DOI：10.19789/j.1004-9398.2025.05.009
文献引用：孟文灿，赵文吉，吴舒祺.焦作市区小学教育资源空间布局及可达性分析[J].首都师范大学学报（自然科学版），2025，46（5）：65-71+83. MENG W C，ZHAO W J，WU S Q. Spatial layout and accessibility of primary education resources in Jiaozuo City [J]. Journal of Capital Normal University（Natural Science Edition），2025，46（5）：65-71+83.

焦作市区小学教育资源空间布局及可达性分析

孟文灿，赵文吉*，吴舒祺

（首都师范大学资源环境与旅游学院，北京　100048）

摘要：探究城市小学教育资源的分布情况可以提高教育资源配置的均衡性。本文选取焦作市区为研究区域，结合小学设施点数据、小区及村镇居民点数据和道路网数据等，利用泰森多边形、缓冲区分析和网络分析等地理信息系统（GIS）空间分析方法，从定性与定量分析相结合的角度分析评价小学教育资源的空间布局特征和可达性。研究表明：焦作市区整体小学空间分布主要呈现为中心聚集、四周分散的特征，尤其是市区西北部小学教育设施配置较少，市区整体基础教育服务对居民点的覆盖不够全面；焦作市区的各辖区中，解放区和山阳区的可达性最好，在不同时间段的可达面积及平均可达距离均较好，其次是示范区和马村区，中站区的可达性最差；从影响因素来看，焦作市区小学教育资源空间分布和可达性水平主要与人口、经济和地形因素有关，三者共同影响决定地区教育资源分配。研究揭示了焦作市区内小学教育资源的空间布局特征和可达性水平，并针对不同区域的教育资源特点提出相应的优化建议，可为政府部门未来对基础教育设施的规划调整提供决策参考。

关键词：地理信息系统（GIS）；小学教育资源；空间布局；可达性
中图分类号：P208　　**文献标志码**：A

Spatial layout and accessibility of primary education resources in Jiaozuo City

MENG Wencan，ZHAO Wenji*，WU Shuqi

（College of Resource Environment and Tourism，Capital Normal University，Beijing　100048）

Abstract：Exploring the distribution of urban primary education resources can improve the balance of education resources allocation. This paper selects Jiaozuo City as the research area，combined with primary school site data，community and village site data，and road network data，geographic information system spatial analysis methods are used，such as Thiessen polygon，buffer analysis，and network analysis，the spatial layout characteristics and accessibility of primary school education resources from a combination of qualitative and quantitative analysis are analyzed and evaluated. The research results show that the overall spatial distribution of primary schools in Jiaozuo City is mainly characterized by central clustering and scattered around，especially in the northwest of the city where there is less allocation of primary school educational facilities，and the coverage of basic education services in the city is not comprehensive enough. Among the districts in Jiaozuo City，Jiefang District

收稿日期：2024-07-05
*通信作者：zhwenji1215@163.com

and Shanyang District have the best accessibility, with better accessible area at different time stages and shorter average accessible distance, followed by Shifan District and Macun District. The accessibility of Zhongzhan District is the worst. From the perspective of influencing factors, the spatial distribution and accessibility level of primary education resources in Jiaozuo City are mainly related to population, economy, and terrain factors, which jointly determine the allocation of regional education resources. The paper reveals the spatial layout characteristics and accessibility level of primary education resources in Jiaozuo City, and proposes corresponding optimization suggestions, so as to provide decision-making reference for government departments to adjust the planning of basic education facilities in the future.

Keywords: geographic information system (GIS); primary education resources; spatial layout; accessibility

CLC: P208 **DC**: A

0 引 言

教育是一国之大计,党的二十大报告中明确提出实施科教兴国战略,加快建设高质量教育体系,加快义务教育优质均衡发展,优化区域教育资源配置。《中华人民共和国义务教育法》(1986年)和《中华人民共和国义务教育法实施细则》(1992年)明确了九年义务教育阶段的适龄儿童、青少年"就近入学"原则[1],这就要求加强义务教育资源的空间布局规划,实现其均衡性。小学教育作为义务教育的重要组成部分,其空间布局的合理规划,对促进义务教育的均衡发展有着重要作用[2]。因此研究小学教育资源的空间布局和可达性,促进教育资源配置更加均衡,具有十分重要的现实意义。

国内外学者一直以来基于地理信息系统(geographic information system,GIS)平台对地理要素的空间分布特征进行了大量相关研究。国外对可达性的研究起步较早,在20世纪60年代可达性理论就被用来研究交通问题,而后逐渐运用到公共服务设施的研究中来。如利用GIS技术对教育资源进行的研究主要涉及有学校分布现状及布局调整[3],教育设施的空间布局和可达边界[4],学区的划分和规划[5-6],学区划分下的交通成本分析[7],基于交通可达性的教育设施优化调整[8]等。21世纪以来,国内学者也开始在对教育设施服务的分析上广泛地使用空间可达性的概念和方法,并与GIS技术相结合对教育设施的分布和可达性进行研究。宋正娜等[9]系统研究了公共服务设施的空间可达性及其度量方法,阐述了如何设定空间布局目标和选取可达性评价因子以及可达性的主要度量方法。各学者进一步研究了不同城市的基础教育资源,如上海市[10]、汉中市[11]、郑州市[12]和西安市[13]等,运用多种可达性度量方法结合GIS空间分析技术对各研究区域内的中小学教育资源进行了分析评价。关于对教育资源空间布局及可达性水平的研究,学者们主要采用的有空间统计分析、缓冲区分析、核密度分析和网络分析等方法,从市区尺度[14]、街区尺度[10],以及从宏观、中观、微观3个层面[13]探究了教育资源的分布特征、服务范围、时间和距离可达性等;同时,学者们对教育资源的公平性[10,15]、均衡性[14,16]和供需匹配[17]等也进行了评价,并应用GIS技术建立了教育服务区划分模型、教育资源可达性评价模型等[18],为进一步优化配置教育资源提供了参考。综上所述,目前对基础教育资源的相关研究包括空间资源配置、可达性评测、学区划分和布局优化等,多是从定性或定量角度对教育资源进行分析研究。

焦作市作为河南省的重要地级市,是国务院批复确定的中国中原城市群和豫晋交界地区的区域性中心城市,对其基础教育资源的空间配置现状进行研究,对更好满足民众教育需求、加快教育均衡发展具有重要意义。本文选取焦作市区为研究区域,以教育设施配置指征其教育资源,基于小学设施点数据、小区及村镇居民点数据和道路网数据等,利用泰森多边形、缓冲区分析和网络分析等多种GIS空间分析方法,从定性与定量分析相结合的角度对小学教育资源的空间布局特征和可达性进行分析评价,以此揭示焦作市区内小学教育资源的

空间配置情况,进一步结合统计数据探讨教育资源分布的相关影响因素,并根据不同区域的小学教育资源特征提出对应优化建议,以期为相关部门未来对基础教育设施的规划调整提供决策依据。

1　研究区域及数据来源

1.1　研究区域概况

焦作市位于河南省西北部,地处太行山和豫北平原的交界处,北侧与太行山脉相接,其西北部地势较高,市区中南部则为地势平坦的平原。焦作市总面积为4 071 km^2,全市常住总人口352万人,下辖6县(市)、4区和1个城乡一体化示范区。本文的研究区域为中站区、解放区、山阳区、马村区和示范区,总面积为574 km^2(如图1)。通过查询焦作市统计年鉴(https://tjj.jiaozuo.gov.cn/)可知:焦作市区共有79所小学,小学专任教师4 015人,小学在校生78 374人(截至2021年),小学学龄人口入学率达到100%。

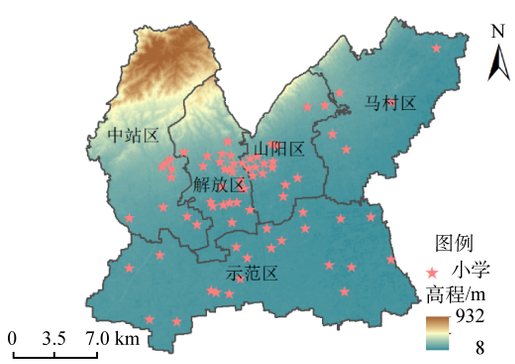


图1　研究区概况

1.2　数据来源与预处理

本研究所用的基础数据主要包括:行政区划数据来源于天地图,审图号为豫S(2019年)024号;小学设施点数据、住宅小区和村镇等居民点数据,通过高德地图查询获取到相应兴趣点(point of interest,POI)数据;道路网数据来源于开放街道地图(open street map,OSM)。以上数据均在ArcGIS软件中进行预处理操作,主要过程如下:(1)将获取到的小学点和居民点POI数据在Excel中进行整理,再导入到ArcGIS中转为表并进行相应属性表的关联,显示*XY*坐标数据并设置投影坐标系与行政区划数据一致,根据行政区划范围裁剪出研究区域内的数据,对数据点进行检查删去重复和错误的点位;(2)对下载到的OSM数据进行转换,导入ArcGIS软件中设置投影坐标系,裁剪出研究区范围内的道路,并对道路网进行拓扑检查和修正;(3)创建地理空间数据库,对各数据统一坐标系和投影,将预处理过的相关数据保存到其中用于后续的空间分析使用。

2　研究方法

2.1　泰森多边形

泰森多边形,又称冯洛诺伊图(Voronoi diagram),是对空间平面进行的一种剖分,其本质就是由连接2个相邻点线段的垂直平分线组成的连续多边形构成[19]。建立泰森多边形的关键是构建狄洛尼(Delaunay)三角网,按照狄洛尼准则将所有离散点连接成不规则三角网后,三角形各边的垂直平分线即可构成泰森多边形的边。泰森多边形的特点是每个多边形内仅包含一个样点,多边形内任意一点到构成该多边形样点的直线距离最近。由于泰森多边形在空间剖分上具有等分性的特征,因此可用于解决最近点、最小封闭圆以及许多空间分析问题[20]。泰森多边形的面积是随点集的分布而发生变化的,可以用变异系数(coefficient of variation,C_V)来衡量凸多边形面积的变化程度,从而分析样点的分布类型[21],其计算公式为[20]:

$$C_v = \frac{R}{S}, \tag{1}$$

$$R = \sqrt{\frac{\sum(S_i - S)^2}{n}}\,(i = 1, 2, \cdots, n), \tag{2}$$

式中:C_v为变异系数;R是多边形面积的标准差;S是多边形面积的平均值;S_i是第i个多边形的面积;n是多边形的个数。Duvckaerts[22]提出:当C_v>64.0%时,点集为"集群"分布;当C_v为33.0%~64.0%时,点集为"随机"分布;当C_v<33.0%时,点集为"均匀"分布。由此可以通过构建小学点集的泰森多边形并计算C_v值来分析焦作市区内小学的空间分布特征。

2.2　缓冲区分析

缓冲区分析是GIS基本的空间分析功能之一,是以点、线、面3种类型的要素为基础,根据指定的距离在其周围建立一定半径宽度的多边形作为缓冲区域,通常用于分析地理空间对象与周围事物的关系和影响的范围及程度。其原理是给定一个空间内的物体(M_i),半径(R)决定其邻域的大小,公式为

$$\begin{cases} M_i = \{x: d(x, O_i) \leqslant R\}, \\ O = \{O_i: i = 1, 2, 3, \cdots, n\}, \\ M = \bigcup_{i=1}^{n} M_i, \end{cases} \tag{3}$$

式中:d为多边形半径,取欧氏距离;M_i为以d为半径的多边形(i)缓冲区范围内所有点集合;R为对象M_i的最长半径;O为空间目标的多对象集合;M为R的多对象合并集合缓冲区[23]。通过缓冲区分析可基于空间直线距离直观展示小学设施的服务范围,并结合其对居民点的覆盖程度分析评价布局均衡性。

2.3　网络分析

教育资源的空间可达性是指研究范围内居民以各种方式来获取教育服务或到达教育设施的便捷程度,以到达教育设施的能力(多指花费的时间或距离)或可获得的教育服务的数量和品质作为衡量依据[24]。GIS空间分析中的网络分析是对地理网络等进行地理分析和模型化的过程,能对现实路径的行进情况进行模拟,进而表现设施的可达程度。本文主要采用网络分析中的服务区分析和源点-终点(origin-destination,OD)成本矩阵来对焦作市区小学教育资源的可达性进行定量分析评价。

服务区分析是指在满足某种条件的前提下,查找网络上指定的服务站点能够提供服务的范围。以道路网为基础,小学即为服务站点,设置经过道路网的阻抗值,采用服务区分析求解出小学的服务范围,并统计服务面积来定量分析小学设施的可达性,评价教育资源分布的合理性。OD成本矩阵分析能够查找网络中多个起始点与多个目的地点之间的最小成本距离路径,对不同起始地和目的地之间的出行成本进行量化评估,其求解后显示的为连接起始点与目的点的直线,但存储在其线属性表中的值反映的不是直线距离,而是网络距离。通过OD成本矩阵求解居民点沿道路网到达距其最近学校的最小成本距离,据此衡量研究区内小学设施的可达情况。

3　研究结果

3.1　空间布局分析

3.1.1　基于泰森多边形的小学布局分析

在ArcGIS的邻域分析工具中基于小学点位数据创建泰森多边形,并叠加焦作市区范围得到结果如图2所示。进一步计算各辖区内泰森多边形的C_V值:中站区为83.9%,解放区为191.8%,山阳区为104.7%,马村区为39.8%,示范区为55.1%。参照建议值划分各辖区小学分布类型,中站区、解放区、山阳区的C_V>64.0%,说明其范围内的小学属于集群分布;马村区和示范区的C_V值范围为33.0%~64.0%,说明其范围内的小学属于随机分布。即解放区和山阳区的小学分布较集中,马村区和示范区较为分散,而中站区可根据研究区高程图看出由于受到山地影响小学分布集群于南侧。

从整体上看,解放区中东部和山阳区西部的多边形面积较小,说明市区中心的小学分布集中,居民点到达其最近小学的距离近,小学的可达性较好;而市区周边地区的多边形面积较大,西北部山地区域尤为明显,说明周边地区小学数量少且分散,居民点到达最近小学的距离较远,可达程度低。由此可知焦作市区小学主要呈现为中心聚集、四周分散的空间分布特征,周边区域的小学设施配置较少,市区中部地区的小学分布比周边地区更加充足合理,能更好地满足学生就近上学的需求。

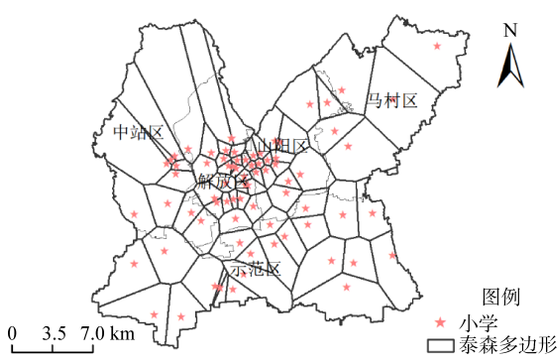


图2　焦作市区小学泰森多边形分析

3.1.2　基于缓冲区的小学服务范围分析

《中小学校设计规范》中对学校选址的要求为:小学服务半径不宜>500 m,中学服务半径不宜>1 000 m。据此本文以500和1 000 m为最佳服务半径和适宜服务半径,对小学设施点建立多环缓冲区(图3),并将其与居民点数据进行叠加,利用空间连接工具对小学各级缓冲区内所包含的居民点数量进行统计(表1),分析焦作市区内小学设施点服务范围对居民点的覆盖程度。

统计表明,在500 m最佳服务半径内,解放区小学覆盖到的居民点最多,超过了半数(53.4%);山阳区内的居民点覆盖有也近一半,达到了40.8%;中站

区内的居民点覆盖最少,仅有8.1%。位于小学>500~1 000 m服务范围内的居民点仍是解放区最多(37.3%),山阳区仅次其后(29.3%),马村区只有9.0%。此外,中站区、马村区、示范区内未被小学适宜服务范围覆盖的居民点较多,分别占75.6%、79.5%、65.5%,解放区和山阳区则较少。从焦作市区整体范围来看,在小学1 000 m适宜服务范围内的居民点超过了半数,但仍有40.7%的居民点未被小学设施点覆盖。由此可以初步分析得出,以欧氏距离的缓冲区范围作为小学的服务范围来看,焦作市区内教育服务对居民点覆盖不够全面,市区中部的小学服务范围覆盖较好,而周边仍有较多居民点未被覆盖到,体现在研究区的西北部,尤其是中站区的北半部地区,主要原因是受到地形因素的影响,焦作市区北侧临近山脉,其相应地区的教育资源分布偏少。

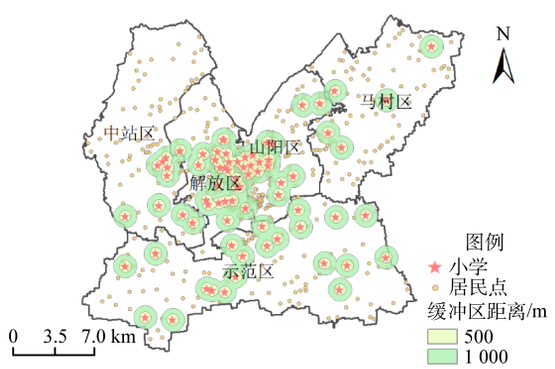


图3　焦作市区小学多环缓冲区分析

表1　多环缓冲区对居民点覆盖率统计结果　单位:%

缓冲区半径/m	中站区	解放区	山阳区	马村区	示范区	焦作市区
0~500	8.1	53.4	40.8	11.4	19.0	33.7
>500~1 000	16.3	37.3	29.3	9.0	15.5	25.6
>1 000	75.6	9.3	29.9	79.5	65.5	40.7

3.2　可达性分析

3.2.1　基于服务区的时间可达性

考虑到儿童入学多为就近择校,因此主要以步行作为小学生上学通勤方式,本研究中将学生的步行速度设定为60 m/min,道路等级对步行结果的影响不大,则不再针对不同等级的道路进行分类计算。在道路属性表中添加通行时间字段并计算出每段道路的通行时长,服务区分析设置中以时间为阻抗,设置5个时间中断值为10、20、30、40、50 min,方向为离开设施点,求解即得到不同可达时间下的小学服务范围(图4)。

可达面积是典型的可达性定量衡量指标,根据服务区分析结果分别统计焦作市区总体(表2)和各辖区范围内(图5)的小学在不同时间下的服务可达面积及比例,由此评价其可达性水平。由表2可知,焦作市区总范围内在小学10、20、30、40、50 min各可达时间段下的面积分别为49.8、77.0、82.5、76.0、78.2 km^2,占市区总面积的比例依次为8.6%、13.3%、14.3%、13.1%、13.6%;还有37.1%的地区到达小学时间>50 min,可达性明显较差,且从图4中可看出其可达性较差的区域主要分布于市区周边地区。由图5可知,各辖区小学50 min内的可达面积中,示范区的总可达面积最大,为152.4 km^2,其余4个区的总可达面积都在50 km^{2}左右;在各辖区内面积的占比上,山阳区和解放区的总可达面积比例最高,分别为88.9%和80.3%,然后依次为示范区(75.0%)、马村区(46.1%)、中站区(36.2%)。结合图表来看,解放区和山阳区内小学的可达性较高,小学服务可达面积覆盖比较完整,而马村区和示范区内仍有部分区域需步行较长时间才可到达最近的小学;中站区的可达性明显最差,由于受山地影响其北半部占整个市区可达性较差区域的绝大部分。

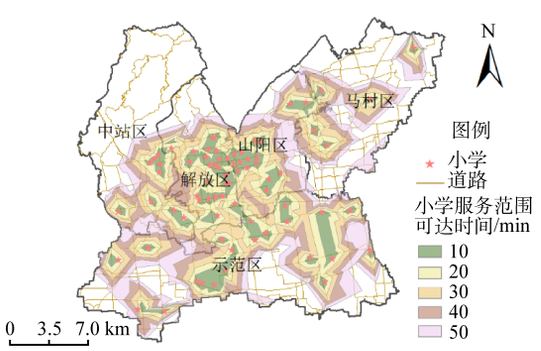


图4　焦作市区小学服务可达范围

表2　焦作市区小学服务可达面积及百分比

时间/min	可达面积/km^2	占市区总面积百分比/%
0~10	49.8	8.6
>10~20	77.0	13.3
>20~30	82.5	14.3
>30~40	76.0	13.1
>40~50	78.2	13.6
>50	214.8	37.1

3.2.2　基于OD成本矩阵的距离可达性

根据焦作市区内道路网创建网络数据集,在ArcGIS网络分析功能下以长度作为阻抗构建OD成本矩阵,起始点为居民点数据,目的地点为小学

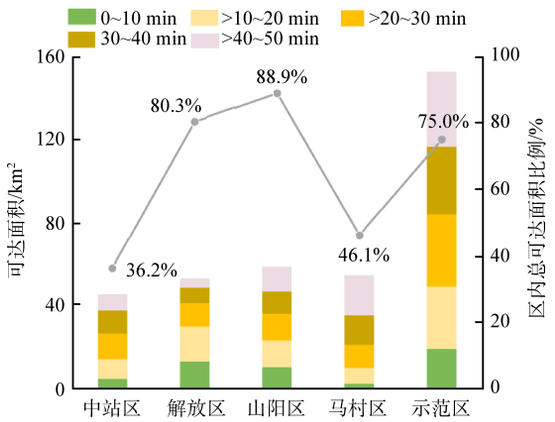


图5　各辖区内小学可达面积及百分比

点数据,只查找一个目的地点,求解得到焦作市区内各居民点到其最近小学的OD成本距离图,并按其线属性表中的总长度字段进行分级色彩显示(图6)。可以看出,从研究区中心向外越靠近市区周边地区的居民点到达其最近小学的距离越远。

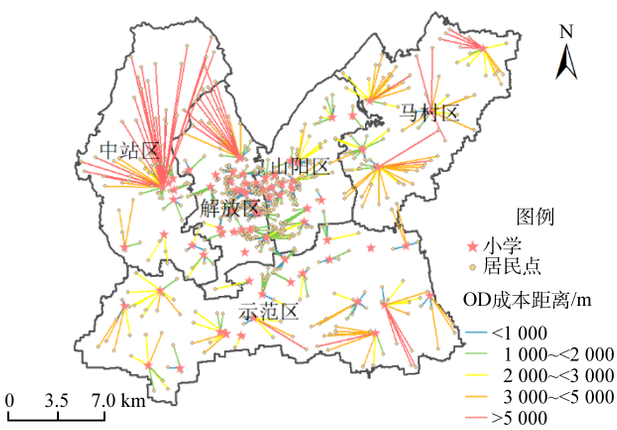


图6　焦作市区居民点与其最近小学源点-终点(OD)成本距离分析

统计不同成本距离区间的居民点数量(表3)可发现,焦作市区内入学成本距离≤1 000 m的居民点比例达到近一半,入学成本距离在≤2 000 m的居民点数量比例达到了72.2%,基本分布于市区的中心地带;入学成本距离在>2 000 ~ 3 000 m和>3 000 ~ 5 000 m内的居民点数量则基本相同;另有52处居民点入学距离已经>5 000 m,主要分布于市区的西北部地区,其中个别居民点的入学距离达到了10 km以上。进一步计算研究区内各辖区居民点的平均入学距离由低到高依次为:解放区(754 m)、山阳区(1 012 m)、示范区(2 086 m)、马村区(2 931 m)、中站区(5 184 m),由此反映了不同辖区内小学的距离可达性水平。

表3　各入学成本距离区间的居民点统计表

可达性(距离)/m	居民点数量/个	百分比/%
≤1 000	349	49.9
>1 000 ~ 2 000	156	22.3
>2 000 ~ 3 000	71	10.1
>3 000 ~ 5 000	72	10.3
>5 000	52	7.4

4　影响因素

根据以上分析结果不难发现,焦作市区内各辖区小学教育资源的空间分布和可达性水平存在差异。为进一步探讨其影响因素,结合焦作2022年统计年鉴中市区的小学、人口、经济数据与可达性分析结果,计算各辖区的小学数量占市区比例、区内可达面积比例、常住人口占市区比例、地区生产总值占市区比例、区内丘陵及山地面积比例(图7),讨论影响小学教育资源分布状况和可达性水平的因素主要有3个方面。

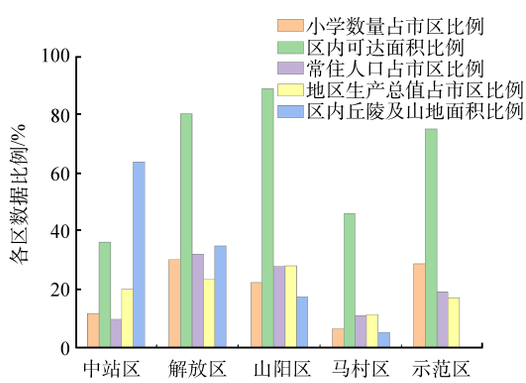


图7　各区数据对比

(1)人口因素。人口数量决定了学生数量,决定了教育资源的需求。将焦作市区内各区的常住人口数量占比和小学数量占比进行比对,基本符合人口越多则学校分布越多的规律。解放区和山阳区作为焦作市区的老城区和中心城区,常住人口数量占市区分别为32.0%和27.9%,远高于其他各区,小学教育设施数量对应也更多,同时位于市区中部其内居民点基本都为住宅小区,数量多且分布密集;周边其他各区常住人口数量比例相对较少都<20.0%,其内的居民点多以村镇为单位,分布表现较离散;对市区内小学教育设施的空间布局分析结果相对也表现为中部数量多较聚集,四周数量少较分散,说明人口因素主要是通过人口数量和人口分布来影响教育资源的空间分布。

(2)经济因素。经济发展促进教育投入,使得教育规模及水平得以提升。解放区和山阳区的地区生产总值在市区中居于前位,分别占全市区的28.1%和23.4%,经济的发展带动地区教育发展,无论是其小学教育设施分布还是可达面积都表现较好;示范区作为高新技术产业开发区,地区生产总值(17.1%)为市区内中等水平,图7中可看出其小学数量比例远超常住人口比例,可见市区范围内示范区的教育资源最充足,其区内可达面积比例也为除解放区和山阳区外最高;而地区生产总值最低的马村区(11.4%)在教育规模上则表现最差,小学设施数量在市区中处于末位,仅占6.6%,低于常住人口相差不多的中站区小学设施数量(11.8%)。由此经济发展水平对一个地区的教育规模有着重要影响。

(3)地形因素。地形也是影响教育资源空间布局和可达性水平的重要因素,按海拔将焦作市区内地形主要划分为平原(<200 m)、丘陵(200~500 m)和山地(>500 m)3种。一方面,地形影响学校的位置分布。焦作市区北高南低、西高东低,自西北向东南呈倾斜趋势。中站区位于市区的西北部,区内非平原比例达到了63.7%,其中山地比例30.6%,小学教育设施分布受地形影响显著,基本都处于南半部平原区域,北半部海拔较高的区域则缺乏小学教育设施配置;解放区(34.9%)、山阳区(17.6%)、马村区(5.4%)内丘陵及山地区域都处在北侧,其内小学教育设施也都分布于平原区域。另一方面,地形影响交通的便利性。平原地区交通网络一般较为发达,且市区中心地区由于交通便利、教育资源更丰富,因此解放区和山阳区小学教育设施的可达性较好且平均入学距离适宜;示范区内全为平原地形,便利的交通也提升了区内小学教育设施的可达性;中站区虽然地区生产总值比例(20.1%)仅次于市中心的解放区和山阳区,但由于受地形影响小学分布集中于南部且北部山区交通道路稀疏,导致区内可达面积比例处于市区末位,居民点到小学的平均成本距离较远,学生入学成本较高。

5 结论与建议

针对当今义务教育优质均衡发展的教育需求,本文以焦作市区为研究区域,基于ArcGIS平台结合小学点位数据、小区及村镇居民点位数据、道路网数据等,运用GIS空间分析方法如泰森多边形、缓冲区分析、服务区分析和OD成本矩阵,从定性与定量相结合的角度对小学教育资源的空间布局和可达性进行分析。研究主要结论为:焦作市区小学教育设施主要呈现为中心聚集、四周分散的特征,西北部的教育设施配置较少,市区整体小学教育资源对居民点的服务覆盖不够全面;从时间可达面积和成本距离上来讲,焦作市区的各辖区中解放区和山阳区的可达性最好,在不同时间段的可达面积及可达距离上均较高,其次是示范区和马村区,中站区的可达性最差,受其北半部山脉的影响较大,市区整体的可达性仍有待进一步提高;此外,人口、经济、地形等因素对焦作市区内不同辖区的教育资源空间分布与可达性水平的差异有所影响。

综上所述,提出以下优化建议:(1)针对小学可达性较差的地区,尤其是中站区内北半部区域为山地,学生入学时间和距离成本较大,需要重点改善,应加大教育投入,在教育服务覆盖不够全面的区域适当增设学校,同时完善学校寄宿条件,解决好边远地区入学距离较远学生上学的住宿问题;(2)在小学教育资源较充足的地区,即马村区和示范区,要合理分配教育资源,适当扩大地区办学规模,进一步科学统筹规划乡镇小学的空间配置,做好学校布局优化调整,优化乡镇路网结构,合理规划学生出行路线,降低学生出行成本;(3)在解放区和山阳区可达性好、小学教育资源充足的区域,要利用好现有教育资源,合理划分学区,系统规划各小学招生规模,提高办学标准与质量,大力建设优质小学。

参 考 文 献

[1] 栗敏光,董琳琳.基于加权距离成本的最优学区划分算法[J].测绘与空间地理信息,2017,40(12):216-218.

[2] 刘恒,任姚姚,谭红梅,等.基于GIS的贵阳市花溪区小学空间格局和可达性研究[J].科技与创新,2022(18):1-5.

[3] SLAGLE M. GIS in community-based school planning: a tool to enhance decision making, cooperation, and democratization in the planning process [EB/OL]. [2024-03-01]. https://files. eric. ed. gov/fulltext/EP452686.pdf.

[4] PARSONS E, CHALKLEY B, JONES A. School catchments and pupil movements: a case study in parental choice[J]. Educational Studies, 2000, 26(1): 33-48.

(下转第82页)

[39] 吴健生,晋雪茹,王晗,等.中国碳排放及影响因素的市域尺度分析[J].环境科学,2023,44(5):2974-2982.
[40] 李昌宝,高莉,杨德草.人口老龄化背景下中国碳排放的影响因素研究:基于PET模型的实证分析[J].江西财经大学学报,2020(5):32-44.
[41] 田成诗,郝艳,李文静,等.中国人口年龄结构对碳排放的影响[J].资源科学,2015,37(12):2309-2318.
[42] 陈姜全,李效顺,耿艺伟,等.中国城镇化与碳排放机制分析及实证研究:基于经济发展、人口转移和城镇扩张视角[J].自然资源学报,2024,39(6):1399-1417.
[43] 张腾飞,杨俊,盛鹏飞.城镇化对中国碳排放的影响及作用渠道[J].中国人口·资源与环境,2016,26(2):47-57.
[44] 亚当·斯密.国富论[M].北京:商务印书馆,2019.
[45] ATTANASIO P O, WEBER G. Consumption and saving: models of intertemporal allocation and their implications for public policy[J]. Journal of Economic Literature,2010,48(3):693-751.

(责任编辑:李拓宇)

(上接第71页)

[5] CARO F, SHIRANE T, GUIGNARD M, et al. School redistricting: embedding GIS tools with integer programming[J]. Journal of the Operational Research Society,2004,55(8):836-849.
[6] SINGLETON A D, LONGLEY P A, ALLEN R, et al. Estimating secondary school catchment areas and the spatial equity of access[J]. Computers Environment and Urban Systems,2011,35(3):241-249.
[7] HANLEY P F. Transportation cost changes with statewide school district consolidation [J]. Socio-Economic Planning Sciences,2007,41(2):163-179.
[8] TAYLOR R G, VASU M L, CAUSBY J F. Integrated planning for school and community:the case of Johnston County,North Carolina[J]. Interfaces,1999,29(1):67-89.
[9] 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.
[10] 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.
[11] 蔺芳,郭敏,吴红波.基于GIS空间分析的中小学学校区划和可达性研究:以汉中市主城区为例[J].城市勘测,2022(1):8-13.
[12] 张晨龙,陈波,张宸瑀.基于多源数据的郑州市中原区小学空间分布特征及可达性分析[J].河南大学学报(自然科学版),2022,52(2):168-178.
[13] 刘冬,张堂基,李志民,等.基于POI数据的西安市中心城区小学布点特征研究[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2022,54(5):693-700.
[14] 张一帆,景海涛,王莉.基于GIS的城市教育资源均衡性与优化研究[J].地理空间信息,2020,18(3):55-60+7.
[15] HUANG Q, CUI X, MA L. The Equity of basic educational facilities from the perspective of space[J]. Sustainability,2023,15(15):12031.
[16] 卫杨.基于ArcGIS的郑州市中小学空间分布均衡性研究[D].武汉:湖北大学,2023.
[17] YUAN H F, YANG X G. Spatial distribution of urban basic education resources in Shanghai: accessibility and supply-demand matching evaluation [J]. Open Geosciences,2023,15(1):20220571.
[18] 陈莹.基于GIS的基础教育资源空间布局研究[D].北京:首都师范大学,2008.
[19] 赵欣悦.基于GIS的哈尔滨市中心城区公园绿地可达性研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2022.
[20] 宋洁华,李少伟,赵志忠,等.泰森多边形在居民点空间分布特征分析中的应用研究:以海南省临高县为例[J].海南师范大学学报(自然科学版),2013,26(2):223-226.
[21] 曹竞文,李淑杰,齐鲁,等.基于泰森多边形的汪清县农村居民点空间分布特征及其影响因素[J].世界地质,2019,38(1):268-276.
[22] DUYCKAERTS C, GODEFROY G. Voronoi tessellation to study the numerical density and the spatial distribution of neurones [J]. Journal of Chemical Neuroanatomy,2000,20(1):83-92.
[23] 王何晨阳,赵恒,高仲亮,等.基于缓冲区分析的云南省文山州森林火灾分布研究[J].消防科学与技术,2022,41(11):1556-1562.
[24] 张玉婷,孙建国,杜立钊,等.六盘山地区中学教育资源空间可达性分析[J].测绘科学,2019,44(11):52-58+87.

(责任编辑:李拓宇)