

基于POI数据的义务教育设施均等化空间分布研究

郭雅柔^{1,2}, 张 勇^{1,2*}, 徐环婧^{1,2}, 陈 君^{1,2}, 龚文彬^{1,2}

¹湖南科技大学地球科学与空间信息工程学院, 湖南 湘潭

²湖南科技大学教育学院, 湖南 湘潭

收稿日期: 2024年11月18日; 录用日期: 2024年12月20日; 发布日期: 2024年12月31日

摘 要

教育设施均等化是衡量教育均衡发展的重要指标。以长沙市为例, 基于义务教育设施的POI数据, 采用ArcGIS技术和统计学中皮尔逊相关分析方法进行分析。研究发现: (1) 各区县义务教育设施数量均符合国家最低标准要求; 但芙蓉区、天心区、雨花区设施数量相对紧张; (2) 中心城区高密度聚集, 外围衰减至零星分布的特征, 极核化特征明显; (3) 教育设施呈现东西向拓展态势明显; (4) 设施分布模式均呈空间正相关, 空间聚集特征明显。 (5) 城市面积、教育支出、师资规模、学生数量等因素对义务教育设施建设发挥正向推动作用, 人均可支配收入、人口密度发挥着负向抑制作用。

关键词

POI数据, 义务教育设施, 空间格局, 均等化

Study on the Spatial Distribution of Equalisation of Compulsory Education Facilities Based on POI Data

Yarou Guo^{1,2}, Yong Zhang^{1,2*}, Huanjing Xu^{1,2}, Jun Chen^{1,2}, Wenbin Gong^{1,2}

¹School of Earth Sciences and Spatial Information Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan

²School of Education, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan

Received: Nov. 18th, 2024; accepted: Dec. 20th, 2024; published: Dec. 31st, 2024

*通讯作者。

文章引用: 郭雅柔, 张勇, 徐环婧, 陈君, 龚文彬. 基于 POI 数据的义务教育设施均等化空间分布研究[J]. 地理科学研究, 2024, 13(6): 1070-1079. DOI: 10.12677/gser.2024.136103

Abstract

Equalisation of educational facilities is an important indicator of the balanced development of education. Taking Changsha City as an example, based on the POI data of compulsory education facilities, it is analysed by using ArcGIS technology and Pearson correlation analysis method in statistics. It is found that: (1) the number of compulsory education facilities in all districts and counties meets the requirements of the national minimum standard; however, the number of facilities in Furong, Tianxin, and Yuhua districts is relatively tense; (2) the central urban area has a high density of aggregation, and the periphery attenuates to the sporadic distribution of features, with an obvious characteristic of the polar nucleation; (3) the education facilities show a clear east-west expansion; (4) the distribution patterns of the facilities all show a spatial positive correlation, with an obvious characteristic of spatial aggregation; (5) urban area, education expenditure, teacher scale, number of students and other factors play a positive driving role in the construction of compulsory education facilities, while per capita disposable income and population density play a negative inhibiting role.

Keywords

POI Data, Compulsory Education Facilities, Spatial Pattern, Parity

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

基本公共服务是指满足城乡居民生存、生活和发展所需要提供的公共服务,包括基础教育、医疗卫生、社会保障和就业等领域,是使每个公民都享受从未出生、出生、教育、就业到丧葬的终身服务[1]。它是公共服务范围中最核心和最应该优先保证的部分。基本公共服务均等化是我国为加速共同富裕、增进社会公平正义而全力推进的一项重大民生工程[2]。近年来国家不断推进基本公共服务均等化建设,特别是党的十九大报告强调到 2035 年基本实现基本公共服务均等化。

教育作为基本公共服务中最基础的部分,是对中华民族伟大复兴具有决定性意义的事业。其中,义务教育是由国家提供的、旨在提高国民素质的奠基工程,具有强制性、免费性、普及性的特点。目前我国义务教育的实施还存在着诸多问题,如城乡不平衡、地区差异大、优质教育资源稀缺等。其中,城乡的教育资源不平衡问题是社会各界关注的热点,随着城市优质教育资源的聚集,城乡两极分化愈发严重。因此,如何让有限的教育资源能得到动态的平衡供给,是教育均等化应当研究的方向。

在推进教育均等化的过程中,教育设施均等化是衡量教育均等化的一项重要指标[3]。关于教育设施均等化,国外的相关研究较早,着眼于教育设施的布局规划研究已得到落实应用,现多倾向于设施服务供给水平、可达性的评价研究[4][5]。2006 年《国家“十一五”规划纲要》提出“基本公共服务均等化”这一概念,国内研究也自此起步。张京祥等人以常州市基本教育设施为例,提出了基本教育设施均等化布局的原则和规范,指出规划应以地方特色与需求为基础[6]。矫德阳以珠海市香洲城区为研究区,基于地理网络分析和人口容量分析了该区教育设施分布的不足,并提出对未来城市规划的指导建议[7]。王贝妮则侧重于从教育机会和教育设施和服务水平方面构建评价体系,从多方面综合评估教育均等化[8]。王越以安徽省五河县为例利用空间分析模型和问卷调查法对教育设施均等化进行分析,提出研究教育设施

均等化同时要注重教育质量均等化[9]。叶娇利用地图数据,分析西安市雁塔区不同教育设施空间分布特征,总结该区域教育设施现存问题并提出相关策略[10]。显然,已有对于教育设施均等化的研究多以某区域为例通过建立相关模型以及问卷调查的方式,少有基于地理空间视角去理解教育设施的分布状况与影响机制,仅涉及某区域的总体性研究无法为教育设施未来规划提供有效信息。

以 POI (point of interest)数据为代表的大数据正逐步应用于地理学领域。在教育设施均等化的研究中应用少,而我国教育设施均等化研究依然存在较大的补充空间,地区不平衡、城乡差异大等问题突出[11]。因此,以 POI 数据为基础,借助 GIS 空间分析方法,尝试探讨教育设施的空间格局,并对教育设施的空间建设提出优化建议,具有一定的研究价值与现实意义。

2. 研究区概况

本文选取湖南省长沙市为研究区域(图 1),长沙市下辖 6 区 1 县,代管 2 个县级市,其中包括长沙市区(芙蓉区、天心区、岳麓区、开福区、雨花区、望城区)及长沙县、浏阳市、宁乡市;总面积 11,819 平方千米,常住总人口 1023.93 万人,城镇化率为 83.16%。截至 2022 年,长沙市学前教育毛入园率为 96.3%,义务教育入学率 100%,高中阶段毛入学率 96%,普通高校 58 所,高校总量位居全国第 8 名。

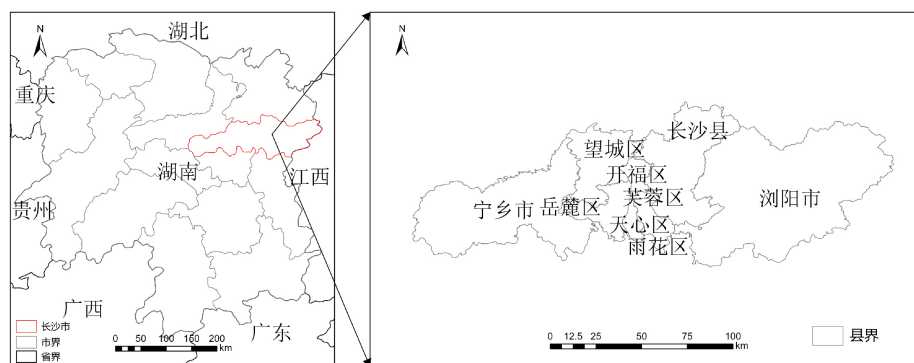


Figure 1. Schematic diagram of the study area

图 1. 研究区范围示意图

3. 数据来源与研究方法

3.1. 数据来源

参考许浩等的研究方案,将狭义的义务教育设施定义为小学和初级中学学校[12]。兴趣点(Point of Interest, POI)是表示真实地理实体空间的点状数据,每个 POI 包含四方面信息,名称、类别、坐标、分类能够直观地反映出各类设施和人类社会经济活动的空间关系。本文以高德地图作为数据源,利用 API 开放接口获取空间数据,数据获取时间为 2023 年 4 月,查询关键词为“长沙市小学”和“长沙市中学”。并通过对长沙市教育局等官方网站的数据信息筛选出义务教育阶段中学的学校数据。义务教育阶段学校包括普通小学、初级中学、职业初中、九年一贯制学校以及十二年一贯制学校小学段和初中段、完全中学初中段。因此,本文将包含多个学段的学校分别归纳到小学与初级中学数据当中,并进行学段标注。如:长沙市周南秀峰学校分为两个点数据,分别为周南秀峰学校(小学部)和周南秀峰学校(初中部)。

通过数据挖掘,筛选与清洗,共计获得长沙市 1086 个小学、343 个初中的 POI 数据点,数据内容包含了长沙市义务教育阶段学校的名称、经纬度位置、所在区县等属性信息。

根据长沙市的行政区划将获取的 POI 数据进行归类汇总,按不同学段分为小学和初中(表 1)。区县面积、人口密度数据来源于《长沙市统计年鉴 2022》。在 ArcGIS10.8 软件中将所获得的 POI 数据进行可视

化，由于 POI 数据使用的是 GCJ02 坐标系，长沙市界限数据为投影坐标系，所以将数据可视化后得到的点图层坐标进行转换，与界限坐标一致，具体如图 2(a)，图 2(b)所示。

Table 1. Compulsory education facilities in Changsha city districts and counties
表 1. 长沙市各区、县义务教育设施

行政区划	面积/(km ²)	人口密度/(人/km ²)	POI 数量/个		
			小学	初中	合计
岳麓区	558	2918	115	44	159
芙蓉区	42.8	15,213	39	8	47
天心区	141	6182	66	17	83
开福区	188	4653	67	24	91
雨花区	292.2	4384	91	25	116
望城区	969	994	124	38	162
长沙县	1756	813	135	35	170
浏阳市	5007.75	295	215	66	281
宁乡市	2906	485	234	86	320

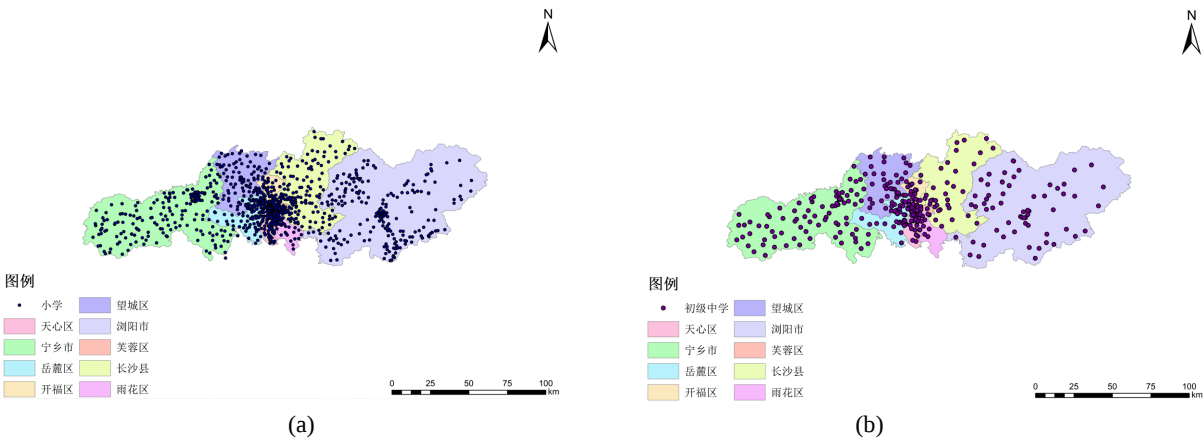


Figure 2. Distribution of the number of compulsory education facilities in Changsha ((a) Primary schools; (b) Middle schools)
图 2. 长沙市义务教育设施数量分布图((a) 小学; (b) 初中)

3.2. 研究方法

3.2.1. 核密度估计

核密度是通过对点要素的统计直观反映区域对象的空间布局情况[13]。计算过程中，距离任一设施点近的其他设施点将被赋予较高的权重，距离较远的则被赋予较低的权重，每一个设施点的估计密度都是其他研究区域所有数据点的加权平均密度。计算公式如下：

$$P_i = \frac{1}{n\pi R^2} \times \sum_j^n K_j \left(1 - \frac{D_{ij}^2}{R^2} \right)^2 \tag{1}$$

式中， P_i 为研究区域中第 i 个设施点的核密度； R 为选定规则区域的带宽； K 函数为空间权重函数； D_{ij} 为设施点 i 与研究对象 j 的距离($D_{ij} < R$ ，当 D_{ij} 达到一定值后， $R = 0$)； n 为在带宽 R 的范围内研究对象 j 的数量。

3.2.2. 标准差椭圆法

椭圆的大小用来反映空间格局总体要素的聚集程度, 偏角(长半轴)反映空间点分布的扩展方向。椭圆的长短半轴的值差距越大(扁率越大), 表示教育设施点空间分布的方向性越明显[14]。具体计算公式如下:

$$\tan \alpha = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 - \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 + \sqrt{c - \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 + 4 \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}) \right]^2}}{2 \sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})} \quad (2)$$

$$\delta_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left[(x_i - \bar{x}) \cos \alpha - (y_i - \bar{y}) \sin \alpha \right]^2}{n}} \quad (3)$$

$$\delta_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left[(x_i - \bar{x}) \sin \alpha - (y_i - \bar{y}) \cos \alpha \right]^2}{n}}$$

式中, α 为旋转方向角; n 为设施点数量; $(\bar{x}, \bar{y})$ 为质心坐标, 即到达各设施点最短的距离; δ_x 为椭圆的长轴长度; δ_y 为椭圆的短轴长度。

3.2.3. 空间自相关

空间自相关是通过对空间邻近区域单元属性值的度量来反映其相似程度[15], 全局莫兰指数(Global Moran's I)取值范围在-1.0 到 1.0 之间, 越接近-1 则代表单元间的差异越大或分布越不集中, 越接近 1 则代表单元间的关系越密切、性质越相似, 接近 0 则代表单元间不相关[16]。具体计算公式如下:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

其中, x_i 为区域 i 的属性值, C 为空间权矩阵, C_{ij} 代表空间单元 i 和 j 之间的影响程度, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ 。

对于全局莫兰指数, 可以用标准化统计量 $Z(I)$ 来检验空间自相关的显著性水平。 $Z(I)$ 的计算公式为[16]:

$$Z(I) = \frac{I - E(I)}{\sqrt{\text{Var}(I)}} \quad (5)$$

$\text{Var}(I)$ 是莫兰指数的理论方差, $E(I) = -1/(n-1)$ 为其理论期望。

3.2.4. 相关性分析

皮尔逊相关系数用于衡量自变量和因变量之间的相关关系, 反映两个及两个以上变量之间的关联程度[17]。其变化范围为-1~1 之间, 其中正值表示正相关, 负值表示负相关, 越靠近 0 则表示相关性越弱[18]。

4. 结果分析

以长沙市的 6 区 3 县作为分析单元, 从设施数量与空间布局以及影响因素三方面探讨义务教育阶段教育设施的空间格局及其形成机理。

4.1. 设施数量特征

4.1.1. 教育设施点状分布情况

将长沙市小学教育设施 POI 数据导入 ArcGIS, 反映出如下特征:

(1) 小学教育设施总体数量多, 各区分布总量大; (2) 中心主城区形成了一个高度聚集中心区, 说明城市化、人口分布影响小学教育设施数量; (3) 西部浏阳市受地形影响, 小学呈现东北-西南的带状分布趋势; (4) 其余地区小学教育设施数量少, 分布较为均匀。

将长沙市初中教育设施 POI 数据导入 ArcGIS, 反映出如下特征:

(1) 初中教育设施总体数量少于小学; (2) 中心城区学校数量多; (3) 受地形影响, 浏阳市呈现东北-西南带状分布特征; (4) 其他区域均呈现较为均匀的点状分布特点。

4.1.2. 教育设施覆盖度分析

中国《城市居住区规划设计标准》规定十分钟生活圈居住区(15,000 人~25,000 人)应配建一所小学, 十五分钟生活圈居住区(50,000 人~100,000 人)应配建一所初中[19]。根据长沙市各区县常住人口的数量, 计算出小学与初中教育设施数量的理论需求区间(单位: 所), 并结合实际学校 POI 数量, 分析教育设施的覆盖度(图 3)。

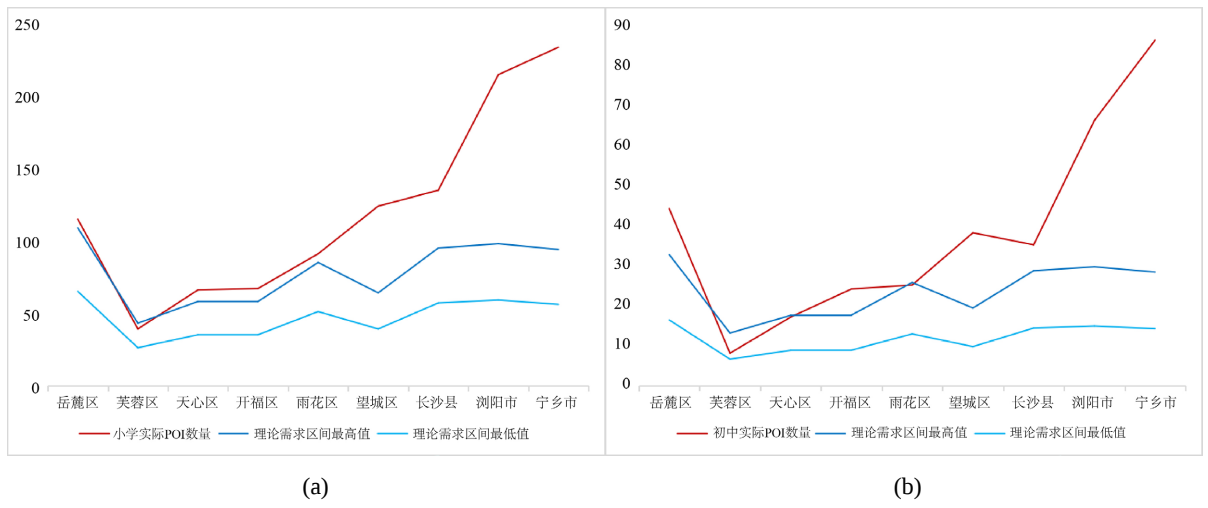


Figure 3. Comparison of theoretical demand intervals and actual number of POIs for compulsory education facilities ((a) Primary schools; (b) Lower secondary schools)

图 3. 义务教育设施理论需求区间与实际 POI 数量对比图((a) 小学; (b) 初中)

小学教育设施: 望城区、长沙县、浏阳市、宁乡市实际数量明显超出理论需求区间; 其余区县围绕理论需求空间最高值小范围浮动。

初中教育设施: 芙蓉区初中学校数量最少, 接近理论需求最低值; 望城区、浏阳市、宁乡市则超出明显; 其余区县基本符合理论需求。

总体来说, 长沙市各区县义务教育学校设施数量均符合国家最低标准要求, 但基于长沙市实际就学情况[20], 改善学生就学环境, 芙蓉区亟需推进义务教育阶段学校数量的提升。

4.2. 空间分布特征

将长沙市小学和初级中学教育设施 POI 数据导入 ArcGIS, 并进行空间分析。

4.2.1. 核密度估计

对长沙市小学与初中教育设施进行核密度分析, 结果如图 4 所示。总体上看小学和初中教育设施都存在明显空间不均衡性, 呈现“一高两中、三核心集聚分布”的特征:

(1) 一个高密度聚集区：长沙市中心城区教育资源高度聚集，“极核化”特征明显；(2) 两个中等密度聚集区：宁乡市北部城区、浏阳市中部城区。

但二者分布也存在不同：(1) 初中教育设施在中心城区的外围衰减特征比小学更加平缓，涉及范围更广；(2) 义务教育阶段教育设施在周边山区均有缺失。其中，初中教育设施缺失范围大于小学，体现初中教育设施辐射范围更广的特点[21]。

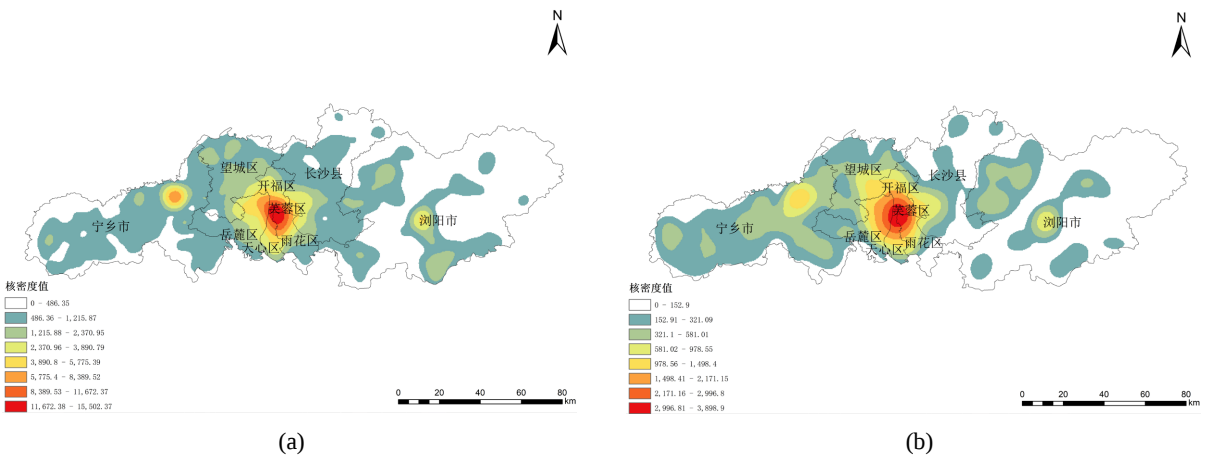


Figure 4. Distribution of nuclear density of compulsory education facilities in Changsha ((a) Primary schools; (b) Middle schools)

图 4. 长沙市义务教育设施核密度分布图((a)小学；(b) 初中)

4.2.2. 标准差椭圆法

通过对长沙市义务教育设施 POI 数据进行标准差椭圆分析，结果如图 5 所示：以长沙市中心城区为重心，两类教育设施的标准差椭圆的长轴方向均指向东西，呈现明显“东 - 西方向”扩展的分布趋势，与长沙市整体轮廓特征相符[22]；但教育设施扩展趋势略有不同，小学向东往浏阳市扩展趋势强，初中向西往宁乡市扩展趋势更强。

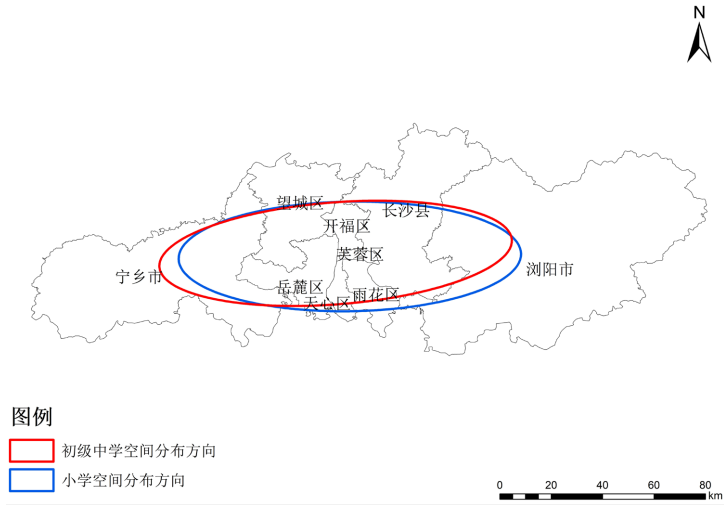


Figure 5. Ellipse distribution of standard deviation of compulsory education facilities in Changsha City

图 5. 长沙市义务教育设施标准差椭圆分布图

4.2.3. 空间自相关分析

对于小学、初级中学两类 POI 数据进行全局空间自相关分析。表 2 中莫兰指数均为正值，p 值均小于 0.1，表明长沙市小学与初中教育设施的分布模式均呈空间正相关，空间聚集特征明显。

Table 2. Results of spatial autocorrelation analysis
表 2. 空间自相关分析结果

教育设施	Moran's I	z 值	p 值	置信度
小学	0.277132	3.654443	0.000258	99%
初级中学	0.358479	2.416846	0.015656	95%

4.3. 影响因素分析

教育设施的空间分布特征，受到城市经济、人口、政策等多方面因素的影响，不同教育阶段的教育设施影响因素亦不同。本研究基于城市区域面积、常住人口、学生在校人数、人均可支配收入等方面数据，借助 SPSS 27.0 尝试探究教育设施分布不均的影响因素。相关分析(表 3)中，以 p 值 < 0.05 为标准，剔除相关性不显著的值，得出相关性较强的主要变量，其中，相关系数位于 0.8~1.0 之间表示极强相关、0.6~0.8 之间表示强相关[23]。

不同阶段教育设施数量的影响因素各有差异。(1) 小学教育设施数量与城市面积、一般公共预算支出中教育支出、一般公共预算支出以及常住人口数量呈正相关关系，说明城市规模的扩大，人口的增长以及教育资金和城市建设投入的增长，都需要增加小学教育设施的数量。(2) 初中教育设施数量与城市面积呈显著正相关，随着城市常住人口数量、初中生在校人数的增加，初级中学的数量要随之增加，一般公共预算支出中教育支出也随之增长。(3) 就整个义务教育阶段而言，城市区域面积依然与之呈显著正相关，教育经费的投入、师资规模、学生数量以及城市常住人口的增加和一般公共预算支出的增长推动着教育设施的配套建设。(4) 整个义务教育阶段的教育设施数量都与城市的人均可支配收入、人口密度呈现较为显著的负相关关系，说明经济发展越快和人口密度越大的地区越需要加强义务教育设施的建设。

Table 3. Results of Pearson's correlation analysis
表 3. 皮尔逊相关分析结果

因变量	指标分类	自变量	相关系数	p 值
小学 POI 数量	城市规模	面积	0.896**	0.001
	教育资金投入	一般公共预算支出中教育支出	0.801**	0.010
	城市建设投入	一般公共预算支出	0.719*	0.029
	人口数量	常住人口数量	0.705*	0.034
	城市经济	人均可支配收入	-0.865**	0.003
	人口分布	人口密度	-0.749*	0.020
初中 POI 数量	城市规模	面积	0.808**	0.008
	学生规模	初中生在校人数	0.712*	0.031
	人口数量	常住人口数量	0.695*	0.038
	教育资金投入	一般公共预算支出中教育支出	0.685*	0.107
	城市经济	人均可支配收入	-0.795*	0.010
	人口分布	人口密度	-0.718*	0.029

续表

义务教育设施 POI 数量	城市规模	面积	0.877**	0.002
	教育资金投入	一般公共预算支出中教育支出	0.773*	0.014
	师资力量	上一年度初中教师招聘人数	0.720*	0.029
	学生规模	初中生在校人数	0.714*	0.031
	人口数量	常住人口数量	0.706*	0.033
	城市建设投入	一般公共预算支出	0.683*	0.042
	城市经济	人均可支配收入	-0.851**	0.004
	人口分布	人口密度	-0.745*	0.021

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

5. 结论

本研究以长沙市六区三县义务教育阶段学校设施的 POI、城市面积、人口数量等数据为基础, 利用 ArcGIS 10.8、SPSS27.0 等软件, 对教育设施数据进行空间格局与影响因素的探究。得出以下结论:

总体上中心城区数量多, 外围地区少; 教育设施数量符合国家标准。空间分布上极核化特征明显, 教育设施以中心城区为核心呈现明显东西向扩展的分布趋势。从影响因素上看: 相关系数有正有负, 表示不同的影响因素对不同的教育设施空间分布发挥着正向推动或负向抑制作用。

基于上述研究结果, 要提升长沙市教育资源的供给平衡, 长沙市新增设的义务教育学校可优先考虑芙蓉区、天心区、雨花区; 同时, 增加市区外围的教育支出, 缓解中心城区就学压力; 在充分考虑人口分布和城市经济增长对教育设施数量的影响的情况下, 宜加快配套教育设施的完善; 而针对农村范围较大的望城区、浏阳市和宁乡市, 要在稳住农村地区教学点的情况下, 提升乡村教育质量。

需要注意的是, 本研究是利用 POI 数据进行教育均等化研究的一次有益的尝试, 仅针对义务教育设施数量与其空间分布进行了探讨, 尚未考虑学校规模、学校硬件设备水平等其它因素, 因此, 进一步综合多因素, 系统研究教育设施均等化将是后续研究的工作重点。

参考文献

[1] 赵福昌, 孙维. 我国基本公共服务均等化的基本事实、问题与建议[J]. 甘肃社会科学, 2023(5): 228-236.

[2] 尚虎平, 石梦琪. 基本公共服务均等化事业的理论归依——习近平新时代中国特色社会主义思想对基本公共服务均等化的理论奠基探析[J]. 理论探讨, 2021(6): 62-69.

[3] 汪凡, 白永平, 周亮, 纪学朋, 徐智邦, 乔富伟. 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.

[4] Koenig, J.G. (1980) Indicators of Urban Accessibility: Theory and Application. *Transportation*, 9, 145-172. <https://doi.org/10.1007/bf00167128>

[5] Castillo-López, I. and López-Ospina, H.A. (2015) School Location and Capacity Modification Considering the Existence of Externalities in Students School Choice. *Computers & Industrial Engineering*, 80, 284-294. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.12.015>

[6] 张京祥, 葛志兵, 罗震东, 孙姗姗. 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.

[7] 矫德阳, 原源, 江文亚. 城市更新中的教育设施均等化布局研究——以珠海市香洲城区为例[J]. 中国市场, 2016(21): 63-66.

[8] 王贝妮. 顺德区基础教育均等化规划探索[J]. 城市发展研究, 2014, 21(8): 69-75.

[9] 王越, 王启轩, 王海琴. “均等化”视角下的县域教育设施配置研究——以安徽省五河县为例[J]. 现代城市研究,

- 2021(8): 83-90.
- [10] 叶娇, 李雨桐. 基于 POI 的西安雁塔区教育设施布局分析与优化[J]. 城市建筑, 2023, 20(4): 69-72, 95.
 - [11] 唐名阳, 陈奕云, 刘艳芳, 陈龙, 张翔晖. 宁波市基本教育设施均等化研究——以公立小学为例[J]. 现代城市研究, 2018(5): 24-32.
 - [12] 许浩, 周子康, 孔德莉, 等. 武汉市基础教育资源与居民点空间耦合分析[J]. 经济地理, 2019, 39(8): 87-94.
 - [13] 何炬, 张雪松, 邓振, 李德寿, 张晗, 张茂茂. 低山丘陵地区农村居民点空间分布特征及影响因素——以湖北省随县为例[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(14): 310-315.
 - [14] 刘玲, 李钢, 杨兰, 等. 深圳市快递自提点的空间分布特征与影响因素[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(8): 1240-1253.
 - [15] Getis, A. and Ord, J.K. (1992) The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis*, 24, 189-206. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1992.tb00261.x>
 - [16] 张松林, 张昆. 全局空间自相关 Moran 指数和 G 系数对比研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2007, 46(4): 93-97.
 - [17] 赵源上, 林伟芳. 基于皮尔逊相关系数融合密度峰值和熵权法的典型新能源出力场景研究[J]. 中国电力, 2023, 56(5): 193-202. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3265.TM.20230227.0856.006.html>
 - [18] 刘若男, 辛义忠, 李岩. 基于皮尔逊相关系数的动态签名验证方法[J]. 仪器仪表学报, 2022, 43(7): 279-287.
 - [19] 吴夏安, 徐磊青, 仲亮. 《城市居住区规划设计标准》中 15 分钟生活圈关键指标讨论[J]. 规划师, 2020, 36(8): 33-40.
 - [20] 周健, 黄军林, 段献. 基于 GIS 的基础教育设施空间均等化测度研究——以长沙市为例[C]//中国城市规划学会, 重庆市人民政府. 活力城乡 美好人居——2019 中国城市规划年会论文集(05 城市规划新技术应用). 北京: 中国建筑工业出版社, 2019: 1228-1237.
 - [21] 刘庆芳, 宋金平. 西藏自治区县域基础教育设施空间分布格局及其影响因素[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(7): 84-92.
 - [22] 徐艳芳, 杨宇亮. 基于 POI 数据的昆明市快递服务设施空间差异化格局与均等化策略[J]. 住区, 2022(5): 56-63.
 - [23] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 434-749.