

引用格式:杨凯悦,宋永永,薛东前.黄土高原乡村聚落用地时空演变与影响因素[J].资源科学,2020,42(7):1311-1324.[Yang K Y, Song Y Y, Xue D Q. Spatiotemporal change of rural settlement land in the Loess Plateau and influencing factors[J]. Resources Science, 2020, 42(7): 1311-1324.] DOI: 10.18402/resci.2020.07.08

黄土高原乡村聚落用地时空演变与影响因素

杨凯悦,宋永永,薛东前

(陕西师范大学地理科学与旅游学院,西安710119)

摘要:研究黄土高原乡村聚落用地规模演变及其影响因素,对优化乡村聚落空间格局,落实国家乡村振兴战略具有理论和现实意义。本文采用位序-规模法则、核密度分析和地理探测器方法,研究1990—2015年黄土高原乡村聚落用地的空间分布和规模等级特征,揭示乡村聚落用地规模格局形成影响因素与驱动机制。结果表明:①1990年以来,黄土高原乡村聚落斑块数量和用地规模总体呈现增加趋势,其中2000—2005年乡村聚落斑块数量增加最明显,2005—2010年用地规模扩大最显著。②黄土高原乡村聚落用地规模处于非均衡发展阶段,乡村聚落空间分布具有明显的历史继承性,在地理空间上表现为主体延伸和局部填充两种形式。乡村聚落密度在区域上呈现“一极两翼”的空间结构特征,关中平原地区是乡村聚落核心集聚区,银川平原—六盘山区—陇东高原、河套平原—汾河谷地—豫西盆地内乡村聚落集聚与分散趋势并存。③黄土高原乡村聚落用地规模格局的形成受到多重要素的综合作用。地形起伏度、年平均气温和年平均降水量等是主要的自然作用力,人均粮食产量、总人口数和乡村人口比重等是关键人文驱动力。其中,任意两个因子的交互作用对乡村聚落用地规模空间格局的影响均强于单个因子的影响。④各因素之间的交互作用对黄土高原地区乡村聚落用地规模格局的影响差异显著。自然地理因素与社会经济因素的交互作用对黄土高原沟壑区、土石山区和高原风沙区的乡村聚落用地规模格局影响最为广泛,社会经济因素之间的交互作用对黄土丘陵沟壑区和河谷平原区乡村聚落用地规模格局具有明显的协同增强效应,粮食生产与区位条件对灌溉农业区的乡村聚落用地规模格局具有显著的协同增强效应。

关键词:乡村聚落;用地规模;时空演变;样带分析;影响因素;地理探测器;黄土高原

DOI: 10.18402/resci.2020.07.08

1 引言

随着全球城镇化的快速推进和社会经济的持续增长,乡村衰退问题已成为亟待解决的世界性科学难题和全球性战略问题^[1]。中国作为世界第二大经济体,在实现城镇化和工业化过程中,同样出现了严峻的乡村衰退问题^[2],并成为制约新时代区域高质量发展的短板因素。在实施乡村振兴战略和新型城镇化战略背景下,乡村聚落用地与布局问题已成为推进乡村振兴和提高乡村可持续发展能力的难点和热点问题。因此,研究乡村聚落用地规模演变及其影响因素,对优化配置乡村地域空间、分

区分类推进乡村发展具有理论和现实意义。

乡村聚落用地作为乡村发展的基础性要素在乡村地域系统中处于关键地位^[3]。20世纪50年代以来,发达国家如英国、美国和韩国等针对城市化、工业化过程中出现的乡村衰退问题,出台了一系列政策措施,引导乡村地域由农民居住地向城乡居民共同居住地过渡,促使乡村聚落用地由分散向集中布局^[4]。国内外学者围绕乡村聚落用地与发展问题进行了广泛的理论和实践探索^[5,6]。国外学术界对乡村聚落用地研究起步早。Isard^[7]从空间-地域等级结构角度解释了乡村聚落用地规模及其空间分

收稿日期:2020-01-09;修订日期:2020-07-06

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD1100101)。

作者简介:杨凯悦,女,吉林蛟河人,硕士研究生,主要从事土地经济与管理研究。Email: 3465727716@qq.com

通讯作者:薛东前,男,内蒙古包头人,教授,博士生导师,主要从事城市与区域发展研究。E-mail: xuedq@snnu.edu.cn

布规律;Sonis等^[8]研究发现乡村聚落用地遵循位序-规模法则;Grossman等^[9]指出乡村聚落位序-规模分布曲线存在地域差异性;Rey等^[10]对中东欧国家乡村聚落用地类型与演化模型进行了探索,发现不同类型乡村聚落用地具有多功能性特征;Carmen等^[11]揭示了城乡结合部聚落居住用地转型的关键驱动因素;Anna^[12]分析了乡村农业或开放空间保护与居住空间拓展之间的作用关系,提出了乡村住宅空间管控对策。国内学者从乡村聚落用地规模^[13]、聚落体系^[14]、演变机制^[15,16]、空间形态^[17,18]、生命周期^[19]和空间重构^[20,21]等不同视角,以及全国^[22,23]、县域^[24]和行政村^[25,26]等多种尺度,对乡村聚落进行了系统研究。如杨忍等^[23]研究发现中国村庄分布呈现分散、集聚和随机分布并存的空间模式;李小建等^[24]认为在自然基础、区位条件和经济社会等因素作用下,县域乡村聚落具有鲜明的等级结构特征;陈宗峰等^[27]研究发现黄土丘陵沟壑区乡村聚落整体呈集聚分布模式,高程、坡度、水土资源和道路是影响聚落空间分布、规模等级和形态结构的关键因素;龙花楼等^[20]在阐释乡村重构概念和内涵的基础上,构建了乡村重构作用机制理论框架;李玉恒等^[28]从乡村弹性视角解析了乡村演化分异机制,为构建弹性乡村提供了路径选择。通过梳理已有研究成果,可以发现:①现有研究由国家宏观尺度逐步转向区域乃至村域单元,研究尺度日益精细化;②乡村聚落演变机制与乡村重构是关注焦点,特别是在探究乡村聚落用地规模演变影响因素方面,除关注自然环境因子的约束作用^[29]外,社会经济^[30]、地域文化^[31]和制度政策^[32]等因素开始成为重要分析内容;③研究方法表现出由单一统计分析转向多种方法综合集成解析,为深入揭示乡村聚落规模演变机理提供了支撑^[33,34]。但是现有研究多是对不同时期乡村聚落空间分布特征与影响因素的分析,对区域整体乡村聚落用地规模与影响因素的探测研究较少,缺乏对典型生态脆弱区乡村聚落分布与演变规律的总结,系统的乡村聚落规模演变机制研究仍显不足。

黄土高原地区农林牧业历史悠久,农村人口比重高,乡村聚落用地面积大,是典型的生态环境脆弱区和贫困人口主要集聚区。区域内地形条件复

杂,社会经济发展整体滞后,乡村聚落形成与发展深受自然地理条件与社会经济水平的双重影响,是落实乡村振兴战略的难点地区^[35]。因此,本文选择黄土高原为研究区,以县域为基本研究单元,采用位序-规模法则、核密度分析和地理探测器等方法,从区域和分区等层面研究1990—2015年乡村聚落用地空间分布规律与规模等级特征,揭示乡村聚落用地规模格局形成机制。以期丰富国土空间优化配置理论和乡村地域系统理论,为优化乡村聚落空间格局,改善乡村聚落人居环境,提高黄土高原乡村聚落用地服务功能提供理论参考和决策支撑。

2 研究区概况、数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

黄土高原地区位于33°43'N—41°16'N,100°54'E—116°33'E之间,在行政单元上涉及青海、甘肃、陕西、山西、河南、宁夏和内蒙古7个省(自治区)。本文综合考虑行政单元的完整性和统计数据的可得性,以及黄土高原地区自然地理条件和社会经济发展实际^[36],依据《黄土高原地区综合治理规划大纲(2010—2030)》^[37],将全区划分为黄土高原沟壑区、黄土丘陵沟壑区、河谷平原区、灌溉农业区、土石山区和高原风沙区六大地理单元,按县级行政单元边界确定研究区边界范围(图1)。全区共辖341个县级行政单元,总面积64.87万km²,占国土面积的6.76%。海拔高度81~4985 mm。全区以温带大陆性季风气候为主,年平均降水量446 mm,年平均气

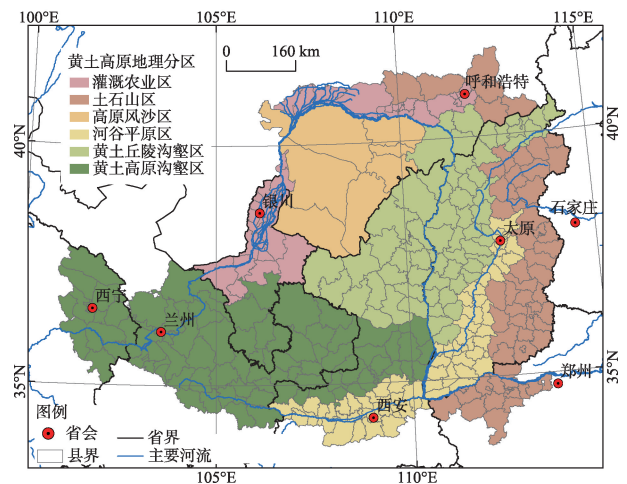


图1 黄土高原地理区位图

Figure 1 Geographical location of the Loess Plateau, China

2020年7月

温 10℃。区域内平原、丘陵、高原和山地等地貌单元广泛分布。乡村聚落主要分布在海拔较低、地形平坦的河谷平原地区。2015年,全区乡村聚落总面积 150.97 万 hm^2 ,农村人口 5543.54 万人,占区域总人口的 48.54%;农业总产值占 GDP 总量的 6.85%,农民人均纯收入 9368 元,低于同期全国平均水平 17.98 个百分点。生态环境脆弱、农村经济发展滞后和贫困人口集聚是该区主要特征。

2.2 数据来源

2.2.1 指标选取

乡村聚落用地规模及其空间格局的形成受自然地理条件和社会经济条件等共同影响^[38]。综合考虑黄土高原乡村聚落用地规模演变特征与社会经济发展实际,参考相关研究成果^[16,23,24,27],从自然地理基础和人文社会经济因素两个方面,选取年平均温度(X_1)、年平均降水量(X_2)、平均海拔高度(X_3)、地形起伏度(X_4)、城镇化率(X_5)、人口密度(X_6)、总人口数(X_7)、乡村人口比重(X_8)、人均 GDP(X_9)、非农产业产值比重(X_{10})、农民人均纯收入(X_{11})、人均粮食产量(X_{12})、到中心城市最短行车时间(X_{13})和到国省干线的平均距离(X_{14}) 14 个指标,揭示黄土高原乡村聚落用地规模格局的形成机制。

2.2.2 数据来源

主要包括:①1990—2015年6期乡村聚落用地数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>)提供的“中国土地利用现状遥感监测数据集”,空间分辨率均为 30 m×30 m,利用 ArcGIS 软件提取农村居民点用地斑块和面积,用于表达乡村聚落用地斑块和面积^[39]。②社会经济数据来源于“1990—2015年黄土高原地区农村社会经济发展及新农村建设数据集”^[40]和《中国县域统计年鉴(1991—2016)》。③行政区划数据来源于全国基础地理信息中心(<http://ngcc.sbsm.gov.cn>);农牧交错带边界数据来源于全球变化科学研究数据出版系统(<http://www.geodoi.ac.cn>)^[41]。④到中心城市最短行车时间和到国省干线的平均距离数据,通过 ArcGIS 软件和 Excel 地图插件 DataMap,以乡村聚落用地斑块的几何中心为起点,从高德地图中分别提取到中心城市的路径距离和到国省干线的平均距离。

2.3 研究方法

2.3.1 Voronoi 图

Voronoi 图用于直观反映地理要素分布的集聚性与离散性。对于研究区域内的任意一点 p 和区域内点的集合 S ,除两个或两个以上的点距离相等的情况外, S 中总有一个与 p 相距最近的点,在符合 Delaunay 准则下,由该点定义出单个邻近多边形,由此形成该区域的 Voronoi 图。本文运用 Voronoi 图分析乡村聚落空间集聚与离散情况,并基于多边形面积计算出变异系数 C_v 值^[42],反映乡村聚落分布状态的空间变异程度。

2.3.2 位序-规模法则

本文使用位序-规模法则定量测度黄土高原县域乡村聚落用地规模空间分布情况^[43]。目前,常采用辛格(Singer)提出的位序-规模一般性关系式^[39]。计算公式为:

$$P_i = P_1 \times R_i^{-Z} (R_i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

对上式等式两端取自然对数,得到:

$$\ln P_i = \ln P_1 - Z \ln R_i \quad (2)$$

式中: P_i 是 i 县的乡村聚落用地面积; P_1 是最大乡村聚落用地面积; R_i 是 i 县的位序; Z 是常数($Z > 0$),也称齐夫指数(Zipf 指数); n 是县域单元数量。在 Excel 软件中,将县域乡村聚落用地面积按降序排序并取自然对数作为因变量,将排序结果赋予升序位次,并取自然对数作为自变量,绘制县域乡村聚落位序-规模曲线图^[30,39]。当 $Z < 1$ 时,表明乡村聚落分布较为集中,中间位序聚落数量较多;当 $Z = 1$ 时,首位聚落规模位序等于末位聚落规模的位序;当 $Z > 1$ 时,聚落分布的差异程度高,首末位序的聚落规模分布分散。

2.3.3 核密度分析

核密度分析用于空间离散数据的连续性表达,分析聚落空间分布密度,直观反映不同地区乡村聚落分布的地域差异。计算公式为:

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{mh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (3)$$

式中: m 为观测个数; h 为平滑参数或带宽($h > 0$); K 为核函数; $(x-x_i)$ 为估计点 x 与事件点 x_i 之间的距离。核密度值越大,聚落斑块分布越多;反之核密

度值越小,聚落斑块分布越少。在 ArcGIS10.2 中经过多次模拟测试,将黄土高原乡村聚落核密度分析搜索半径设置为 30 km,绘制出 1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年黄土高原乡村聚落点空间分布核密度图。

2.3.4 地理探测器

地理探测器是常用于探测地理要素的空间异质性^[44]。包括因子探测、交互探测、风险探测和生态探测 4 个模块。本文运用因子探测和交互探测模块,对黄土高原县域乡村聚落用地规模空间分异格局的影响因子进行识别。计算公式如下:

$$q = 1 - \frac{1}{N\sigma^2} \sum_{j=1}^L N_j \sigma_j^2 \quad (4)$$

式中: q 为聚落用地规模空间分异影响因素解释力指标; N 为县域单元总数; N_j 为划分的层数 j 的县域单元数; L 为变量因子的分层; σ^2 为县域聚落规模总体方差; σ_j^2 为层 j 的方差。 q 的值为 $[0,1]$, q 值越大,县域乡村聚落规模空间分布异质性越大,反之则越小。

交互作用探测是通过对比使用多因子对因变量的解释程度相较于其中单个因子解释因变量的程度是增大还是减小。两因子 X_1 和 X_2 交互作用存在 5 种类型:

(1) $q(X_1 \cap X_2) < \min(q(X_1), q(X_2))$, 说明 X_1 和 X_2 交互后呈非线性减弱。

(2) $q(X_1 \cap X_2) > \max(q(X_1), q(X_2))$, 说明 X_1 和 X_2 交互后呈双因子增强。

(3) $\min(q(X_1), q(X_2)) < q(X_1 \cap X_2) < \max(q(X_1), q(X_2))$, 说明 X_1 和 X_2 交互后呈单因子非线性减弱。

(4) $q(X_1 \cap X_2) > q(X_1) + q(X_2)$, 说明 X_1 和 X_2 交互后呈非线性增强。

(5) $q(X_1 \cap X_2) = q(X_1) + q(X_2)$, 说明 X_1 和 X_2 相互

独立。

3 结果与分析

3.1 乡村聚落用地规模结构演变特征

3.1.1 乡村聚落用地规模时空变化

(1) 规模演变阶段

1990—2015 年黄土高原地区乡村聚落斑块和面积总体呈现上升趋势(表 1)。25 年间全区乡村聚落斑块总数由 78340 个增加至 85463 个,斑块总面积由 11812.78 km² 增加至 15021.10 km², 年均增长率分别为 0.35% 和 0.95%。具体可分为 3 个阶段考察: 1990—2000 年乡村聚落斑块数量呈先减小后增加的变化趋势,而斑块面积却呈现持续增加态势,这可能与 20 世纪 90 年代农村改革过程中的村庄合并相关; 2000—2010 年乡村聚落斑块数量和斑块面积均大幅增加,年均增长率分别为 0.62% 和 1.57%,说明随着西部大开发战略的实施,黄土高原地区农村经济社会取得快速发展,乡村居民点用地面积显著增加,聚落规模呈现明显扩张态势; 2010—2015 年乡村聚落斑块数量和面积增长趋缓,年均增长率分别为 0.26% 和 0.67%,说明随着新农村和美丽乡村建设的深入推进,区域乡村聚落发展由粗放扩张逐步转向内涵提升阶段。

(2) 空间分异格局

25 年间黄土高原乡村聚落用地规模空间格局变化显著(图 2)。1990 年区域乡村聚落分布集聚与离散并存,河谷平原区乡村聚落分布最为集聚,高原风沙区和黄土丘陵沟壑区乡村聚落分布最为离散,特别是农牧交错带乡村聚落分布总体呈现离散态势。2015 年高原风沙区和黄土丘陵沟壑区乡村聚落分布离散程度大,但该区内部整体多边形面积差异出现减小趋势,说明该区域乡村聚落分布的集

表 1 1990—2015 年黄土高原乡村聚落斑块数量

Table 1 The number of rural settlement patches in the Loess Plateau, 1990-2015

年份	总斑块数/个	总斑块面积/km ²	斑块面积平均值/km ²	斑块面积标准差
1990	78340	11812.78	150788.58	208472.92
1995	74944	11822.26	157747.91	209999.29
2000	79291	12418.70	156621.76	225893.80
2005	80483	12995.92	161474.05	236593.01
2010	84366	14525.49	172172.35	322112.72
2015	85463	15021.10	175761.47	353738.55

2020年7月

聚与离散程度差异减小。相较于1990年,2015年乡村聚落在地理空间上整体呈现主体延伸和局部填充两种扩展形式,主体延伸主要分布于河谷平原区,局部填充主要分布于山西西部、甘肃东部和陕西北部地区。该类区域的Voronoi图多边形显著集聚,说明1990年以来区域乡村聚落间的空间距离趋于缩小,联系程度更加紧密。

(3) 样带变化特征

为了深入分析黄土高原乡村聚落局部变化特征,选择农牧交错带作为典型样带分析乡村聚落局部分异特征(图2a和2d)。在黄土高原农牧交错带,乡村聚落呈中部离散两侧集聚的空间分布格局,乡村聚落分布与长城和河流的走向基本一致,乡村聚落的布局受水土资源和农牧业生产方式的影响,表

现出沿长城和主要河流呈带状分布的空间格局。在青海和甘肃黄土高原区乡村聚落沿河流分布趋势明显(图2b和2e);在陕北黄土高原乡村聚落在河流两侧散落分布,山西黄土高原乡村聚落集聚区与能源矿产资源开发区分布大致相符,且受河流和山脉走向影响,乡村聚落分布呈东北—西南弧状分布(图2c和2f)。1990年和2015年农牧交错带Voronoi图中多边形面积的Cv值分别为326.00%、304.93%,说明黄土高原农牧交错带乡村聚落表现为集聚分布状态。与1990年相比,2015年Cv值显著降低,说明25年间农牧交错带乡村聚落空间分布呈现向原非集聚区扩展的变化态势,总体均匀分布趋势增强。

(4) 位序规模结构

选择县域乡村聚落用地规模为因变量,乡村聚

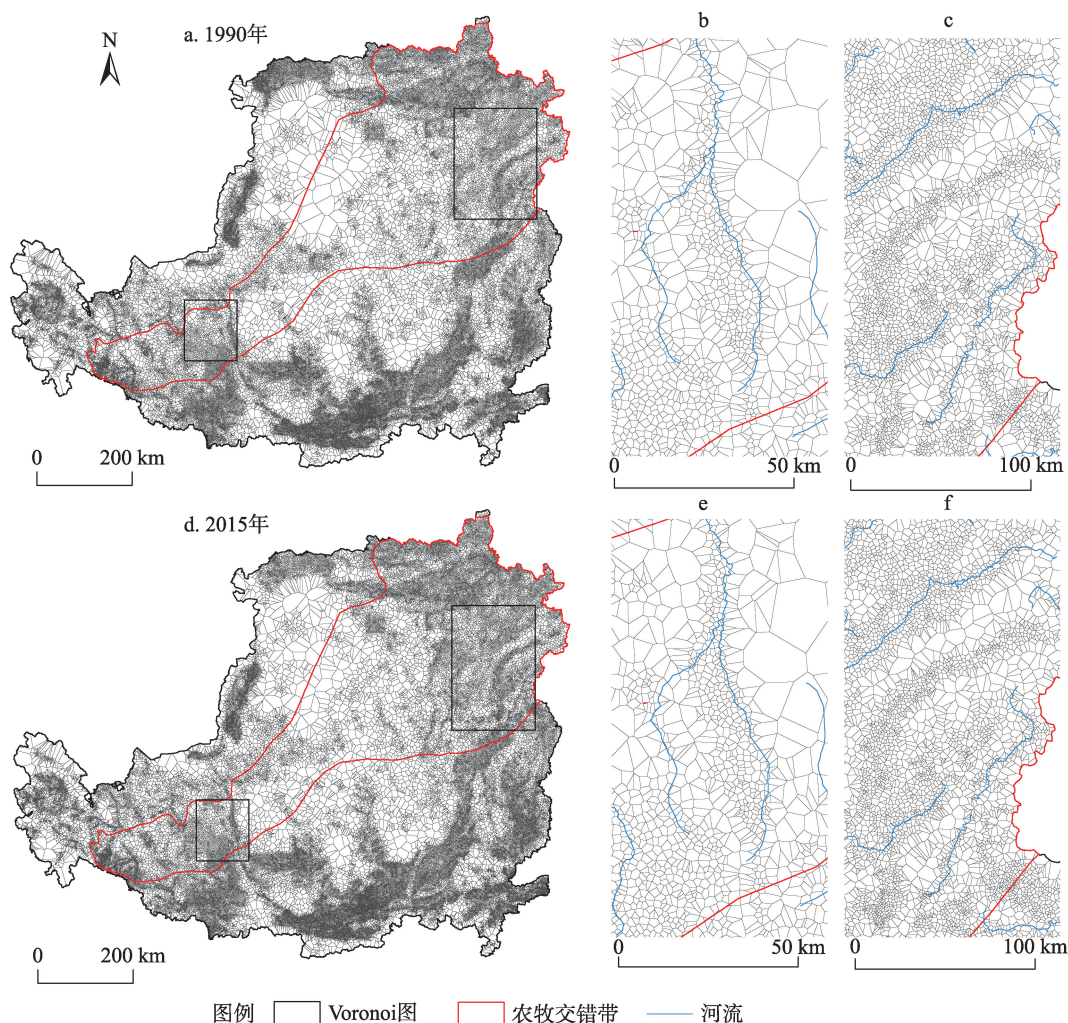


图2 1990年和2015年黄土高原乡村聚落Voronoi多边形集合

Figure 2 Voronoi diagram set of rural settlements in the Loess Plateau, 1990 and 2015

落用地面积位序为自变量,绘制1990—2015年黄土高原乡村聚落位序-规模曲线图(图3),解析乡村聚落用地规模等级结构特征。模型拟合优度 R^2 均大于0.6,总体估计效果较好。1990年大规模聚落稍低于拟合曲线,中小规模聚落多位于拟合曲线上,说明不同等级聚落规模差异小。2015年大规模聚落低于拟合曲线的距离和中小规模聚落高于拟合曲线的聚落明显增大,说明不同等级聚落规模出现极化态势。总之,拟合曲线斜率增加,截距减小,说明黄土高原地区乡村聚落用地规模间的差距逐渐增大。

1990—2015年乡村聚落用地规模分布的Zipf指数呈现波动下降趋势,25年间下降了0.0407,表明黄土高原乡村聚落用地规模处于非均衡发展阶

段,排序靠前的乡村聚落用地面积增加更快。其中,1990、1995、2000年和2005年的Zipf指数分别为1.0413、1.0706、1.0454和1.0716,均大于1,说明乡村聚落用地规模的首位度高,乡村聚落规模体系中面积差异较大。2010年和2015年Zipf指数分别为0.9499和0.9020,均小于1,说明该时段内乡村聚落用地规模发育总体较好,聚落用地规模体系分布较为均匀。

3.2 乡村聚落密度变化

1990—2015年乡村聚落密度分布总体呈“大分散、小集中”的空间格局(图4),在地理空间上表现为“一极两翼”的发展态势。“一极”是指关中平原地区,该区是黄土高原乡村聚落分布的核心集聚区,阎良区乡村聚落密度最大达到0.973,沿渭河和黄河

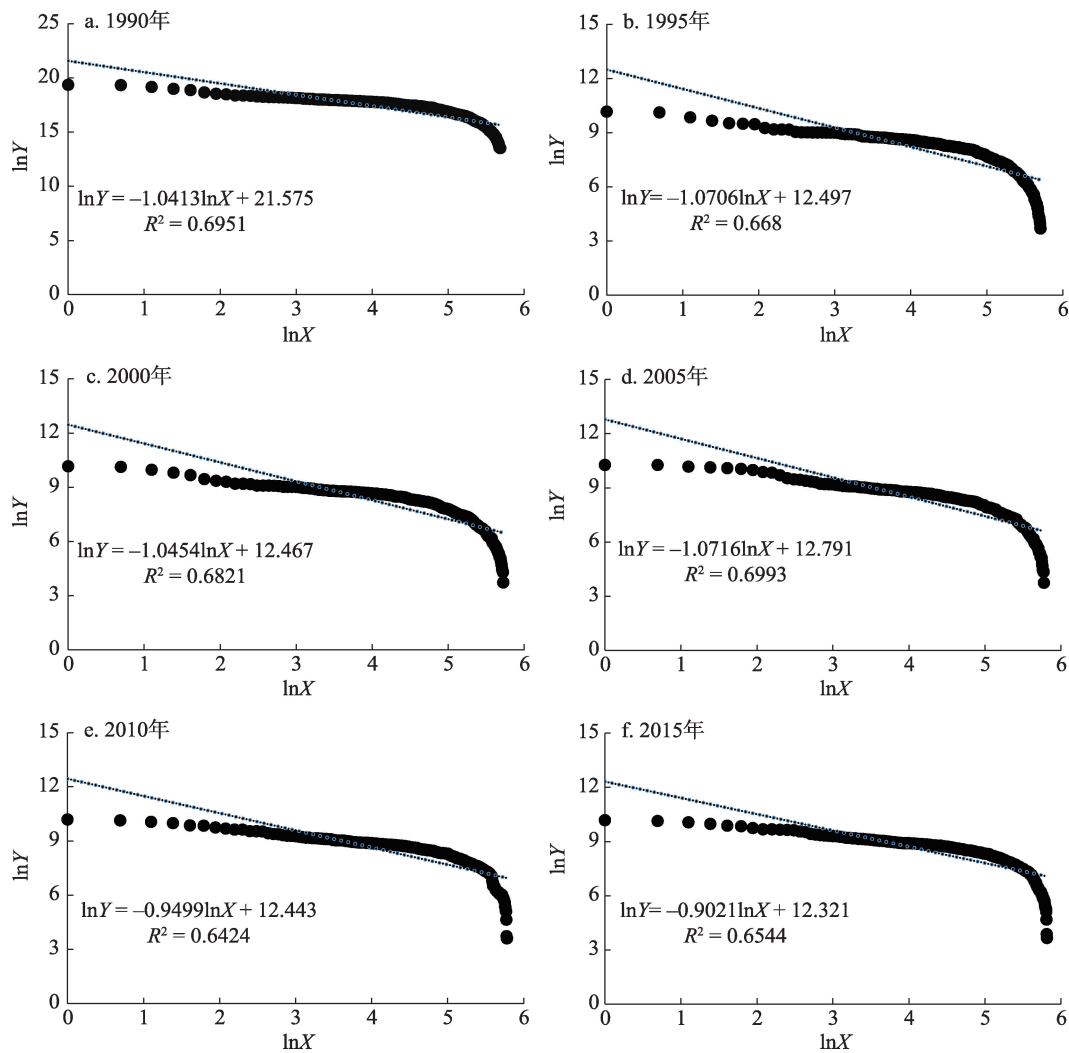


图3 1990—2015年黄土高原乡村聚落位序-规模曲线图

Figure 3 Rank-size curve of rural settlements in the Loess Plateau, 1990-2015

2020年7月

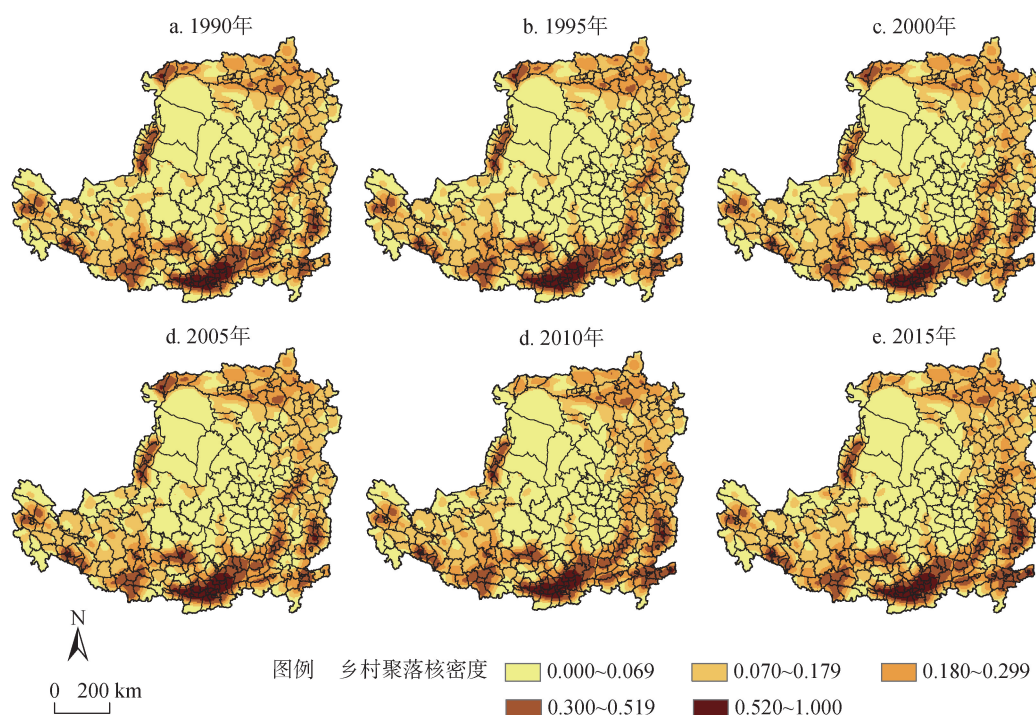


图4 1990—2015年黄土高原乡村聚落分布核密度图

Figure 4 Kernel density of rural settlements in the Loess Plateau, 1990-2015

由西向东呈条带状分布,在河流交汇和行政区交界处,乡村聚落用地规模略低于周边地区。“两翼”分别是指银川平原—六盘山区—陇东高原、河套平原—汾河谷地—豫西盆地。前者乡村聚落逐渐形成新的核心聚集区,金凤区乡村聚落密度最大,达到0.331,对周边地区的辐射作用明显,受黄河干支流、贺兰山和六盘山的约束,乡村聚落密度呈长条状分布。后者乡村聚落主要沿黄河分布,聚落密度逐渐萎缩甚至分离,杭锦旗乡村聚落密度下降最为明显,由1990年的0.023下降至2015年的0.020,这可能与快速的城镇化和工业化引起的乡村聚落衰退乃至消失相关。在吕梁山和太行山山区,地形破碎、水土流失严重,乡村聚落密度小且分布均匀,而在汾河谷地,乡村聚落密度呈组团状嵌套分布。总之,1990年以来,在自然地理环境因素的约束作用和社会经济因素驱动作用下,黄土高原乡村聚落集疏格局变化显著,具有明显的历史继承性和空间延伸性。

3.3 乡村聚落用地规模地域差异的影响因素

3.3.1 单因子探测

黄土高原地区自然地理基础与人文经济条件

地域差异大,乡村聚落用地规模空间分异格局形成受到多重因素的综合影响(表2)。各因子对全区乡村聚落用地规模空间格局的影响差异显著,各影响因素解释力依次是 $X_{12}>X_4>X_7>X_8>X_1>X_2>X_5>X_{13}>X_{11}>X_6>X_{10}>X_9>X_3>X_{14}$ 。这说明在以农业生产为主的黄土高原地区,人均粮食产量、人口总量和乡村人口比重是影响全区乡村聚落用地规模格局的关键驱动力,而人均GDP、海拔高度和到国省干线的平均距离等因素的作用强度相对较低。

由表2可知,不同影响因素对乡村聚落用地规模格局的影响差异显著,而每一因素对六大分区乡村聚落用地规模格局形成的影响程度也各不相同。黄土高原沟壑区乡村聚落用地规模格局形成的主导因子依次是 X_7 、 X_9 、 X_8 、 X_{11} ,说明乡村人口规模和社会经济发展水平是该区域乡村聚落用地变迁的主要驱动因素。黄土丘陵沟壑区乡村聚落用地规模格局形成的主导因子分别是 X_4 和 X_{11} ,表明该区域乡村聚落用地规模格局的演变主要受到地形条件的约束和农村居民收入水平的驱动。河谷平原区乡村聚落用地规模格局形成的主导因子依次是 X_7 、 X_8 、 X_9 、 X_3 ,说明乡村人口比重、经济基础和城镇化

表2 黄土高原地区乡村聚落用地规模与影响因子探测结果

Table 2 Detection results of rural settlement land scale and influencing factors in the Loess Plateau

q	全区	黄土高原沟壑区	黄土丘陵沟壑区	河谷平原区	灌溉农业区	土石山区	高原风沙区
X_1	0.055***	0.063	0.131	0.070	0.081	0.455***	0.045
X_2	0.050**	0.090	0.195	0.099	0.001*	0.433*	0.197
X_3	0.014	0.033	0.027	0.086	0.071	0.063	0.117
X_4	0.159***	0.049	0.387***	0.177	0.096	0.232**	0.191
X_5	0.045***	0.053	0.002	0.148**	0.449**	0.111	0.016
X_6	0.038**	0.091	0.011	0.126	0.225*	0.063	0.045
X_7	0.121***	0.352***	0.029	0.640***	0.422*	0.016	0.016
X_8	0.080***	0.124**	0.225	0.294**	0.469*	0.236	0.117
X_9	0.023	0.154***	0.310	0.148**	0.191*	0.121	0.096
X_{10}	0.032	0.105	0.060	0.203	0.378	0.033	0.115
X_{11}	0.041**	0.117*	0.279*	0.088	0.063	0.025	0.184
X_{12}	0.170***	0.058	0.093	0.073	0.650***	0.061	0.117
X_{13}	0.044**	0.039	0.053	0.088	0.425	0.082	0.260
X_{14}	0.013	0.035	0.086	0.025	0.157	0.083	0.394

注: *表示在0.05置信水平下显著相关; **表示在0.01置信水平下显著相关; ***表示在0.001置信水平下显著相关。

水平是影响该类区域乡村聚落用地格局的主导因素。灌溉农业区乡村聚落用地规模格局形成的主导因子依次是 X_{12} 、 X_8 、 X_5 、 X_7 、 X_6 、 X_9 、 X_2 ,说明粮食生产、人口规模、经济水平和气候条件是影响该类区域乡村聚落用地规模格局演变的关键动力。土石山区乡村聚落用地规模格局形成的主导因子依次是 X_1 、 X_2 、 X_4 ,说明气候因素和地形条件等自然地理基础是该类区域乡村聚落用地规模格局形成的关键影响因素。高原风沙区地处农牧交错过渡地带,地形条件复杂,是重要的能源资源富集区,由于高原风沙区分析样本数量($n=8<30$)少,地理探测分析结果显示各因素均未通过显著性检验。但从 q 值可以看出, X_{14} 、 X_{13} 、 X_2 、 X_4 等对高原风沙区乡村聚落用地规模格局的形成作用深刻,说明区位条件、气候因素和地形地貌是影响该类区域乡村聚落用地规模格局演变的主要驱动因素。

总体而言,地形条件是黄土高原地区乡村聚落布局与选址首要影响因素。黄土高原地区乡村聚落主要分布于河谷平原区、灌溉农业区和黄土塬区等地形条件相对平缓地区,地形起伏度大的地区不适于聚落建设和生产生活。其次是气象气候条件,这是乡村聚落宜居性的重要衡量指标,也是影响乡村聚落产业特别是农业生产布局的关键因子。第三,黄土高原地区乡村聚落主要以农业生产为主

导,尤其是地处灌溉农业区的乡村聚落,粮食产量是影响区域乡村聚落用地规模格局演变的关键因素,也是保障乡村聚落可持续发展的关键。最后,人口与经济要素是乡村聚落系统的重要组成部分,乡村人口规模 and 经济发展水平是影响乡村聚落用地格局演变的核心驱动力。特别是随着乡村人口数量的增加和社会经济发展水平的提升,乡村建筑物和交通路网密度逐渐增大,引起乡村聚落斑块数量和用地面积显著增加,这在自然地理条件相对优越的河谷平原区表现的最为明显。

3.3.2 因子交互探测

对14个单因子探测的基础上进行因子间的交互作用探测,发现自然地理和社会经济因素对黄土高原地区乡村聚落用地规模格局的影响并不独立,而是呈现非线性或双因子增强效应(表3,仅列出前20个交互因子的 q 值)。这说明本文选取的14个影响因子中任意两个因子的交互作用对黄土高原乡村聚落用地规模格局的影响更为显著,即各因子间的交互力更能解释乡村聚落用地规模的地域差异。

从黄土高原地区整体看, $X_1 \cap X_{12}$ 对乡村聚落用地规模格局的影响最强,因子交互探测的 q 值最高为0.376,解释力约为38%,表明黄土高原地区气候条件与农业生产对乡村聚落用地规模演化具有积极的推动作用,气温是乡村聚落建设与发展的基础

表3 黄土高原乡村聚落用地规模影响因子交互探测结果

Table 3 Detection results of interactions between factors of rural settlement land scale in the Loess Plateau

序号	全区		黄土高原沟壑区		黄土丘陵沟壑区		河谷平原区		农业灌溉区		土石山区		高原风沙区	
	交互因子	q	交互因子	q	交互因子	q	交互因子	q	交互因子	q	交互因子	q	交互因子	q
1	$X_1 \cap X_{12}$ (NE)	0.376	$X_2 \cap X_7$ (NE)	0.508	$X_{12} \cap X_{13}$ (BE)	0.705	$X_6 \cap X_7$ (BE)	0.759	$X_{12} \cap X_{13}$ (BE)	0.862	$X_1 \cap X_8$ (NE)	0.739	$X_3 \cap X_{14}$ (NE)	0.976
2	$X_2 \cap X_{12}$ (NE)	0.375	$X_7 \cap X_{10}$ (NE)	0.505	$X_{10} \cap X_{14}$ (NE)	0.638	$X_7 \cap X_{11}$ (NE)	0.757	$X_{10} \cap X_{14}$ (NE)	0.838	$X_1 \cap X_{11}$ (NE)	0.699	$X_7 \cap X_{14}$ (NE)	0.976
3	$X_2 \cap X_4$ (NE)	0.341	$X_3 \cap X_7$ (NE)	0.477	$X_7 \cap X_{13}$ (NE)	0.631	$X_7 \cap X_{13}$ (NE)	0.741	$X_7 \cap X_{13}$ (BE)	0.808	$X_2 \cap X_8$ (BE)	0.666	$X_1 \cap X_4$ (BE)	0.922
4	$X_3 \cap X_4$ (NE)	0.340	$X_2 \cap X_7$ (NE)	0.474	$X_3 \cap X_{13}$ (NE)	0.623	$X_7 \cap X_{10}$ (NE)	0.735	$X_3 \cap X_{13}$ (BE)	0.805	$X_1 \cap X_{13}$ (NE)	0.638	$X_4 \cap X_6$ (NE)	0.922
5	$X_7 \cap X_{12}$ (NE)	0.314	$X_1 \cap X_7$ (NE)	0.461	$X_{12} \cap X_{14}$ (BE)	0.622	$X_7 \cap X_9$ (NE)	0.719	$X_{12} \cap X_{14}$ (BE)	0.803	$X_1 \cap X_4$ (BE)	0.629	$X_3 \cap X_{11}$ (BE)	0.908
6	$X_1 \cap X_9$ (NE)	0.305	$X_7 \cap X_{13}$ (NE)	0.453	$X_{11} \cap X_{13}$ (NE)	0.616	$X_{11} \cap X_7$ (BE)	0.715	$X_{11} \cap X_{13}$ (NE)	0.736	$X_1 \cap X_{12}$ (NE)	0.619	$X_9 \cap X_{10}$ (NE)	0.907
7	$X_2 \cap X_9$ (NE)	0.305	$X_2 \cap X_9$ (BE)	0.453	$X_{10} \cap X_{13}$ (NE)	0.602	$X_7 \cap X_8$ (NE)	0.707	$X_{10} \cap X_{13}$ (BE)	0.729	$X_1 \cap X_{10}$ (NE)	0.609	$X_4 \cap X_{14}$ (BE)	0.729
8	$X_8 \cap X_{11}$ (NE)	0.293	$X_2 \cap X_8$ (BE)	0.44	$X_7 \cap X_{12}$ (NE)	0.552	$X_3 \cap X_7$ (BE)	0.703	$X_7 \cap X_{12}$ (BE)	0.717	$X_1 \cap X_{14}$ (NE)	0.598	$X_{10} \cap X_{14}$ (NE)	0.728
9	$X_2 \cap X_{12}$ (NE)	0.292	$X_2 \cap X_{11}$ (BE)	0.423	$X_3 \cap X_{12}$ (NE)	0.537	$X_6 \cap X_7$ (BE)	0.700	$X_3 \cap X_{12}$ (BE)	0.716	$X_1 \cap X_7$ (NE)	0.595	$X_3 \cap X_{14}$ (NE)	0.727
10	$X_4 \cap X_{14}$ (NE)	0.292	$X_7 \cap X_{14}$ (NE)	0.418	$X_{10} \cap X_{12}$ (BE)	0.517	$X_3 \cap X_7$ (BE)	0.698	$X_{10} \cap X_{12}$ (BE)	0.715	$X_3 \cap X_9$ (NE)	0.593	$X_9 \cap X_{14}$ (NE)	0.727
11	$X_1 \cap X_4$ (NE)	0.278	$X_{10} \cap X_{14}$ (NE)	0.406	$X_8 \cap X_{12}$ (NE)	0.51	$X_3 \cap X_7$ (BE)	0.695	$X_8 \cap X_{12}$ (BE)	0.714	$X_1 \cap X_5$ (BE)	0.583	$X_{12} \cap X_{14}$ (NE)	0.727
12	$X_{11} \cap X_{12}$ (NE)	0.278	$X_7 \cap X_{12}$ (BE)	0.377	$X_4 \cap X_8$ (NE)	0.500	$X_7 \cap X_{14}$ (NE)	0.676	$X_4 \cap X_8$ (NE)	0.710	$X_2 \cap X_{11}$ (NE)	0.581	$X_{10} \cap X_{13}$ (NE)	0.709
13	$X_4 \cap X_6$ (NE)	0.277	$X_2 \cap X_7$ (BE)	0.372	$X_1 \cap X_{12}$ (BE)	0.487	$X_7 \cap X_{12}$ (NE)	0.659	$X_1 \cap X_{12}$ (NE)	0.708	$X_2 \cap X_{13}$ (NE)	0.567	$X_3 \cap X_{13}$ (NE)	0.708
14	$X_{12} \cap X_{14}$ (NE)	0.276	$X_4 \cap X_7$ (BE)	0.363	$X_3 \cap X_{12}$ (BE)	0.480	$X_4 \cap X_6$ (NE)	0.616	$X_3 \cap X_{12}$ (BE)	0.706	$X_9 \cap X_{14}$ (NE)	0.563	$X_9 \cap X_{13}$ (NE)	0.708
15	$X_9 \cap X_{12}$ (NE)	0.267	$X_9 \cap X_{12}$ (BE)	0.358	$X_3 \cap X_{13}$ (NE)	0.474	$X_4 \cap X_{13}$ (NE)	0.532	$X_3 \cap X_{13}$ (NE)	0.703	$X_9 \cap X_{15}$ (NE)	0.558	$X_{12} \cap X_{13}$ (NE)	0.708
16	$X_1 \cap X_{13}$ (NE)	0.263	$X_{11} \cap X_{14}$ (NE)	0.327	$X_8 \cap X_{13}$ (NE)	0.471	$X_4 \cap X_8$ (NE)	0.518	$X_8 \cap X_{13}$ (BE)	0.701	$X_9 \cap X_{16}$ (NE)	0.556	$X_4 \cap X_{11}$ (NE)	0.693
17	$X_3 \cap X_{13}$ (NE)	0.263	$X_2 \cap X_{14}$ (NE)	0.308	$X_6 \cap X_{12}$ (BE)	0.470	$X_4 \cap X_{11}$ (NE)	0.514	$X_6 \cap X_{12}$ (BE)	0.695	$X_9 \cap X_{17}$ (NE)	0.553	$X_2 \cap X_4$ (NE)	0.691
18	$X_{12} \cap X_{13}$ (NE)	0.256	$X_2 \cap X_{14}$ (NE)	0.306	$X_{13} \cap X_{14}$ (NE)	0.469	$X_4 \cap X_9$ (NE)	0.466	$X_{13} \cap X_{14}$ (NE)	0.691	$X_6 \cap X_{18}$ (NE)	0.549	$X_2 \cap X_{13}$ (NE)	0.691
19	$X_7 \cap X_9$ (NE)	0.254	$X_2 \cap X_9$ (NE)	0.296	$X_4 \cap X_{12}$ (BE)	0.465	$X_4 \cap X_{10}$ (NE)	0.458	$X_4 \cap X_{12}$ (BE)	0.690	$X_9 \cap X_{19}$ (NE)	0.549	$X_4 \cap X_{13}$ (NE)	0.691
20	$X_2 \cap X_7$ (NE)	0.252	$X_2 \cap X_{11}$ (NE)	0.288	$X_9 \cap X_{12}$ (BE)	0.461	$X_8 \cap X_{11}$ (NE)	0.452	$X_9 \cap X_{12}$ (BE)	0.690	$X_9 \cap X_{20}$ (NE)	0.549	$X_1 \cap X_{14}$ (BE)	0.600

注:NE(Nonlinea Enhance)为非线性增强;BE(Bi-factor Enhance)为双因子增强。

性因素,农业生产是乡村聚落健康持续发展的重要支撑。交互作用对乡村聚落用地规模格局影响程度在30%以上的还有: $X_3 \cap X_{12}$ 、 $X_2 \cap X_4$ 、 $X_3 \cap X_4$ 、 $X_7 \cap X_{12}$ 、 $X_1 \cap X_9$ 、 $X_3 \cap X_9$,其余因子交互因子的q值相对较低,但也显示了双因子较单一因子对乡村聚落用地规模分异格局影响程度更高的作用效果。乡村聚落是乡村人口和农业产业的集聚之地,地形和气候条件越优越、农业生产规模越大的地区,越可以承载

更多的乡村人口和社会经济活动,在地理空间上表现为乡村聚落用地面积大和斑块数量多。这表明叠加在自然地理要素基础之上的粮食生产和经济发展水平等人文社会经济因素对黄土高原乡村聚落用地规模格局的影响更为强烈。

从黄土高原六大分区看,不同分区影响因子之间形成了独特的相互作用模式,具体表现出显著的非线性增强或双因子增强效应,自然地理要素和社

会经济要素共同作用并影响各分区乡村聚落用地规模格局的形成与演变。黄土高原沟壑区特殊的自然地理结构增强了社会经济因子对乡村聚落用地规模格局的影响;黄土丘陵沟壑区各因子之间的相互作用较为复杂,社会经济因素之间的交互作用对当前乡村聚落用地规模格局的影响最为广泛;河谷平原区是主要的乡村人口和农业产业集聚区,社会经济发展水平较高,在人口规模与社会经济发展水平的协同作用下形成了当前的乡村聚落用地规模格局;农业灌溉区水土资源相对丰富,是重要的粮食生产区,乡村聚落用地规模格局的形成深受粮食生产与区位条件的协同增强影响;土石山区具有类型多样的自然地理结构和社会经济结构,自然地理基础和社会经济发展水平对乡村聚落用地规模格局具有协同增强效应;高原风沙区自然条件恶劣,自然地理基础因素与经济发展水平的交互作用强烈,乡村聚落用地规模格局形成深受自然地理因素与经济因素的协同增强影响。

4 结论、讨论与政策建议

4.1 结论

本文运用位序-规模法则、核密度分析和地理探测器等方法,研究了1990—2015年黄土高原乡村聚落用地规模和乡村密度变化特征,探测识别了乡村聚落用地规模空间格局形成的影响因子,并得出以下结论:

(1)黄土高原乡村聚落斑块数量和面积整体呈现增加趋势。1990—2015年乡村聚落斑块数量和面积分别由78340个和11812.78 km²增加至85463个和15021.10 km²。2000—2005年乡村聚落斑块数量增加最显著,2005—2010年用地规模扩大最明显。

(2)黄土高原乡村聚落规模等级结构特征和集疏格局变化显著。在规模等级结构上,乡村聚落用地规模处于非均衡发展阶段,排序靠前的乡村聚落用地面积增加更快,处于中间位序的聚落较多;在地理空间上,乡村聚落密度总体呈现“大分散、小集中”的宏观态势,关中平原地区是黄土高原乡村聚落的核心集聚区;银川平原—六盘山区—陇东高原、河套平原—汾河谷地—豫西盆地,区域内乡村聚落集聚与分散趋势并存。

(3)黄土高原乡村聚落用地规模格局的形成是自然约束力、人文驱动力和人地交互力综合作用的结果。地形起伏度、年平均气温和年平均降水量等是主要的自然约束力,人均粮食产量、总人口数和乡村人口比重等是关键人文驱动力。人地交互力对乡村聚落用地规模影响总体强于自然约束力和人文驱动力的单方面作用,且解释力表现为非线性增强或双因子增强效应。

(4)黄土高原各分区乡村聚落用地规模格局形成的影响因子及其作用程度各有不同。自然地理因素与社会经济因素对黄土高原沟壑区、土石山区和高原风沙区乡村聚落用地规模格局的交互影响最为广泛;社会经济因素之间的交互作用对黄土丘陵沟壑区乡村聚落用地规模格局的影响最为复杂;人口规模与社会经济发展水平对河谷平原区乡村聚落用地规模格局交互影响最为突出;农业灌溉区乡村聚落用地规模格局受粮食生产与区位条件的协同增强影响深刻。

4.2 讨论

(1)本文将传统统计数据 and 现代遥感监测数据相结合,从区域和分区等不同层面研究了黄土高原地区乡村聚落用地规模演变规律,厘定了黄土高原及其各分区乡村聚落用地规模格局形成的主要动力因子,是对国家、区域和村域尺度乡村聚落时空格局演变研究的补充和深化^[15,18,24],研究结果对优化配置黄土高原地区乡村聚落用地具有一定的实践指导价值,同时也为开展生态脆弱区乡村聚落用地空间研究提供了参考。

(2)黄土高原乡村聚落用地规模等级的极化趋势明显,25年间首位乡村聚落和末位乡村用地规模显著上升,中位乡村聚落用地规模逐渐下降。而样带分析则发现农牧交错带首位和末位乡村聚落用地规模呈现下降趋势,中位乡村聚落用地规模呈现上升趋势,这与农牧交错带特殊的自然地理条件和社会经济基础密切相关^[45,46]。农牧交错带是全球气候变化的敏感区,生态环境脆弱,社会经济发展地域差异大,乡村聚落用地规模演变具有明显的地域差异性,在快速城镇化和工业化影响下,资源环境相对匮乏的乡村聚落用地规模不断减小,而资源环境相对优越的乡村聚落用地规模有所上升。

2020年7月

(3)黄土高原及其各分区乡村聚落用地规模格局演变受到自然约束力、人文驱动力和人人地交互力共同作用。不同作用力对同一地区乡村聚落用地规模的作用程度存在显著差异,同一作用力对不同分区乡村聚落用地规模的作用强度和作用方式也不尽相同。因此,开展黄土高原乡村聚落用地空间演变中的自然约束力、人文驱动力的动态变化分析和人人地交互力的综合考察,揭示乡村聚落系统演变的深层机理,并预测乡村聚落系统演变趋势是未来研究的重要方向。

4.3 政策建议

黄土高原及其各分区乡村自然地理基础、区位条件、人口分布和社会经济等要素的地域差异大,在乡村聚落用地空间优化过程中,各地区应遵循乡村自然地理和社会经济要素的地域分异规律,科学合理有序推进。

首先,优化黄土高原乡村聚落结构体系。引导乡村聚落适度集中,科学搬迁撤并黄土丘陵沟壑区、土石山区和高原风沙区等生态环境脆弱、发展基础薄弱的乡村聚落,整合景观破碎、规模较小、布局分散的村落,建立科学合理、协调稳定的乡村聚落格局。

其次,合理配置黄土高原乡村聚落用地空间。充分考虑黄土高原各地区乡村聚落自然条件和社会经济发展水平,基于乡村人口规模、地形地貌、资源环境基础条件等人文经济和自然地理基础,科学划定乡村聚落生产和生活空间,发展与区域资源环境承载力相适应的乡村绿色产业,提高乡村聚落用地效率。

第三,提升黄土高原乡村聚落综合服务功能。在确保黄土高原地区乡村聚落生活居住等基础功能基础上,整合乡村聚落土地资源等生产要素,推进河谷平原区和灌溉农业区乡村农牧业现代化,提高粮食产量和农业产值;推进乡村聚落基础设施及公共服务设施建设,改善山区乡村聚落交通区位优势;增强乡村聚落生计维持功能和产业发展功能,提高黄土高原沟壑区、黄土丘陵沟壑区和土石山区的生态服务功能,改善乡村聚落人居环境质量。

参考文献(References):

[1] 李玉恒, 阎佳玉, 武文豪, 等. 世界乡村转型历程与可持续发展

展望[J]. 地理科学进展, 2018, 37(5): 627-635. [Li Y H, Yan J Y, Wu W H, et al. The process of rural transformation in the world and prospects of sustainable development[J]. Progress in Geography, 2018, 37(5): 627-635.]

[2] 刘彦随. 中国新时代城乡融合与乡村振兴[J]. 地理学报, 2018, 73(4): 637-650. [Liu Y S. Research on the urban-rural integration and rural revitalization in the new era in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(4): 637-650.]

[3] 刘彦随. 中国乡村振兴规划的基础理论与方法论[J]. 地理学报, 2020, 75(6): 1120-1133. [Liu Y S. The basic theory and methodology of rural revitalization planning in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(6): 1120-1133.]

[4] 陈晓华, 张小林, 梁丹, 等. 国外城市化进程中乡村发展与建设实践及其启示[J]. 世界地理研究, 2005, 14(3): 13-18. [Chen X H, Zhang X L, Liang D, et al. The practice of rural development and build in foreign countries' urbanization and its enlightenments to China[J]. World Regional Studies, 2005, 14(3): 13-18.]

[5] 李玉恒, 阎佳玉, 宋传奎. 乡村振兴与可持续发展: 国际典型案例剖析及其启示[J]. 地理研究, 2019, 38(3): 595-604. [Li Y H, Yan J Y, Song C Y. Rural revitalization and sustainable development: Typical case analysis and its enlightenments[J]. Geographical Research, 2019, 38(3): 595-604.]

[6] 梁发超, 刘诗苑, 起晓星, 等. 近30年闽南沿海乡村聚落用地空间演化过程研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(22): 18-26. [Liang F C, Liu S Y, Qi X X, et al. Spatial evolution process of rural settlement land in coastal areas of Southern Fujian in recent 30 years [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(22): 18-26.]

[7] 瓦尔特·艾萨德. 区域科学导论[M]. 陈宗兴, 尹怀庭, 陈为民, 译. 北京: 高等教育出版社, 1991. [Isard W. A Guide to Regional Science[M]. Chen Z X, Yin H T, Chen W M, Trans. Beijing: Higher Education Press, 1991.]

[8] Sonis M, Grossman D. Rank-size rule for rural settlements[J]. Socio-Economic Planning Sciences, 1984, 18(6): 373-380.

[9] Grossman D, Sonis M. A reinterpretation of the rank-size rule: Examples from England and the land of Israel[J]. Geographical Research Forum, 1989, (9): 67-108.

[10] Rey V, Bachvarov M. Rural settlements in transition-agricultural and countryside crisis in the Central-Eastern Europe[J]. GeoJournal, 1998, 44(4): 345-353.

[11] N-Flores C C, Irwin E G. Determinants of residential land-use conversion and sprawl at the rural-urban fringe[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2004, 86(4): 889-904.

[12] Haines A. Managing rural residential development[J]. The Land Use Tracker, 2002, 1(4): 6-10.

[13] 金其铭. 我国农村聚落地理研究历史及现今趋向[J]. 地理学报, 1988, 55(4): 311-317. [Jin Q M. The history and current trends of

- research on rural settlement geography in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1988, 55(4): 311-317.]
- [14] 李瑛, 陈宗兴. 陕南乡村聚落体系的空间分析[J]. *人文地理*, 1994, 9(3): 13-21. [Li Y, Chen Z X. A spatial analysis of the system of rural communities in Southern Shaanxi[J]. *Human Geography*, 1994, 9(3): 13-21.]
- [15] 商冉, 曲衍波, 姜怀龙. 人地关系视角下农村居民点转型的时空特征与形成机理[J]. *资源科学*, 2020, 42(4): 672-684. [Shang R, Qu Y B, Jiang H L. Spatiotemporal characteristics and formation mechanism of rural residential land transition from the perspective of human-land relationship[J]. *Resources Science*, 2020, 42(4): 672-684.]
- [16] 周国华, 贺艳华, 唐承丽, 等. 中国农村聚居演变的驱动机制及态势分析[J]. *地理学报*, 2011, 66(4): 515-524. [Zhou G H, He Y H, Tang C L, et al. Dynamic mechanism and present situation of rural settlements evolution in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(4): 515-524.]
- [17] 曲衍波, 魏淑文, 商冉, 等. 基于“点-面”特征的农村居民点空间形态识别[J]. *资源科学*, 2019, 41(6): 1035-1047. [Qu Y B, Wei S W, Shang R, et al. Spatial morphology of rural settlements based on site and functional characteristics[J]. *Resources Science*, 2019, 41(6): 1035-1047.]
- [18] 曲衍波, 魏淑文, 刘敏, 等. 农村居民点多维形态空间格局与耦合类型[J]. *自然资源学报*, 2019, 34(12): 2673-2686. [Qu Y B, Wei S W, Liu M, et al. Spatial pattern and coupling types of multi-dimensional morphology of rural residential land[J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(12): 2673-2686.]
- [19] 刘彦随, 刘玉. 中国农村空心化问题研究的进展与展望[J]. *地理研究*, 2010, 29(1): 35-42. [Liu Y S, Liu Y. Progress and prospect on the study of rural hollowing in China[J]. *Geographical Research*, 2010, 29(1): 35-42.]
- [20] 龙花楼, 屠爽爽. 乡村重构的理论认知[J]. *地理科学进展*, 2018, 37(5): 581-590. [Long H L, Tu S S. Theoretical thinking of rural restructuring[J]. *Progress in Geography*, 2018, 37(5): 581-590.]
- [21] 李红波, 张小林, 吴启焰, 等. 发达地区乡村聚落空间重构的特征与机理研究: 以苏南为例[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(4): 591-603. [Li H B, Zhang X L, Wu Q Y, et al. Characteristics and mechanism of rural settlements spatial reconstruction in developed areas: A case study of Southern Jiangsu[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(4): 591-603.]
- [22] 刘继来, 刘彦随, 李裕瑞, 等. 2007-2015年中国农村居民点用地与农村人口时空耦合关系[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(11): 1861-1871. [Liu J L, Liu Y S, Li Y R, et al. Coupling analysis of rural residential land and rural population in China during 2007-2015[J]. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(11): 1861-1871.]
- [23] 杨忍, 刘彦随, 龙花楼, 等. 中国村庄空间分布特征及空间优化重组解析[J]. *地理科学*, 2016, 36(2): 170-179. [Yang R, Liu Y S, Long H L, et al. Spatial distribution characteristics and optimized reconstructing analysis of rural settlement in China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(2): 170-179.]
- [24] 李小建, 许家伟, 海贝贝. 县域聚落分布格局演变分析: 基于1929-2013年河南巩义的实证研究[J]. *地理学报*, 2015, 70(12): 1870-1883. [Li X J, Xu J W, Hai B B. The changing distribution patterns of rural settlements during the process of urbanization: The case of Gongyi(1929-2013), China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(12): 1870-1883.]
- [25] 李智, 张小林, 李红波, 等. 基于村域尺度的乡村性评价及乡村发展模式研究: 以江苏省金坛市为例[J]. *地理科学*, 2017, 37(8): 1194-1202. [Li Z, Zhang X L, Li H B, et al. Research on rural-ity at village scale and rural development model: A case of Jintan City, Jiangsu Province[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(8): 1194-1202.]
- [26] 宋永永, 薛东前, 米文宝, 等. 宁夏限制开发生态区村域发展的模式与机理[J]. *经济地理*, 2017, 37(4): 167-175. [Song Y Y, Xue D Q, Mi W B, et al. Village development mode and mechanism of limited development ecological zones in Ningxia[J]. *Economic Geography*, 2017, 37(4): 167-175.]
- [27] 陈宗峰, 李裕瑞, 刘彦随. 黄土丘陵沟壑区乡村聚落分布格局特征与类型[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(14): 266-274. [Chen Z F, Li Y R, Liu Y S. Distribution pattern characteristic and type classification of rural settlements in Loess Hilly-gull Region[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(14): 266-274.]
- [28] 李玉恒, 阎佳玉, 刘彦随. 基于乡村弹性的乡村振兴理论认知与路径研究[J]. *地理学报*, 2019, 74(10): 2001-2010. [Li Y H, Yan J Y, Liu Y S. The cognition and path analysis of Rural Revitalization Theory based on rural resilience[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(10): 2001-2010.]
- [29] 屠爽爽, 龙花楼, 张英男, 等. 典型村域乡村重构的过程及其驱动因素[J]. *地理学报*, 2019, 74(2): 323-339. [Tu S S, Long H L, Zhang Y N, et al. Process and driving factors of rural restructuring in typical villages[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(2): 323-339.]
- [30] 杨勇, 邓祥征, 吴锋, 等. 华北平原农村居民点演变及社会经济影响因素分析[J]. *人文地理*, 2019, 34(2): 116-124. [Yang Y, Deng X Z, Wu F, et al. Analysis of rural settlement evolution and socioeconomic affect factors in North China Plain[J]. *Human Geography*, 2019, 34(2): 116-124.]
- [31] 史利莎, 温胜强, 刘小鹏, 等. 生态移民安置区聚落形态研究: 以宁夏滨河家园安置区为例[J]. *干旱区资源与环境*, 2018, 32(5): 64-70. [Shi L S, Wen S Q, Liu X P, et al. Settlement form of ecological resettlement areas from perspective of human-land relationship: A case of Binhe resettlement area of Ningxia[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2018, 32(5): 64-70.]

2020年7月

- [32] 周国华, 刘畅, 唐承丽, 等. 湖南乡村生活质量的空间格局及其影响因素[J]. 地理研究, 2018, 37(12): 2475-2489. [Zhou G H, Liu C, Tang C L, et al. Spatial pattern and influencing factors of quality of life in rural areas of Hunan Province[J]. Geographical Research, 2018, 37(12): 2475-2489.]
- [33] 李换换, 宋伟, 张艳. 农村居民点演化数据制备综述[J]. 资源科学, 2019, 41(4): 689-700. [Li H H, Song W, Zhang Y. Review of data preparation for rural settlement evolution research[J]. Resources Science, 2019, 41(4): 689-700.]
- [34] 徐枫, 王占岐, 张红伟, 等. 随机森林算法在农村居民点适宜性评价中的应用[J]. 资源科学, 2018, 40(10): 2085-2098. [Xu F, Wang Z Q, Zhang H W, et al. Application of random forest algorithm in suitability evaluation of rural residential land[J]. Resources Science, 2018, 40(10): 2085-2098.]
- [35] 宋永永, 薛东前, 马蓓蓓, 等. 黄土高原城镇化过程及其生态环境响应格局[J]. 经济地理, 2020, 40(6): 174-184. [Song Y Y, Xue D Q, Ma B B, et al. Urbanization process and its ecological environment response pattern on the Loess Plateau, China[J]. Economic Geography, 2020, 40(6): 174-184.]
- [36] Song Y Y, Xue D Q, Dai L H, et al. Land cover change and eco-environmental quality response of different geomorphic units on the Chinese Loess Plateau[J]. Journal of Arid Land, 2020, 12(2): 29-43.
- [37] 国家发展改革委, 水利部, 农业部, 等. 黄土高原地区综合治理规划大纲(2010-2030年)[EB/OL]. (2010-12-30) [2020-01-09]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/201101/t20110117_962112.html. [National Development and Reform Commission, Ministry of Water Resources of the People's Republic of China, Ministry of Agriculture, et al. Outline of Comprehensive Management Plan for the Loess Plateau (2010-2030)[EB/OL]. (2010-12-30) [2020-01-09]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/201101/t20110117_962112.html.]
- [38] 贺艳华, 曾山山, 唐承丽, 等. 中国中部地区农村聚居分异特征及形成机制[J]. 地理学报, 2013, 68(12): 1643-1656. [He Y H, Zeng S S, Tang C L, et al. Differentiation characteristics and forming mechanism of rural settlements in Central China[J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(12): 1643-1656.]
- [39] 李小建. 欠发达地区乡村聚落空间演变[M]. 北京: 科学出版社, 2019. [Li X J. Spatial Changes of Rural Settlements in China's Less-Developed Region[M]. Beijing: Science Press, 2019.]
- [40] 马蓓蓓, 孙媛媛. 1990-2015年黄土高原地区农村社会经济发展及新农村建设数据集[DB/OL]. (2018-12) [2020-01-09]. <http://www.geodata.cn/data/datadetails.html?dataguid=65360412809836&docId=2041>. [Ma B B, Sun Y Y. Data Set of Rural Social and Economic Development and New Rural Construction in the Loess Plateau from 1990 to 2015[DB/OL]. (2018-12) [2020-01-09]. <http://www.geodata.cn/data/datadetails.html?dataguid=65360412809836&docId=2041>.]
- [41] 史文娇, 刘奕婷. 四个历史时期中国北方农牧交错带界线数据集(1970-2010)[J]. 全球变化数据学报, 2018, 2(4): 419-425. [Shi W J, Liu Y T. Data set of four historical periods in the ecotone between agriculture and animal husbandry in Northern China (1970-2010) [J]. Journal of Global Change Data & Discovery, 2018, 2(4): 419-425.]
- [42] 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.
- [43] 陈彦光, 刘继生. 城市系统的异速生长关系与位序-规模法则: 对Steindl模型的修正与发展[J]. 地理科学, 2001, (5): 412-416. [Chen Y G, Liu J S. Reconstructing Steindl's model: From the law of allometric growth to the rank-size rule of urban systems[J]. Scientia Geographica Sinica, 2001, (5): 412-416.]
- [44] 王劲松. 地理探测器原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1) 116-134. [Wang J S. Geodetector: Principle and prospective[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1) 116-134.]
- [45] 斯琴朝克图, 房艳刚, 乌兰图雅. 内蒙古农牧交错带聚落的格局特征及其形成过程研究: 以扎鲁特旗为例[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(8): 75-80. [Siqinchaoketu, Fang Y G, Wulantuya. The pattern characteristics and formation processes of rural settlements in the agro-pastoral zone: The case of Jarud Banner, Inner Mongolia, China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016, 30(8): 75-80.]
- [46] 裴宏伟, 常春平, 贺文慧, 等. 城市化背景下农牧交错带农村聚落过疏化问题研究: 以冀西北康保县为例[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(1): 169-173. [Pei H W, Chang C P, He W H, et al. Depopulation of rural areas under the backdrop of urbanization: A case study of Kangbao County, Northwest of Hebei Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009, 17(1): 169-173.]

Spatiotemporal change of rural settlement land in the Loess Plateau and influencing factors

YANG Kaiyue, SONG Yongyong, XUE Dongqian

(School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

Abstract: Examining the change of rural settlement land scale and its influencing factors is of great theoretical and practical significance for optimizing the spatial pattern of rural settlements and implementing the national strategy of rural revitalization. In this study, the spatial distribution and scale of rural settlement land in the Loess Plateau between 1990 and 2015 were examined using the rank-size analysis, kernel density analysis, and geographical detector and the ArcGIS10.2 software. The influencing factors and driving mechanism of rural settlement land scale pattern are revealed. The results show that: (1) Since 1990, the number of rural settlement patches and the scale of land use in the Loess Plateau have shown an overall increasing trend, of which the number of rural settlement patches increased most obviously from 2000 to 2005, and the scale of land use expanded most obviously from 2005 to 2010. (2) The scale of rural settlements in the Loess Plateau is in a stage of unbalanced development, and the spatial distribution of rural settlements shows clear historical inheritance, which is manifested in overall expansion and local filling. (3) The formation of rural settlement land scale pattern in the Loess Plateau is affected by multiple factors. Topographic relief, annual average temperature, and annual average precipitation are the main natural forces, and per capita grain output, total population, and the proportion of rural population are the key human driving forces. The influence of any combination of two factors on the regional difference of rural settlement land scale is stronger than that of a single factor. (4) The interaction of various factors has significant influence on the scale pattern of rural settlement in the Loess Plateau. The interaction of natural geographical factors and socioeconomic factors has the most extensive influence on the scale pattern of rural settlement land in the gully region, the rocky mountain area, and the aeolian sand area of the Loess Plateau. The interaction between socioeconomic factors has obvious synergistic effect on the scale pattern of rural settlement land in the hilly and gully areas of the Loess Plateau and in valley plain areas. Grain production and location have an obvious synergistic effect on the scale pattern of rural settlement land in the irrigation agricultural areas.

Key words: rural settlement; land use scale; spatiotemporal change; transect analysis; influencing factors; geographical detector; Loess Plateau