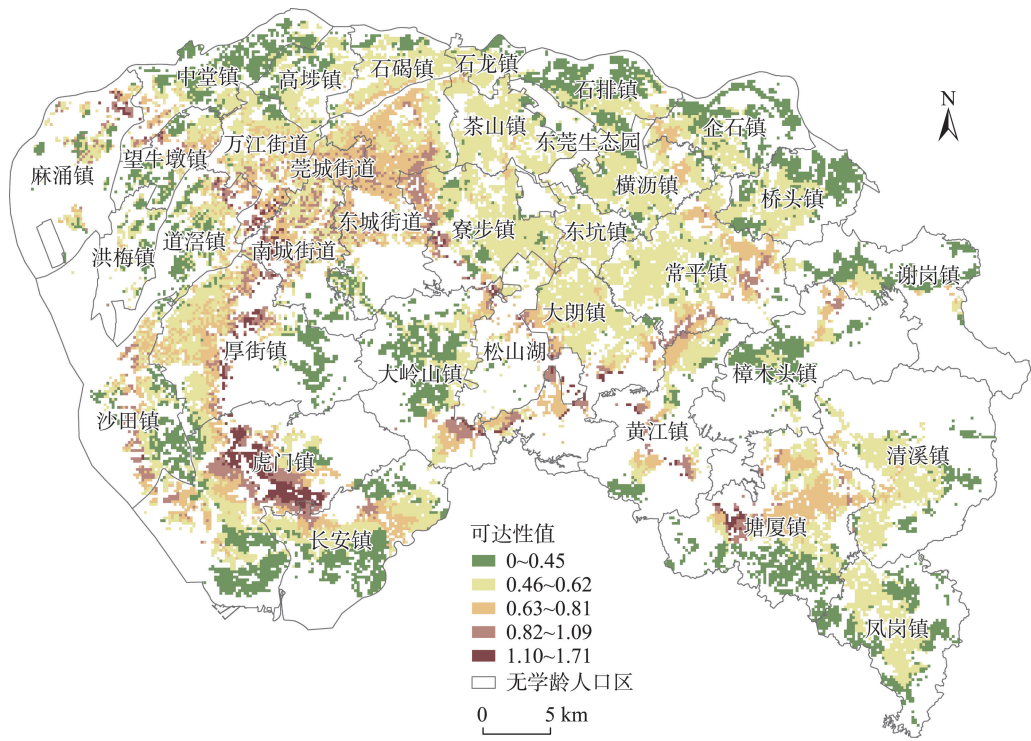


图2 基于综合服务能力多出行模式两步移动搜索法的东莞市小学空间可达性分布
Fig.2 Spatial variation of accessibility of primary schools in Dongguan City by comprehensive service capability and multi-model 2SFCA method

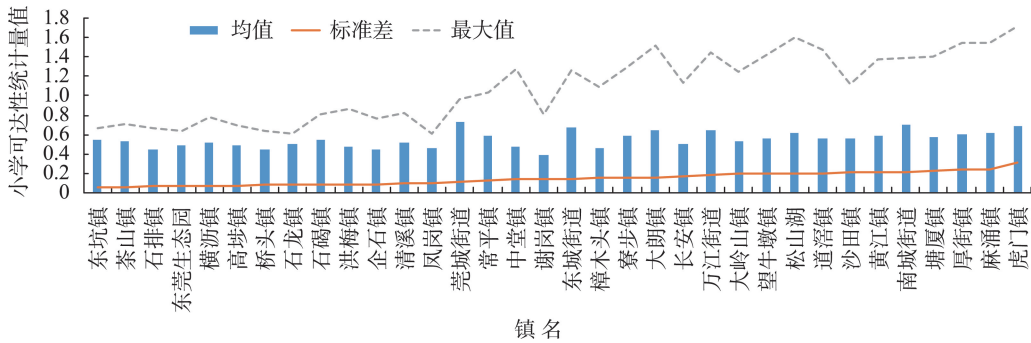


图3 东莞市小学空间可达性值基本统计量
Fig.3 Basic statistics of accessibility of primary schools in Dongguan City

中在城区片区4个街道和滨海片区的虎门镇、厚街镇,呈S形带状分布。其中,可达性得分最高的格网位于虎门镇(1.7098),均值最大的镇街是莞城街道(0.7255)。该区域经济发达,政府财政的教育投入能力强,且地势平坦开阔,道路等级高、路网密度高且通达性好,小学教育资源供给能力强。另外,还有部分区域(望牛墩镇、麻涌镇、大岭山镇、黄江镇等)尽管学校数量较少且服务能力等级较低,但由于学龄人口数量少且周边地区有服务等级较高的学校,因此存在可达性得分较高的格网。

可达性等级较低(0.46~0.62)的格网占总数的47.32%,在地形复杂区域以外地区均有分布,特别是松山湖片区北部和东部产业园片区中北部的镇有大面积成片分布,所在镇街的可达性最大值与均值都偏低,这些地区地势平坦,人口分布较为均衡,学校数量较多但服务能力一般。可达性等级低(0~0.45)的格网占总数的26.82%,在西北水乡新城片区、东部产业园片区北部的企石镇、桥头镇、谢岗镇,滨海片区虎门镇和长安镇的南部,东南临深片区的南部,以及松山湖片区和滨海片区交界处大岭山的四周均有零星分布,其中有24个格网可达性得分为0,18个集中在凤岗镇。这些地区大多远离东莞市的市中心和各镇镇中心,存在地形复杂和小学服务能力弱的特点。另外,可达性得分标准差最大的5个镇街分别是南城街道、塘厦镇、厚街镇、麻涌镇和虎门镇,说明这5个镇街小学教育资源的供需关系空间差异最大。可达性得分标准差最小的5个镇街分别是东坑镇、茶山镇、石排镇、东莞生态园和横沥镇,均位于东莞市中北部,镇域面积小且教育供需关系差异小。

3.2 基于可达性的东莞市小学教育资源公平性评价

根据《东莞市城市总体规划(2016—2030年)》和《东莞市教育事业发展规划第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》,东莞市在各镇街基础教育设施规划布局基础上,依托并服务于片区社会经济产业格局和发展定位,探索建立义务教育片区统筹协调机制,加强片区义务教育统筹管理和教育优质资源跨区域共享。基于可达性的视角,通过基尼指数和洛伦兹曲线在市域、片区、镇街3个尺度上评价小学教育资源的公平性具有重要现实意义。基尼指数的高低可以反映市域、各片区、各镇街内部可达性的公平性程度,不同片区与不同镇街基尼指数的对比则反映了区域之间可达性的公平性差距。

东莞市域小学教育资源空间分配整体上处于绝对公平的水平(0.1604)。6大片区中,东部产业片区(0.1190)和城区片区(0.1292)教育公平程度最高,城区片区的学校服务能力整体上偏强,东部产业片区的学校服务能力整体上偏弱。滨海片区(0.2091)教育公平程度最低,小学的空间可达性差异最大(图4)。镇街尺度上,全市有31个镇街小学教育资源的基尼指数小于0.2,占总数的91.18%,说明东莞绝大部分镇街内部教育资源空间分配处于绝对公平的水平。将镇街基尼指数分为5个等级,反映其空间格局(图5)。结果表明,松山湖片区北部和东部产业园片区西北部的大多数镇公平性较好,基尼指数小于0.1,其中茶山和东坑两镇公平性最高,镇内格网间教育资源可达性差距小,具有良好的教育公平性;滨海片区(长安镇、虎门镇、沙田镇等)、水乡片区(麻涌镇、望牛墩镇)和松山湖片区(大岭山镇、松山湖高新区)的基尼指数整体偏高,大多镇街的基尼指数介于0.16~0.25之间,其中虎门镇、麻涌镇、松山湖高新区的基尼指数最高,镇街内部可达性差异较大,公平性最低;城区片区多数镇街基尼指数以0.11~0.15为主,镇街内部格网教育资源可达性差异水平居中。

3.3 小学空间可达性的机制分析

本文运用空间误差模型(SEM)识别小学空间可达性的决定因素(表4)。结果表明,在需求者特征上,教育资源可达性与常住人口存在显著负相关关系,可能是教育部门基于户籍人口规模配置公共教

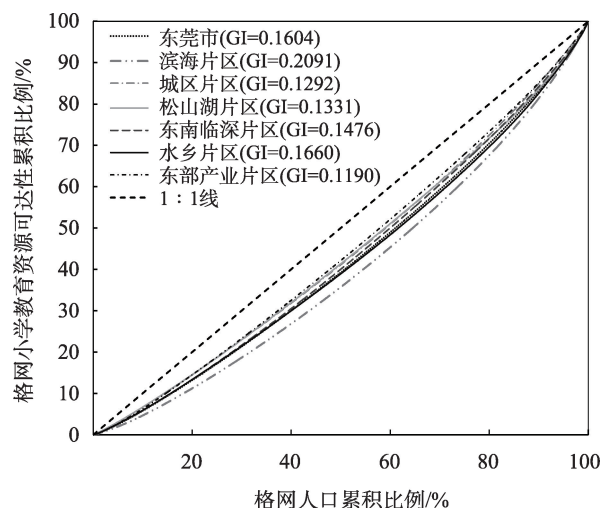


图4 东莞市小学教育资源分配洛伦兹曲线图

Fig.4 Lorenz Curve diagram of accessibility of primary schools in Dongguan City

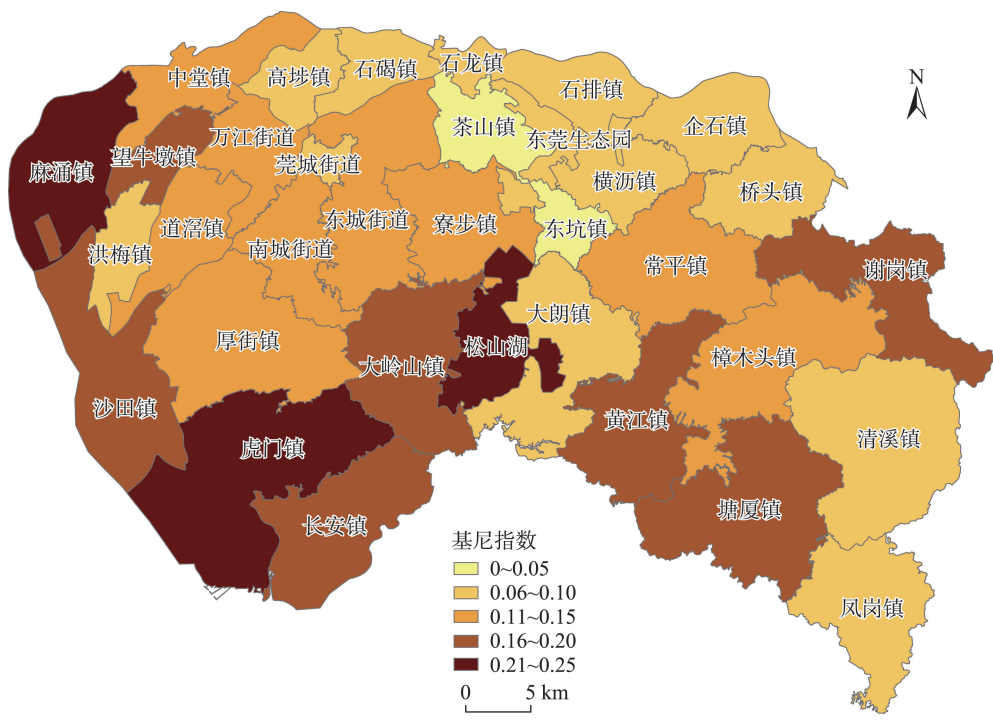


图5 东莞各镇街小学教育资源公平性的空间差异

Fig.5 Spatial variation of equity in accessibility of primary schools in Dongguan City

表4 空间误差模型的估计结果

Tab.4 Results of spatial error models

变量	SEM结果	变量	SEM结果
常住人口	-0.009*** (0.001)	空间误差项	0.708*** (0.005)
学龄人口	0.686*** (0.006)	Log Likelihood	-90585.765
人均GDP	0.056*** (0.013)	AIC	181184
财政支出	-0.372 (0.285)	SC	181232
教育经费支出	5.992* (2.938)	R ²	0.936
常数	-0.719* (0.340)	N	25651

注：*、**、***分别表示 $P < 0.1$ 、 $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ ；括号内值为标准误差。

育资源,未能完全匹配常住人口规模的实际情况,导致在控制其他因素的前提下,经济发达且常住人口多的地区教育资源可能出现可达性低;教育资源可达性与学龄人口呈显著正相关关系,原因可能是教育资源充沛的地区吸引大量有孩家庭迁入,且政府对该地区维持教育资源的高供给。在教育资源投入经济能力上,教育资源可达性与财政支出相关性不显著,与人均GDP和教育经费投入呈正相关,说明由人均GDP所反映的城市经济发展水平影响财政的收入、城市的发展、公共设施的建设等,但财政支出能力并不直接影响教育资源的可达性,教育

经费支出能力才是影响教育资源可达性水平的直接因素,决定教育资源软硬件设施的投入水平。

东莞市中心城区是历次城市规划的建设重点,人均GDP整体水平较高,教育经费投入能力大,学龄人口密度高,教育资源可达性与公平性均较高。莞城与东城2个街道的城市建设成熟,新区开发渐少,教育资源经过多年建设基本稳定、配套均匀,教育资源供给与学龄人口需求变化保持较好的平衡。南城街道逐渐发展成为城市中心,万江街道发展提速,2个街道近10年人口增速超过莞城与东城,学龄人口也快速增长,旧村改造与新城建设加快,教育资源配套仍在完善中,但服务能力等级高的学校分布集中于街道中心区域,外围区域教育配套较弱,导致小学教育空间配置的可达性与公平性较莞城和东城2个街道稍低。石排、茶山、企石、桥头、东坑、横沥、凤岗等镇在近20多年成为新增城市用地密度高、制造业生产空间扩展热点的区域,但地方经济以中小企业为主,镇域生产总值、教育经费投入能力偏弱,学校以低等级为主且较分散,镇中心教育资源配套不够完善,导致该区域可达性较低,但公平性较高。东莞南部受深圳影响最深,虎门、长安、厚街、大岭山、松山湖、大朗、黄江、樟木

头、塘厦等镇,形成一条电子信息产业带,该区域经济水平高,地区生产总值、教育经费投入排位靠前,但镇域经济、学龄人口与教育资源分布重心主要在镇中心,外围村镇工业园宿舍区和城中村多外来人口聚居,教育配套建设不足,大部分镇内部可达性高低差异较大,公平性较低。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文构建了考虑学校综合服务能力和多出行模式情景的两步移动搜索法,测度了东莞市小学空间可达性状况与空间分异格局,评价了其公平性水平与形成机制。主要结论如下:

(1) 东莞市小学教育可达性呈现西高东低的空间格局,由高值区向四周随距离增加而衰减。可达性较高的区域主要在中心城区4个街道和滨海片区的厚街镇和虎门镇;可达性较低的区域主要在松山湖片区和东部产业园片区的北部大面积成片分布;可达性低的区域主要位于水乡地区、大岭山、银瓶山等地形复杂地区。南城街道、塘厦镇、厚街镇、麻涌镇和虎门镇等镇街内部小学教育资源供需关系存在较大的空间差异;东坑镇、茶山镇、石排镇、东莞生态园和横沥镇等镇街内部教育供需关系差异较小。

(2) 在公平性分析上,东莞市市域范围处于绝对公平的水平,东部产业片区和城区片区公平程度最高,滨海片区公平程度最低,91.18%的镇街小学教育资源空间分配处于绝对公平,茶山镇和东坑镇空间分配最公平,虎门镇、麻涌镇、松山湖高新区镇内教育资源公平性最低。

(3) 在机制分析上,空间误差模型对社会经济条件与教育可达性关系的拟合效果更好,其回归分析结果表明,学龄人口规模、人均GDP和教育经费支出是东莞市小学空间可达性的主要影响因素,对教育资源的空间配置具有正向推动作用;常住人口与教育资源空间配置存在负相关关系;财政支出与教育资源空间配置相关性不显著。

4.2 讨论

本文基于多源数据,纳入学校综合服务能力和多出行模式改进传统两步移动搜索法,在细粒度人口格网尺度上测度小学教育资源的可达性,为城市教育资源可达性的测度提供新思路。结合含

有学生通学行为和择校考虑因素的东莞市问卷调查数据,设定多出行模式两步移动搜索法的参数,对学校各项指标进行赋权并评价其综合服务能力,研究结果更符合小学教育资源的可达性真实情况。基于一标三实实有人口数据和七普数据相互校验的人口数据更具时效性,对当下研究区域教育资源供需关系的评价更具指导价值。在细粒度格网尺度上开展研究,比在社区或以上尺度上开展研究更能反映教育资源可达性在行政单元内部的异质性。

实践层面上,本文可为东莞小学教育资源空间公平配置提供一定的参考。首先,在供需上,可考虑在资源供给不足且可达性差的地区增建学校,如洪梅镇、麻涌镇、企石镇、石排镇,以及虎门镇和长安镇的西南部等;在地形复杂、人口稀少分散的地区,可以对原有服务能力较弱的学校进行扩容提质,扩大教育服务规模,如大岭山、银瓶山等周边地区;推动服务能力等级高的学校分散分布,弱化超级学校的规模效应,如加大该类学校的分校发展或资源跨区域调配,缓解中心城区一带与外围地区的教育差距。其次,交通网络沟通供需双方,对可达性影响大,应重视道路设计与交通规划。东莞市小学生公共交通出行比例最小,步行可达性最低。根据东莞市2020年开启的“15 min 优质生活圈”,可考虑通过优化路网建设,加强城市步行与非机动车交通系统的建设,优化公共交通连接供给点与需求的线路安排,降低私人驾车出行比例,加强通学的绿色出行可达性。此外,加强居民宣传,了解民众的教育诉求,鼓励民众参与教育资源配置的规划与建设,使教育配置更好地满足民众的实际需求。

本文也存在不足之处:一是未考虑小学学区划分影响,也未对公办小学和民办小学加以区分;二是仅考虑不同出行模式设置出行极限时间阈值,且时间阈值的设置存在一定的主观性,未考虑学校服务能力的差异对服务空间范围的影响;三是未根据实际的公交汽车线路图和时刻表计算公交汽车的速度,导致模型分析结果与现实存在一定的偏差;四是由于学校活动场地面积数据的缺失,无法评价学校在学生动商培养方面的硬件条件;五是在分析小学空间可达性机制的时候仅使用人口截面数据,无法获取各网格的学龄人口规模在过去一段时间的变化状况,忽视了教育部门在配置教育资源的时

候会考虑未来学龄人口变化趋势的情况,从而导致空间回归模型出现遗漏变量的问题。

参考文献(References)

- [1] 韩增林, 谢永顺, 刘天宝, 等. 大连市初中教育消费者的社会空间结构研究 [J]. 地理科学, 2018, 38(7): 1129-1138. [Han Zenglin, Xie Yongshun, Liu Tianbao et al. The socio-spatial structure of middle school education consumers in Dalian. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(7): 1129-1138.]
- [2] 张京祥, 葛志兵, 罗震东, 等. 城乡基本公共服务设施布局均等化研究: 以常州市教育设施为例 [J]. 城市规划, 2012, 36(2): 9-15. [Zhang Jingxiang, Ge Zhibing, Luo Zhendong, et al. Research on equalized layout of urban and rural public facilities: A case study of educational facilities in Changzhou. *City Planning Review*, 2012, 36(2): 9-15.]
- [3] 刘天宝, 郑莉文, 杜鹏. 市域义务教育资源均衡水平的空间特征与分布模式: 以大连市小学为例 [J]. 经济地理, 2018, 38(7): 67-74. [Liu Tianbao, Zheng Liwen, Du Peng. Spatial characteristics and distribution pattern of the equilibrium level of municipal compulsory education resources: Take Dalian primary school as an example. *Economic Geography*, 2018, 38(7): 67-74.]
- [4] 袁振杰, 郭隽万果, 杨韵莹, 等. 中国优质基础教育资源空间格局形成机制及综合效应 [J]. 地理学报, 2020, 75(2): 318-331. [Yuan Zhenjie, Guo Junwanguo, Yang Yunying, et al. Analysis of the spatial structure, mechanism and social-political effects of the high-quality basic educational resources in China. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(2): 318-331.]
- [5] 彭永明, 王铮. 农村中小学选址的空间运筹 [J]. 地理学报, 2013, 68(10): 1411-1417. [Peng Yongming, Wang Zheng. Space operation of rural primary and secondary school location. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(10): 1411-1417.]
- [6] Müller S, Haase K, Kless S. A multiperiod school location planning approach with free school choice [J]. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2009, 41(12): 2929-2945.
- [7] 韩增林, 董梦如, 刘天宝, 等. 社区生活圈基础教育设施空间可达性评价与布局优化研究: 以大连市沙河口区为例 [J]. 地理科学, 2020, 40(11): 1774-1783. [Han Zenglin, Dong Mengru, Liu Tianbao, et al. Spatial accessibility evaluation and layout optimization of basic education facilities in community life circle: A case study of Shahekou in Dalian. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(11): 1774-1783.]
- [8] Thrupp M. School admissions and the segregation of school intakes in New Zealand cities [J]. *Urban Studies*, 2007, 44(7): 1393-1404.
- [9] 陶卓霖, 程杨. 两步移动搜寻法及其扩展形式研究进展 [J]. 地理科学进展, 2016, 35(5): 589-599. [Tao Zhuolin, Cheng Yang. Research progress of the two-step floating catchment area method and extensions. *Progress in Geography*, 2016, 35(5): 589-599.]
- [10] 宋正娜, 陈雯, 张桂香, 等. 公共服务设施空间可达性及其度量方法 [J]. 地理科学进展, 2010, 29(10): 1217-1224. [Song Zhengna, Chen Wen, Zhang Guixiang, et al. Spatial accessibility to public service facilities and its measurement approaches. *Progress in Geography*, 2010, 29(10): 1217-1224.]
- [11] Hansen W G. How accessibility shapes land use [J]. *Journal of the American Institute of Planners*, 1959, 25(2): 73-76.
- [12] Yang D H, Goerge R, Mullner R. Comparing GIS-based methods of measuring spatial accessibility to health services [J]. *Journal of Medical Systems*, 2006, 30(1): 23-32.
- [13] 孔云峰, 李小建, 张雪峰. 农村中小学布局调整之空间可达性分析: 以河南省巩义市初级中学为例 [J]. 遥感学报, 2008, 12(5): 800-809. [Kong Yunfeng, Li Xiaojian, Zhang Xuefeng. Analysis of spatial accessibility for re-districting in rural China: A case study of the secondary schools in Gongyi City, Henan Province. *Journal of Remote Sensing*, 2008, 12(5): 800-809.]
- [14] 刘凯, 刘荣增, 陈亭亭, 等. 河南省县域学校体系规模、可达性演化特征及其分异 [J]. 地理科学, 2020, 40(10): 1698-1709. [Liu Kai, Liu Rongzeng, Chen Tingting, et al. Scale and accessibility of school system and its spatial differentiation of elementary schools in Henan Province. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(10): 1698-1709.]
- [15] 张鲜鲜, 李久生, 赵媛, 等. 南京市高级中学可达性及空间分布特征研究 [J]. 测绘科学, 2015, 40(11): 111-114, 186. [Zhang Xianxian, Li Jiusheng, Zhao Yuan, et al. Study on accessibility and spatial distribution characteristics of senior high schools in Nanjing. *Science of Surveying and Mapping*, 2015, 40(11): 111-114, 186.]
- [16] 涂然, 周锐, 王新军. 城市基础教育设施的空间可达性与公平性研究: 以上海市浦西8区小学为例 [J]. 复旦学报(自然科学版), 2019, 58(6): 747-755. [Tu Ran, Zhou Rui, Wang Xinjun. Research on the accessibility and equity of urban basic educational facilities: A case of primary schools in Puxi, Shanghai. *Journal of Fudan University (Natural Science)*, 2019, 58(6): 747-755.]

- [17] 杨慧敏, 张香玲, 李立, 等. 山区贫困县中小学空间格局变化与可达性分析: 以河南省嵩县为例 [J]. 地理科学进展, 2018, 37(4): 556-566. [Yang Huimin, Zhang Xiangling, Li Li, et al. Changing spatial pattern and accessibility of primary and secondary schools in a poor mountainous county: A case study of Song County, Henan Province. *Progress in Geography*, 2018, 37(4): 556-566.]
- [18] 杨慧, 杨乃, 孔凡敏, 等. 基于改进型两步移动搜索法的县域义务教育资源空间可达性评价: 以湖北省监利县为例 [J]. 复旦学报(自然科学版), 2021, 60(5): 618-625. [Yang Hui, Yang Nai, Kong Fanmin, et al. Spatial accessibilities evaluation of compulsory education at county level based on improved two-step floating catchment area method: Taking Jianli County of Hubei Province as an example. *Journal of Fudan University (Natural Science)*, 2021, 60(5): 618-625.]
- [19] 全德, 孙裔煜, 谢苗苗. 基于改进高斯两步移动搜索法的深圳市公园绿地可达性评价 [J]. 地理科学进展, 2021, 40(7): 1113-1126. [Tong De, Sun Yiyu, Xie Miaomiao. Evaluation of green space accessibility based on improved Gaussian two-step floating catchment area method: A case study of Shenzhen City, China. *Progress in Geography*, 2021, 40(7): 1113-1126.]
- [20] 汤鹏飞, 向京京, 罗静, 等. 基于改进潜能模型的县域小学空间可达性研究: 以湖北省仙桃市为例 [J]. 地理科学进展, 2017, 36(6): 697-708. [Tang Pengfei, Xiang Jingjing, Luo Jing, et al. Spatial accessibility analysis of primary schools at the county level based on the improved potential model: A case study of Xiantao City, Hubei Province. *Progress in Geography*, 2017, 36(6): 697-708.]
- [21] 任家怿, 王云. 基于改进两步移动搜索法的上海市黄浦区公园绿地空间可达性分析 [J]. 地理科学进展, 2021, 40(5): 774-783. [Ren Jiayi, Wang Yun. Spatial accessibility of park green space in Huangpu District of Shanghai based on modified two-step floating catchment area method. *Progress in Geography*, 2021, 40(5): 774-783.]
- [22] Luo W, Wang F H. Measures of spatial accessibility to health care in a GIS environment: Synthesis and a case study in the Chicago region [J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2003, 30: 865-884.
- [23] Wang Y H, Liu Y L, Xing L J, et al. An improved accessibility-based model to evaluate educational equity: A case study in the city of Wuhan [J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2021, 10(7): 458. doi: 10.3390/ijgi10070458.
- [24] Xing L J, Liu Y F, Liu X J. Measuring spatial disparity in accessibility with a multi-mode method based on park green spaces classification in Wuhan, China [J]. *Applied Geography*, 2018, 94: 251-261.
- [25] 蔡爱玲, 陶卓霖, 王钧, 等. 城市新区教育设施可达性评价与空间优化: 以深圳市坪山区为例 [J]. 地域研究与开发, 2021, 40(1): 96-102. [Cai Ailing, Tao Zhuolin, Wang Jun, et al. Accessibility assessment and spatial optimization of educational facilities in newly urbanized areas: A case of Pingshan district, Shenzhen City. *Areal Research and Development*, 2021, 40(1): 96-102.]
- [26] Williams S, Wang F H. Disparities in accessibility of public high schools, in metropolitan Baton Rouge, Louisiana 1990-2010 [J]. *Urban Geography*, 2014, 35(7): 1066-1083.
- [27] 沈怡然, 杜清运, 李浪姣. 改进移动搜索算法的教育资源可达性分析 [J]. 测绘科学, 2016, 41(3): 122-126. [Shen Yiran, Du Qingyun, Li Langjiao. Spatial accessibility analysis of education resources by modified floating catchment area methods. *Science of Surveying and Mapping*, 2016, 41(3): 122-126.]
- [28] 程顺祺, 祁新华, 林涵, 等. 移动搜索法在教育公共服务可达性评价中的改进与应用: 以福州城区幼儿园为例 [J]. 人文地理, 2017, 32(3): 53-60. [Cheng Shunqi, Qi Xinhua, Lin Han, et al. The improvement and application of two-step floating catchment area method in measuring accessibility to education public service: A case study of kindergartens in Fuzhou. *Human Geography*, 2017, 32(3): 53-60.]
- [29] 饶映雪, 林国栋. 供需平衡视角下城市教育资源空间分布的合理性: 以武汉市为例 [J]. 中南民族大学学报(人文社会科学版), 2021, 41(5): 147-152. [Rao Yingxue, Lin Guodong. Rationality of the geographical distribution of urban education resources from the perspective of balancing supply and demand: A case study of Wuhan City. *Journal of South-Central University for Nationalities (Humanities and Social Sciences)*, 2021, 41(5): 147-152.]
- [30] 张艳林, 李敏, 刘宇文, 等. 基于学籍地址和地理编码的乡村小学教育资源空间可达性分析: 以湖南省株洲县为例 [J]. 地理科学, 2022, 42(6): 993-1004. [Zhang Yanlin, Li Min, Liu Yuwen, et al. Spatial accessibility analysis of primary educational resources based on student home address and geocoding: A case study in Zhuzhou County, Hunan Province. *Scientia Geographica Sinica*, 2022, 42(6): 993-1004.]
- [31] 董南, 杨小唤, 蔡红艳, 等. 人口密度格网尺度适宜性评价方法研究: 以宣州区乡村区域为例 [J]. 地理学报, 2017, 72(12): 2310-2324. [Dong Nan, Yang Xiaohuan,

- Cai Hongyan, et al. Suitability evaluation of gridded population distribution: A case study in rural area of Xuanzhou District, China. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72 (12): 2310-2324.]
- [32] 李月娇, 杨小唤, 王静. 基于景观生态学的人口空间数据适宜格网尺度研究: 以山东省为例 [J]. 地理与地理信息科学, 2014, 30(1): 97-100. [Li Yuejiao, Yang Xiaohuan, Wang Jing. Grid size suitability of population spatial distribution in Shandong Province based on landscape ecology. *Geography and Geo-Information Science*, 2014, 30(1): 97-100.]
- [33] 叶靖, 杨小唤, 江东. 乡镇级人口统计数据空间化的格网尺度效应分析: 以义乌市为例 [J]. 地球信息科学学报, 2010, 12(1): 40-47. [Ye Jing, Yang Xiaohuan, Jiang Dong. The grid scale effect analysis on town leveled population statistical data spatialization. *Journal of Geo-information Science*, 2010, 12(1): 40-47.]
- [34] 李孟桐, 杨令宾, 魏冶. 高斯两步移动搜索法的模型研究: 以上海市绿地可达性为例 [J]. 地理科学进展, 2016, 35(8): 990-996. [Li Mengtong, Yang Lingbin, Wei Ye. Improved Gaussian based 2-step floating catchment area method: A case study of green space accessibility in Shanghai. *Progress in Geography*, 2016, 35(8): 990-996.]
- [35] 赵丹, 陈遇春, Bilal Barakat. 基于空间公正的县域义务教育质量均衡评估指标体系构建 [J]. 教育与经济, 2018(2): 27-34. [Zhao Dan, Chen Yuchun, Barakat B. Construction of systems of evaluation indicators for the balance of compulsory educational quality at county level based on spatial justice theory. *Education and Economy*, 2018(2): 27-34.]
- [36] 尹玉玲. 面向2035义务教育优质均衡发展指标体系构建: 北京的探索 [J]. 首都师范大学学报(社会科学版), 2020(1): 178-188. [Yin Yuling. An exploration on how to construct an indicator system featuring quality and balanced development of compulsory education in 2035: A case study of Beijing. *Journal of Capital Normal University (Social Sciences Edition)*, 2020(1): 178-188.]
- [37] 马国顺, 何广平. 确定权重的主客观综合法 [J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2000, 36(3): 25-27. [Ma Guoshun, He Guangping. The synthetic method of selecting weight. *Journal of Northwest Normal University (Natural Science Edition)*, 2000, 36(3): 25-27.]
- [38] 王侠, 陈晓键. 西安城市小学通学出行的时空特征与制约分析 [J]. 城市规划, 2018, 42(11): 142-150. [Wang Xia, Chen Xiaojian. Spatial-temporal characteristics and constraint of primary school commuting in Xi'an City. *City Planning Review*, 2018, 42(11): 142-150.]
- [39] 张菡泓. 我国教育资源配置分析及政策选择: 基于教育基尼系数的测算 [J]. 中国人民大学学报, 2013, 27(4): 89-97. [Zhang Wanming. An analysis of China's education resources allocation and its policy choice: Measurement of education based on Gini coefficient. *Journal of Renmin University of China*, 2013, 27(4): 89-97.]
- [40] 杨文越, 李昕, 陈慧灵, 等. 基于多出行模式两步移动搜索法的广州多尺度绿地可达性与公平性研究 [J]. 生态学报, 2021, 41(15): 6064-6074. [Yang Wenye, Li Xin, Chen Huiling, et al. Multi-scale accessibility of green spaces and its equity in Guangzhou based on multi-mode two-step floating catchment area method (M2SFCA). *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(15): 6064-6074.]
- [41] 汪凡, 白永平, 周亮, 等. 中国基础教育公共服务均等化空间格局及其影响因素 [J]. 地理研究, 2019, 38(2): 285-296. [Wang Fan, Bai Yongping, Zhou Liang, et al. Spatial pattern and influencing factors of the equalization of basic education public service in China. *Geographical Research*, 2019, 38(2): 285-296.]
- [42] 王世琼, 刘睿, 戴技才, 等. 重庆市乡村义务教育资源可得性差异及影响因素 [J]. 热带地理, 2022, 42(8): 1349-1362. [Wang Shiqiong, Liu Rui, Dai Jicai, et al. Availability differences and influencing factors of rural compulsory education resources in Chongqing. *Tropical Geography*, 2022, 42(8): 1349-1362.]
- [43] 张小东, 韩昊英, 刘爽, 等. 中国教育设施空间分布特征及其影响因素 [J]. 地域研究与开发, 2022, 41(4): 19-25. [Zhang Xiaodong, Han Haoying, Liu Shuang, et al. Spatial distribution characteristics and influencing factors of educational facilities in China. *Areal Research and Development*, 2022, 41(4): 19-25.]

Using multiple travel mode two-step floating catchment area (2SFCA) approach to measure the spatial accessibility of primary schools in Dongguan City, China

ZHENG Luanjuan^{1,2,3}, XIAO Tong^{2,3,4}, LIU Ye^{2,3*}, QIN Rujing², CHAI Lixing², YAO Jiangchun⁴

(1. School of Geography and Tourism, Hanshan Normal University, Chaozhou 521041, Guangdong, China;

2. School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China;

3. Guangdong Key Laboratory for Urbanization and Geo-simulation, Guangzhou 510006, China;

4. Guangzhou Urban Planning & Design Survey Research Institute, Guangzhou 510060, China)

Abstract: Accurate assessment of the accessibility of education facilities is the basis for rational educational resource allocation and an important way to promote the equality of public education. However, previous studies only considered a single travel mode or a single service capacity index in the assessment of accessibility to education facilities, and rarely adopted models that comprehensively consider multiple indicators and multiple travel modes. Based on the actual population data, census data, education facility data, and student travel mode survey data of Dongguan City, China, this study constructed a modified two-step floating catchment area model (2SFCA) considering the multi-index service capabilities and multi-travel modes of students for primary schools. The purpose of this study was to evaluate the accessibility and spatial differentiation of primary schools in Dongguan City, and to evaluate the fairness of its education resource allocation. The results show that: 1) The accessibility of primary education facilities in Dongguan presents the spatial characteristic of high in the west and low in the east. The grids with high accessibility are mainly in the west, such as the four residential committees in the central urban area and Humen Town and Houjie Town, while the grids with low accessibility are mainly distributed in complicated terrain areas such as the Shuixiang New Area, Daling Mountains, and Yinping Mountain. 2) From the perspective of fairness, the spatial distribution of educational resources in Dongguan City and 91.18% of its towns is absolutely fair. Chashan Town and Dongkeng Town have the highest level of fairness, while Machong Town, Songshan Lake High-tech Zone, and Humen Town are the worst. 3) The accessibility and fairness of allocation of educational resources are determined by the spatial matching of supply and demand, which is affected by the social and economic development conditions. This study provides some supporting evidence for the urban layout planning and the spatial allocation of educational resources in Dongguan City.

Keywords: primary schools; accessibility; 2SFCA; comprehensive service capacity; multi- mode of travel; Dongguan City