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

杨慧敏¹, 张香玲², 李立^{3*}, 李小建¹, 王兵²

(1. 河南大学环境与规划学院/黄河文明与可持续发展研究中心, 河南 开封 475001; 2. 河南省国土资源调查规划院, 郑州 450016; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所/国际生态系统管理合作伙伴计划, 北京 100101)

摘要:山区贫困县具有经济落后、交通不便、人口分散且居住空间格局快速变化等特点,使得其中小学空间格局变化及可达性分析在教育公平中具有重要意义。本文以豫西山区贫困县嵩县为例,利用1997、2007、2015年中小学数据,运用趋势面分析和引力模型等方法对其空间格局变化及其空间可达性进行研究。主要结论为:①嵩县中小学空间布局在一些地形条件地区局部集中;小学在浅山丘陵区 and 低山区分布相对较多,初中则局部集中在浅山丘陵区;②撤点并校使中小学数量减少,各行政村内学校数量的分布差距缩小,趋势线逐渐平缓;③Voronoi模型的Cv值结果显示,中小学空间分布呈集聚分布状态,随着中小学数量的减少其空间集聚程度逐渐下降,在县域北部沿东北—西南走向呈现面状密集分布区,沿境内两条主要干线路(G311和S247)分别形成南北和东西向狭长带状分布区;④2015年中小学空间可达性区域差别明显,小学最远入学距离为最近入学距离的160倍,有26.1%的村庄初中入学距离达10 km以上,且全部位于中山和低山地区;⑤地形、交通、人口、经济、政策因素等对嵩县教育资源的分布具有重要影响。

关键词:小学和初级中学;空间格局;空间可达性;山区贫困县;嵩县

中国自1986年开始实施《义务教育法》,在全国普及九年义务教育,基础教育水平和质量明显提高,但由于地区经济发展水平、人口分布密度、家庭教育观念、教育重视程度、地方政府支持力度等方面的不同,使得各区域义务教育发展的均衡程度存在一定差异(翟博, 2007)。同时,中国山区(包括丘陵和高原)面积占全国总面积的69.1%,地形崎岖、交通不便、经济落后、人口分散且人口变化速度快等特点,使得山区教育发展相对滞后。在2015年国务院扶贫开发领导小组办公室发布的《国家扶贫开发工作重点县名单》中,全国贫困县总数为592个,其中中部省份217个,西部省份375个,且贫困县大多分布于山区。山区贫困县义务教育资源空间布

局和空间可达性的研究,对于山区贫困县教育资源空间优化具有较为重要的现实意义,同时可为教育扶贫提供一定的借鉴。

1 文献述评

教育资源的空间布局及合理性规划是实现教育资源均衡发展的重要前提。国内外学者相关研究集中在教育资源空间布局的合理性以及对教育资源分配的影响。Taylor等(1999)基于GIS空间分析技术整体规划了美国北卡州约翰斯顿县学校和社区的布局,且证实重新规划能降低交通对择校的影响作用,使得上学成本整体减小,同时更有助于

收稿日期:2017-12-19;修订日期:2018-03-22。

基金项目:国家自然科学基金项目(41471117);教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(16JJD770021) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41471117; Major Projects in the Research Base of Humanities and Social Sciences in the Ministry of Education, No. 16JJD770021]。

作者简介:杨慧敏(1989-),女,河南汝州人,博士研究生,主要从事城乡发展研究,E-mail: yanghuimin1989@126.com。

通讯作者:李立(1985-),男,河南开封人,博士后,研究方向为农区可持续发展,E-mail: li.li@unep-iemp.org。

引用格式:杨慧敏,张香玲,李立,等. 2018. 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, 37(4): 556-566. [Yang H M, Zhang X L, Li L, et al. 2018. Changing spatial pattern and accessibility of primary and secondary schools in a poor mountainous county: A case study of Song County, Henan Province[J]. Progress in Geography, 37(4): 556-566. DOI: 10.18306/dlkxjz.2018.04.011]

教育资源的优化配置。Hanley(2007)通过分析美国爱荷华州学校空间服务面积和交通之间的关系,测算得到学校的空间服务面积与交通网络布局有着重要关系(Hanley, 2007)。中国学者侧重于研究教育资源的空间配置理论和学校布局的背景、动因、成效及学校空间布局对贫困地区弱势群体的负面影响(罗明东, 2003; 庞丽娟, 2006; 范先佐等, 2009)。

Hansen 于 1959 年最先提出空间可达性概念,即交通网络中不同节点之间相互作用程度的大小。随后空间可达性分析相继应用于包括交通地理、公共服务区位确定及评价、景观布局、城市规划等各个领域(吴威等, 2010; 韩艳红等, 2012; 湛丽等, 2013; 李孟桐等, 2016; 程敏等, 2018)。随着 GIS 应用技术的发展以及空间可达性应用领域的扩展,可达性分析也常被应用于教育资源的分析和规划中(Malczewski et al, 2000; 吉云松, 2006)。中国学者运用比例模型(张雪峰, 2008)、最近距离模型(孔云峰等, 2008; 赵丹等, 2012)、引力模型(孔云峰等, 2011; 汤鹏飞等, 2017)、Huff 模型(张静华等, 2015)、移动搜寻法(沈怡然等, 2016)、等值线法(吕毅, 2005; 张鲜鲜等, 2015)等,对教育资源空间可达性进行度量。基于 GIS 技术的教育资源空间可达性分析成果较多,所用方法各有侧重,趋势面分析和引力模型可较好地分析可达性及空间分布变化。

针对山区教育资源布局分析方面,有学者分析发现,2003-2009 年广东省某山区县由于农村学校撤并导致学生上学的物理距离和时间距离增加,加大了学生的上学难度,对学生的文化距离产生了不利影响(赵丹等, 2012);而河谷型城市兰州的教育资源空间分布较不均衡,中学教育设施在狭长地形的东西两端分布较少,而在城关区高度聚集(谢婷婷等, 2014);武陵山区乡村学校在 2004-2014 年的分布集聚区主要位于沿江平坝区河谷区,且乡村学校空间格局逐渐改变不协调、不均匀、不合理的发展状况(赵晨旭等, 2016)。与此同时,教育资源的空间格局变化受多种因素的综合影响,其中,教育服务价格、教育资源多寡、教育体制和政策等因素影响着区域教育服务供给水平(瞿华, 2006),区域地形、经济发展、交通区位状况对教育资源的空间分配产生影响(赵晨旭等, 2016),政府的教育财政投入对于促进地区教育均等化过程中具有重要作用(Killeen et al, 2000; 刘光俊等, 2013);而转型时期制度的变迁、经济的发展、资源配置方式的变化等则对农村

义务教育发展产生着冲击(许昆鹏等, 2007)。总的来看,山区特殊的地形条件,影响教育资源的均衡分布,尤其在贫困山区,其经济实力较差、交通不便和人口分散等又进一步制约着教育资源的均等化。

结合国内外相关研究,学者们在教育资源空间格局变化和空间可达性方面研究取得了丰硕成果,对后续研究有一定借鉴意义。但是,对教育资源空间格局变化的研究多集中在城市或经济较发达地区,对贫困山区研究相对较少。同时,基于数据的可得性,相关研究多选择单一年份分析,缺乏空间对比研究。而改革开放以来的快速城镇化又使得人口发生较大空间变化,中小学撤并调整也带来教育资源较大的空间变化。基于此,本文选取河南省山区贫困县嵩县作为研究案例区,以 1997、2007、2015 年嵩县中小学的空间位置、区域交通状况、人口数据及 2015 年中小学教育数据为基础,分析研究区中小学空间格局变化过程,在此基础上对中小学空间可达性程度进行研究,旨在厘清贫困山区县域教育发展状况,并对教育资源的均衡发展提供优化建议。

2 研究区域、数据及方法

2.1 研究区域概况

嵩县位于河南省洛阳市西南部,地处伏牛山北麓及其支脉外方山和熊耳山之间,因处于嵩山起脉而得名(图 1)。该县是秦巴山区国家连片特困地区重点县之一。地理坐标范围为东经 $111^{\circ}24' \sim 112^{\circ}22'$,北纬 $33^{\circ}35' \sim 34^{\circ}21'$ 。东西最宽约 62 km,南北长约 86 km,总面积 3008.9 km²。下辖 16 个乡镇、318 个行政村。2015 年总人口 59.63 万,其中农业人口 49 万,县域人口密度 197 km²/人。全县地势自东北向西南逐渐隆起,低山和中山区面积占县域总面积的 78.64%,其中海拔 500 m 以下的浅山丘陵区仅占 21.36%。

1997-2015 年嵩县中小学数量、在校学生数、教职工数等均有所变化(表 1)。小学在校学生数逐渐减少,初中在校学生数有所增加,中小学教职工人数呈现不同幅度的增加趋势。同时,由于对教育资源的优化整合,嵩县中小学进行了大规模的撤点并校,导致中小学学校数量逐渐减少。其中,2015 年与 1997 年相比,小学和初中的学校数量分别减少了 130 所、30 所。

2.2 数据来源

文中使用数据来源:①由嵩县交通局提供交通图和小学、初中地理分布数据。②从河南统计年鉴、嵩县统计年鉴获取嵩县行政村人口和经济发展数据。③通过电话采访60余名教育工作者和实地调研获取基础教育统计数据以及各乡镇撤点并校、教师队伍建设、教学点汇总等部分文字资料。

2.3 研究方法

2.3.1 趋势面分析

趋势面分析是模拟地理系统要素在空间上布局变化的一种常用数学方法,常被用来模拟人口、资源、环境等要素的空间变化趋势(徐建华, 2002)。其构建原理如下:

设 $Z_i(x_i, y_i)$ 是第 i 个样本的观测值, (x_i, y_i) 是平面坐标值, 则

$$Z_i(x_i, y_i) = T_i(x_i, y_i) + \varepsilon_i \quad (1)$$

$$T_i(x_i, y_i) = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 y + \beta_3 x^2 + \beta_4 y^2 + \beta_5 xy \quad (2)$$

式中: $T_i(x_i, y_i)$ 为趋势函数; ε_i 为残差值, 即真实观测值与趋势值的偏差; $\beta_1, \dots, \beta_5$ 是趋势函数中变量系数; β_0 为常数项。

2.3.2 Voronoi 多边形

Voronoi 多边形是根据已有离散点将研究区进行平面划分, 划分的区域平面数与离散点数相同,

且区域之间互不重叠、相交, 每个区域仅包含一个离散点, 区域内任一点到区域内部离散点距离最小(覃瑜等, 2012)。在 Voronoi 多边形构建基础上, 通过多边形面积测算得到的变异系数 C_v 则可用于衡量要素在空间上相对变化程度。计算公式如下:

$$C_v = (Std / Ave) \times 100\% \quad (3)$$

式中: Std 和 Ave 分别表示 Voronoi 多边形面积的标准差和平均值。利用 C_v 值分析点模式时, Duyckaerts 等(2000)提出3个建议值: 当 C_v 值 $>64\%$ 时, 点集为集群分布; 当 C_v 值 $<33\%$ 时, 点集为均匀分布; 当 C_v 值介于 $33\% \sim 64\%$ 之间时, 点集为随机分布。本文据此来判断研究区小学、中学的空间分布模式。

2.3.3 引力模型

引力模型通过考虑学校的服务能力和学校周边人口、设施等因素的情况, 结合就近入学原则, 计算研究区中小学的可达性水平(孔云峰等, 2008, 2011)。其公式为:

$$A_{ij} = S_j / D_{ij}^\beta \quad (4)$$

式中: i 表示某一行政村; S_j 为第 j 个学校的服务能力; D_{ij} 为行政村 i 到学校 j 的距离; β 为距离阻抗系数。如果考虑学校周边人口/学生数量分布差异, 可在引力模型中增加行政村人口/学生数, 能使模型更客观地反映实际情况。这样, 引力模型可改进为:

图1 研究区区位图

Fig.1 Location of the study area in Henan Province

$$A_{ij} = S_j / (D_{ij}^\beta \times V_j) \tag{5}$$

式中： $V_j = \sum_k (P_k / D_{kj}^\beta)$ 为学校 j 周边人口/学生数计算得到的指数； P_k 为学校 j 周边行政村 k 的人口/学生数。

表1 1997、2007和2015年嵩县中小学发展情况统计
Tab.1 Statistics of primary and secondary schools in Song County in 1997, 2007 and 2015

年份	学校数/所		在校学生数/人		教职工人数/人	
	小学	初中	小学	初中	小学	初中
1997	532	53	72160	19507	2532	1421
2007	435	24	58414	26869	2562	1681
2015	402	23	57455	24483	2844	1985

3 结果分析

3.1 空间格局变化

3.1.1 空间总体趋势变化

借助于 ArcGIS 10.2 软件平台,利用趋势分析工具对嵩县 1997、2007 和 2015 年各行政村内中小学校数量进行空间趋势面分析,即将行政村内小学、初中的分布数量作为高度属性值(Z值),通过拟合生成三维透视图(图2)。

图 2a-2c 为各行政村内小学学校数量的趋势分布图。可以看出,1997-2015 年在嵩县东西方向上行政村内小学学校数量分布表现为西高东低,且东

图2 1997、2007和2015年嵩县各行政村小学/初中数量趋势图
Fig.2 Trend analysis of the number of primary and secondary schools in Song County, 1997, 2007, and 2015

西方向上行政村内小学数量之间的差距逐渐减小。在南北方向上行政村内小学数量分布由北少南多逐渐变化为南北相对均匀分布。1997年研究区行政村内分布的小学学校数量均值为1.6个(标准差为1.32),至1995年和2015年分别下降至1.30个(0.86)和1.21个(0.84)。

图2d-2f为各行政村内初中学校数量的趋势分析图。可以看出,1997-2015年在东西方向上和南北方向上行政村内初中学校数量空间分布相对均匀,但数量逐渐下降。1997年研究区行政村内分布的初中学校数量均值为0.16个,至1995年和2015年均降至0.07个,标准差分别为0.40、0.27、0.28。

1997-2015年随着嵩县教育事业的不断改革和发展,区域学校数量也在逐渐发生变化。随着大量教学点的撤并,行政村内小学、初中学校数量的分布在空间分布上逐渐变化,研究时段内有86个行政村内的小学数量减少,35个行政村内的初中学校数量减少。整体来看,各行政村内小学和初中数量的差异有所减弱。

3.1.2 空间分布模式变化

以区域内小学/初中所在位置为发生点构造区域内学校点位的Voronoi多边形。同时,依据地形条件将嵩县地形划分为3种类型:500 m以下的浅山丘陵区,500~1000 m的低山区和1000 m以上的中山区,与Voronoi图进行叠加分析(图3)。然后,根据Voronoi多边形面积计算Cv值,并据此判断嵩县中小学的空间分布模式(表2)。

嵩县3个年份的中小学Cv值均大于临界值64%(表2),说明小学、初中在空间上均呈集聚分布状态。其中,1997年和2007年撤点并校使学校数量不断减少,空间集聚程度下降。其中,小学的Cv值变化较大,说明撤点并校对小学的空间分布影响较为显著;而初中的空间集聚程度有所减弱,但由于嵩县初中学校数量相对较少,空间分布分散,初中学校数量的减少对其空间集聚程度的影响较小。

从嵩县小学空间分布的Voronoi多边形图可以看出,在嵩县北部形成沿主要交通线形成东北—西南走向的面状密集分布区,此面状分布区与浅山丘陵区高度重合,且低山丘陵区学校数量明显较多,与浅山丘陵区东北宽西南窄的分布形态有关;在嵩县东部和南部分别沿S247、G311形成2条狭长的密集分布带,小学沿干线公路集中分布。

3.2 空间可达性分析

利用最近入学距离、中小学吸引力、行政村人口等指标,选取2015年义务教育阶段的基础数据,运用最近距离模型和引力模型对嵩县中小学的可达性水平进行研究。

3.2.1 最近入学距离变化

最近距离模型是以各行政村为中心,计算行政村与其最近学校之间的路网距离,并以其距离长短作为可达性的度量标准。由于在实地调研中实际路网数据获取困难,本文选取最近直线距离作为度量标准。一般而言,距离越近的学校可达性程度越高,学生就近入学几率相对越大。以嵩县2015年

图3 1997、2007和2015年嵩县小学Voronoi多边形图

Fig.3 Voronoi polygons of primary schools in Song County, 1997, 2007, and 2015

表2 1997、2007和2015年嵩县中小学Voronoi多边形Cv值及空间分布模式

Tab.2 Cv values and spatial distribution types of schools in Song County, 1997, 2007, and 2015

学校类型	1997年	2007年	2015年	空间分布模式
小学	272.42	245.56	244.17	集聚
初中	105.55	104.96	102.44	集聚

318个行政村为基础,计算其与402所小学、23所初中之间的最近入学距离,并进行可视化制图(图4)。

由图4分析得出,①嵩县各行政村小学最近入学距离均值为448.55 m,均方差为460.21 m。有221个行政村(占行政村总数的69.50%)最近入学距离在500 m以内,75个行政村入学距离为500~1000 m,22个行政村入学距离超过1000 m。而最远入学距离(4976.48 m)约是最近入学距离(31.04 m)的160倍,说明教育资源在各行政村之间分配不均衡,教育发展存在极化现象。②嵩县各行政村初中最近入学距离均值为4400.52 m,均方差为3110.73 m。有196个行政村(占总数的61.64%)最近入学距离在4500 m以内,39个行政村入学距离为4501~6000 m,83个行政村在6000 m以上。其中19个行政村入学距离达到10 km以上,且全部位于低山区;有12个行政村入学距离在500 m以下,主要分布在浅山丘陵区。表明嵩县各行政村初中学校空间分

布的均衡程度整体较低,且与地形分布密切相关;地势越低地形越平坦,行政村与学校之间的可达性水平就越高。③整体上,可达性程度较高的行政村多集中在中心城镇附近,受中心城镇辐射影响,经济发展快、交通便利、人口密集、教育质量高,而那些远离发展中心且资源组合相对较差的区域其入学距离相对较大。

3.2.2 引力模型分析

为进一步分析嵩县小学、初中规模和学校周边人口分布情况,利用引力模型和改进引力模型计算中小学校的可达性指标,得到各行政村学生上学的相对便捷程度,并对此进行自然间断点分级制图(图5-6)。其中,学校规模使用每个小学/初中的教学班级数分别进行衡量,改进引力模型考虑学校周边人口规模通过行政村人口数据进行测算,距离指标仍采用最近邻直线距离。在医疗、教育等领域,距离阻抗系数通常取值为1~2之间(孔云峰等,2008),文中通过对引力模型可达性指标的计算,当 $\beta=1$ 时可达性结果更接近嵩县实际情况。

(1) 小学空间可达性指标分析。整体上,小学空间可达性程度较高的行政村多集中分布在城关镇、库区乡、大坪乡、闫庄镇、车村镇等地区。这是由于距离这些行政村最近的小学教学班数量相对较多,且在乡镇范围内分布的小学数量较多,部分

图4 2015年嵩县各行政村最近入学距离
Fig.4 The nearest schools to administrative villages in Song County, 2015

图5 2015年嵩县小学空间可达性指标

Fig.5 Spatial accessibility indicator values of primary schools in Song County, 2015

图6 2015年嵩县初中空间可达性指标

Fig.6 Spatial accessibility indicator values of secondary schools in Song County, 2015

行政村到最近小学的直线距离较短,使其可达性指标相对较高。空间可达性处于中等水平的行政村主要分布在浅山丘陵区 and 低山区交界地带,木植街乡和黄庄乡的低山区也分布较多,而受地形因素的影响,旧县镇、白河镇范围内的行政村可达性程度

较低,这些地区的小学教学点分布相对稀疏,行政村到最近小学的距离相对较远,其可达性指标较小。在改进引力模型中加入行政村人口因素后发现,各行政村空间可达性指标发生了变化,说明地区人口密度对学校空间可达性程度有重要影响。

由于距学校最近行政村人口分布密集时,学校对周边其他村庄的吸引力会较小,但教学班级数量的限制也使得部分行政村空间可达性有所下降。其中,与原引力模型结果对比,42.07%的行政村可达性等级保持不变,29.45%的行政村可达性等级呈现上升状态。

(2) 初中空间可达性指标分析。2015年各行政村到初中的可达性程度存在较大的空间差异,多数行政村可达性指标处于中等偏下水平。由于嵩县中学数量为23所,距离学校较远的行政村其可达性指标较小,而距离学校较近的行政村其可达性指标相对较大。在加入行政村人口因素后,部分行政村到学校的可达性等级发生变化。其中,与原引力模型结果对比,83.65%的行政村可达性等级保持不变,仅11.32%的行政村可达性等级呈现上升状态。

综合嵩县小学、初中的可达性指标测算发现,其教育资源可达性存在较大的空间差异,部分行政村之间教育资源分配差别明显,存在极化现象。

3.3 教育资源分布影响因素

3.3.1 地形和交通因素

在山地地区中,地形和交通状况对学校的空间布局 and 空间可达性程度具有重要影响。嵩县山地面积分布较大,一方面,地形条件影响学校数量分布。2015年嵩县浅山丘陵区小学和初中分别为239所、19所,低山区分别有161所、4所,中山区仅有小学2所,初中0所。可见随着地势的升高学校数量分布逐渐减少。由此,一方面使得居民一定范围内可供选择的学校数量下降,入学成本增加,相应教育均等化发展水平下降;另一方面,地形影响学校位置分布,主要是通过影响交通网络的空间分布而实现的。随着交通网络的不断完善,学校对交通的依赖也越来越强,而交通发展又受地形因素制约。据2015年嵩县交通网络分布,浅山丘陵地区交通网络较为发达,各大交通干线相互交织;低山区主要沿河谷地带分布有交通线,中山区交通线分布较少,而学校则沿交通线密集分布。以2015年学校分布为例,G311国道横穿车村镇,在国道附近分布有众多小学和初中,S247与国道相交,在此形成了学校聚集分布区;S322在浅山丘陵地带呈东北—西南走向,在此形成一个学校数量相对较多的聚集分布区域;S247、S322、S325在田湖镇与库区乡交界处相交形成第二个学校聚集分布地区;白河镇的经济和

地形条件均不利于教育的发展,但由于S331、S248和多条县道、乡道在此交汇而形成高密度集聚区。

3.3.2 人口因素

人口对教育资源空间布局的影响主要是通过人口数量和人口分布而起作用的。通常情况,地势平坦的平原地区是人类活动的主要区域,这类地区通常经济发展条件相对优越,交通便利,各类经济社会活动开展也相对容易。以2015年嵩县的各行政村小学布局为例,将嵩县318个行政村的人口数据划分为3个等级。其中,2000人以上的行政村有89个,该类行政村主要分布在浅山丘陵地区,低山区分布较少,由于人口分布密集,吸引教育资源在此集聚,相应地该地区学校分布较为密集,教育均等化程度相对较高。人口在1000~2000人之间的行政村有149个,该类行政村分布在浅山丘陵区 and 低山区较多,仍以浅山丘陵区为主,学校分布相对较多。1000人以下的行政村有80个,该类行政村主要分布在低山区 and 中山区,教育资源分布相对较少,学校数量少。同时,在空间可达性引力模型分析中,如增加人口因素,同一行政村教育资源的可达性程度整体下降,说明人口分布密度对教育资源空间可达性具有影响。当学校规模和入学距离一定时,过多的适龄儿童在同一所学校就读,会形成对该地区有限教育资源的竞争关系,反而不利于教育均等化的发展。

3.3.3 经济和政策因素

经济发展和教育政策均与地区教育发展水平有密切关系。一方面,经济发展促使教育投入增加,使得教育水平、质量和规模得以提升;另一方面,人才的培养和发展环境的改善,又为地区经济的发展提供人力、智力资源。2015年嵩县城关镇人均GDP和农民人均纯收入在各乡镇中居于首位,经济的发展带动了地区教育发展;而经济发展相对落后的白河镇在教育投入方面较少,教育发展水平相对缓慢。同时区域政策具有地域性、针对性和强制性等特点,针对经济发展缓慢、教育水平落后的区域,区域教育政策可对地区教育发展产生直接有效的影响。嵩县教育部门为深化教育改革有效整合教育资源,扩大办学规模,合理规划中小学区位,有计划、有步骤地撤并一系列发展落后的教学点,同时根据地区适龄儿童数量,适量增加成建制小学和教学点。为解决中小学教师资源紧缺问题,嵩县教育局及时提出扩大教师队伍的政策建议,小学和中

学的专任教师数量分别从1997年的2463人和1333人分别增至2015年的2705人和2537人,有效地缓解了教师资源紧缺的问题。

4 结论与讨论

本文以嵩县1997、2007、2015年中小学数据为基础,运用趋势面、Voronoi多边形和引力模型等方法,对嵩县教育资源的空间格局变化、可达性程度进行分析。主要结论为:①小学和初中的空间布局受地形条件地区的影响较大。其中,小学在浅山丘陵区 and 低山区分布相对较多,中山区分布较少;初中集中分布在浅山丘陵区,低山区仅有个别分布,中山区没有分布。②撤点并校使中小学总体数量减少,各行政村内学校数量分布的趋势线逐渐平缓,学校的空间分布差距缩小。③基于Voronoi多边形的测算发现,上述3个年份嵩县小学和初中学校的空间分布模式为聚集分布状态,随着小学和初中学校数量的减少,聚集程度逐渐下降;同时,空间上呈现出“一面两线”的分布状态,即:在嵩县北部沿浅山丘陵区形成东北—西南方向的面状密集分布区,在嵩县东部沿S247交通线形成南北狭长分布的带状密集分布区,在嵩县南部沿G311交通线形成东西狭长分布的密集分布带。④各行政村可达性指标在空间上存在较大的区域差异,且整体可达性有所下降,教育资源分配存在极化现象,教育资源空间分布不均等。⑤嵩县教育资源空间分布与可达性水平受地形、交通、人口、经济、政策等因素的影响。

1997-2015年嵩县经过撤点并校之后,中小学校数量均有不同程度的减少,对区域教育资源的可达性产生影响。而在学校数量变化的同时,由于人口的空间迁移,部分适龄儿童或外出就学,或择优入学,对于学校数量减少而引起教育资源空间可达性降低的负面影响具有一定的缓解作用。由于人口的空间流动和迁移,会导致部分村庄适龄儿童逐渐减少甚至有些村庄逐渐消失,进而使得区域内学校服务面积随之变小。将学校数量变化和行政村人口的空间流动相结合进行中小学的空间可达性综合分析,对于山区教育资源的均衡布局具有较重要的现实意义。同时,结合地区公路网对就近入学距离进行分析会更加符合实际情况,但本文由于多种原因未取得村庄道路数据,将在后续研究中不断

完善和充实。

参考文献(References)

- 湛丽, 张文忠, 杨翌朝. 2013. 北京城市居民服务设施可达性偏好与现实错位[J]. 地理学报, 68(8): 1071-1081. [Chen L, Zhang W Z, Yang Y Z. 2013. Residents incongruence between reality and preference of accessibility to urban facilities in Beijing[J]. *Acta Geographica Sinica*, 68(8): 1071-1081.]
- 程敏, 连月娇. 2018. 基于改进潜能模型的城市医疗设施空间可达性: 以上海市杨浦区为例[J]. 地理科学进展, 37(2): 266-275. [Cheng M, Lian Y J. 2018. Spatial accessibility of urban medical facilities based on improved potential model: A case study of Yangpu District in Shanghai[J]. *Progress in Geography*, 37(2): 266-275.]
- 范先佐, 等. 2009. 中国中西部地区农村中小学合理布局结构研究[M]. 北京: 中国社会科学出版社. [Fan X Z, et al. 2009. *Zhongguo zhongxibu diqu nongcun zhongxiaoxue heli buju jiegou yanjiu*[M]. Beijing, China: China Social Sciences Press.]
- 韩艳红, 陆玉麒. 2012. 教育公共服务设施可达性评价与规划: 以江苏省仪征市高级中学为例[J]. 地理科学, 32(7): 822-827. [Han Y H, Lu Y Q. 2012. Accessibility assessment and planning of public service facilities for education: A case study on senior high schools in Yizheng City [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 32(7): 822-827.]
- 吉云松. 2006. 地理信息系统技术在中小学布局调整中的作用[J]. 地理空间信息, 4(6): 62-64. [Ji Y S. 2006. Application of GIS to the adjustment of spatial distribution of schools[J]. *Geospatial Information*, 4(6): 62-64.]
- 孔云峰, 李小建, 张雪峰. 2008. 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, 12(5): 800-809. [Kong Y F, Li X J, Zhang X F. 2008. Analysis of spatial accessibility for school redistricting in rural china: A case study of the secondary schools in Gongyi City, Henan Province[J]. *Journal of Remote Sensing*, 12(5): 800-809.]
- 孔云峰, 吕建平. 2011. 就近入学空间模型分析: 以河南省巩义市初级中学为例[J]. 地理与地理信息科学, 27(5): 87-90, 98. [Kong Y F, Lv J P. 2011. Spatial modeling and analysis of the nearby school enrollment: A case study of the junior middle schools in Gongyi City, Henan Province[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 27(5): 87-90, 98.]
- 李孟桐, 杨令宾, 魏冶. 2016. 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, 35(8): 990-996. [Li M T, Yang L B, Wei Y. 2016. Improved

- Gaussian based 2-step floating catchment area method: A case study of green space accessibility in Shanghai[J]. *Progress in Geography*, 35(8): 990-996.]
- 刘光俊, 周玉玺. 2013. 财政分权、转移支付与教育服务均等化的关联度[J]. *改革*, (9): 57-63. [Liu G J, Zhou Y X. 2013. Relevance degree of fiscal decentralization, transfer payment and equalization of educational service[J]. *Reform*, (9): 57-63.]
- 罗明东. 2003. 教育地理学[M]. 昆明: 云南大学出版社. [Luo M D. 2003. *Geography of education*[M]. Kunming, China: Yunnan University Press.]
- 吕毅. 2005. 城市小学校可达性评价[D]. 武汉: 武汉大学. [Lv Y. 2005. *Evaluation of accessibility to primary schools* [D]. Wuhan, China: Wuhan University.]
- 庞丽娟. 2006. 当前我国农村中小学布局调整的问题、原因与对策[J]. *教育发展研究*, (4): 1-6. [Pang L J. 2006. Primary and secondary schools' distribution in current China rural areas: Issues and suggestions of improvement[J]. *Exploring Education Development*, (4): 1-6.]
- 覃瑜, 师学义. 2012. 利用 Voronoi 图的城乡居民点布局优化研究[J]. *测绘科学*, 37(1): 136-138, 150. [Qin Y, Shi X Y. 2012. Optimizing spatial distribution of residential areas based on Voronoi diagram[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 37(1): 136-138, 150.]
- 瞿华. 2006. 论教育服务供给的影响因素[J]. *经济问题探索*, (12): 128-131. [Qu H. 2006. *Lun jiaoyu fuwu gongji de yingxiang yinsu*[J]. *Inquiry into Economic Issues*, (12): 128-131.]
- 沈怡然, 杜清运, 李浪蛟. 2016. 改进移动搜索算法的教育资源可达性分析[J]. *测绘科学*, 41(3): 122-126. [Shen Y R, Du Q Y, Li L J. 2016. Spatial accessibility analysis of education resources by modified floating catchment area methods[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 41(3): 122-126.]
- 汤鹏飞, 向京京, 罗静, 等. 2017. 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*, 36(6): 697-708. [Tang P F, Xiang J J, Luo J, et al. 2017. Spatial accessibility analysis of primary schools at the county level based on the improved potential model: A case study of Xiantao City, Hubei Province[J]. *Progress in Geography*, 36(6): 697-708.]
- 吴威, 曹有挥, 梁双波. 2010. 20 世纪 80 年代以来长三角地区综合交通可达性的时空演化[J]. *地理科学进展*, 29(5): 619-626. [Wu W, Cao Y H, Liang S B. 2010. Temporal and spatial evolution of integrated transport accessibility in the Yangtze River Delta: 1986-2005[J]. *Progress in Geography*, 29(5): 619-626.]
- 谢婷婷, 冯长春, 杨永春. 2014. 河谷型城市教育设施空间分布公平性研究: 以兰州市中学为例[J]. *城市发展研究*, 21(8): 29-32. [Xie T T, Feng C C, Yang Y C. 2014. Spatial analysis on education facilities of a typical valley-basin city: A case of middle school in Lanzhou center town[J]. *Urban Development Studies*, 21(8): 29-32.]
- 徐建华. 2002. 现代地理学中的数学方法[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社. [Xu J H. 2002. *Mathematical methods in contemporary geography*[M]. 2nd ed. Beijing, China: Higher Education Press.]
- 许昆鹏, 贾驰. 2007. 转型期农村义务教育发展的影响因素分析[J]. *农村经济*, (4): 118-120. [Xu K P, Jia C. 2007. Zhuanxingqi nongcun yiwu jiaoyu fazhan de yingxiang yinsu fenxi[J]. *Rural Economy*, (4): 118-120.]
- 翟博. 2007. 中国基础教育均衡发展实证分析[J]. *教育研究*, (7): 22-30. [Zhai B. 2007. Demonstrative analysis on the equilibrium development of Chinese basic education[J]. *Educational Research*, (7): 22-30.]
- 张静华, 任福, 刘江涛, 等. 2015. Huff 模型支持下的基础教育资源分布分析[J]. *地理信息世界*, 22(2): 44-50. [Zhang J H, Ren F, Liu J T, et al. 2015. Analysis of the resource of primary schools by supporting of the Huff model[J]. *Geomatics World*, 22(2): 44-50.]
- 张鲜鲜, 李久生, 赵媛, 等. 2015. 南京市高级中学可达性及空间分布特征研究[J]. *测绘科学*, 40(11): 111-114, 186. [Zhang X X, Li J S, Zhao Y, et al. 2015. Study on accessibility and spatial distribution characteristics of senior high schools in Nanjing[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 40(11): 111-114, 186.]
- 张雪峰. 2008. 基于 GIS 的巩义市农村中小学空间布局分析[D]. 开封: 河南大学. [Zhang X F. 2008. GIS-based spatial analysis of rural primary and secondary schools: A case study of Gongyi City, Henan Province[D]. Kaifeng, Henan: Henan University.]
- 赵晨旭, 邵景安, 郭跃, 等. 2016. 山区乡村学校空间格局演变特征及发展水平[J]. *地理研究*, 35(3): 455-470. [Zhao C X, Shao J A, Guo Y, et al. 2016. Spatial pattern evolution characteristics of rural schools and their development level in the mountainous area[J]. *Geographical Research*, 35(3): 455-470.]
- 赵丹, 吴宏超, Parolin B. 2012. 农村学校撤并对上学距离的影响: 基于 GIS 和 Ordinal Logit 模型的分析[J]. *教育学报*, 8(3): 62-73. [Zhao D, Wu H C, Parolin B. 2012. The impact of school closure on students' schooling distance in rural areas: Based on GIS and Ordinal Logit model analysis [J]. *Journal of Educational Studies*, 8(3): 62-73.]

- Duyckaerts C, Godefroy G. 2000. Voronoi tessellation to study the numerical density and the spatial distribution of neurones[J]. *Journal of Chemical Neuroanatomy*, 20(1): 83-92.
- Hanley P F. 2007. Transportation cost changes with statewide school district consolidation[J]. *Socio-Economic Planning Sciences*, 41(2): 163-179.
- Killeen K, Sipple J. 2000. School consolidation and transportation policy: An empirical and institutional analysis[R]. A working paper for the Rural School and Community Trust Policy Program, ERIC Digest, ED: 447979.
- Malczewski J, Jackson M. 2000. Multicriteria spatial allocation of educational resources: An overview[J]. *Socio-Economic Planning Sciences*, 34(3): 219-235.
- Taylor R G, Vasu M L, Causby J F. 1999. Integrated planning for school and community: The case of Johnston County, North Carolina[J]. *Interfaces*, 29(1): 67-89.

Changing spatial pattern and accessibility of primary and secondary schools in a poor mountainous county: A case study of Song County, Henan Province

YANG Huimin¹, ZHANG Xiangling², LI Li^{3*}, LI Xiaojian¹, WANG Bing²

(1. College of Environment and Planning/Center for Yellow River Civilization and Sustainable Development, Henan University, Kaifeng 475001, Henan, China; 2. Henan Institute of Land and Resources Surveying and Planning, Zhengzhou 450016, China; 3. International Ecosystem Management Partnership/Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Poor mountainous regions in China suffer from economic underdevelopment, inconvenient transportation, scattered population distribution, and fast-changing residential spatial pattern. These make the study of spatial distribution changes of primary and secondary schools in these regions critical for improving education equality. By using the case of Song County in the poor mountainous region of western Henan Province, this study acquired long-term school data (1997, 2007, and 2015), and analyzed the changes in spatial pattern and spatial accessibility of these schools employing the trend surface analysis technique and gravity model. The results show that: (1) Primary and secondary schools in Song County were partially concentrated in areas with some terrain conditions. Primary schools were found more in the hilly and low-mountainous areas, and secondary schools concentrated in the hilly areas. (2) School merges decreased the total number of institutions and the differences in the number of schools among different villages, and the trend line became flat gradually. (3) The Cv value of the Voronoi model shows that schools followed an aggregated distribution pattern, and the degree of aggregation decreased as the number of schools decreased. The schools were mainly found in a region spreading from northeast to southwest in the northern part of the county, forming two narrow distribution bands along the two main roads (S247 and G311). (4) School accessibilities were spatially varied in 2015. The longest distance to school was 160 times that of the shortest distance to school. Villages that had more than 10 km distance to schools were all found in the mid-mountainous and low-mountainous areas, constituting 26.1% of the total number. (5) Terrain, transportation, population, economy, and government policy were all influential to the distribution of educational resources in Song County.

Key words: primary and secondary schools; spatial pattern; spatial accessibility; poor mountainous area; Song County