引文格式：张燕,冯权泷,刘建涛,等. 华北平原典型区县农村聚落的时空演变及影响因素分析——以济南商河县为例[J]. 地理空间信息, 2025, 23(4):48-54. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.04.010

华北平原典型区县农村聚落的时空演变及影响因素分析
——以济南商河县为例

张　燕[1]，冯权泷[2]，刘建涛[1*]，王会蒙[1]，张　灿[1]
（1. 山东建筑大学 测绘地理信息学院，山东 济南 250101；2. 中国农业大学 土地科学与技术学院，北京 100193）

摘　要：为探究华北平原地区农村聚落时空演变特征及影响因素，以济南市商河县为研究区，基于多个时期的Landsat卫星影像，自动提取时序光谱特征和纹理特征，并采用随机森林算法完成对商河县农村聚落的分类。进一步运用空间分析、核密度分析、以及空间自相关分析等方法，探讨了商河县近20 a农村聚落时空演变情况及影响因素分析。结果表明，分类流程具有较高的分类精度，其平均 *OA* 为90.06%，平均Kappa系数为0.876 4。经分析，近20 a来，聚落空间密度呈现出“西北、东北、东南较密集，西南较稀疏，高密度区不断增加”的分布格局；空间集聚程度与密度呈负相关，农村聚落始终保持集聚分布模式，但集聚程度不断减弱。农村聚落的数量与规模呈现以河流和道路为中心，向两侧递减的特点。提取农村聚落并进行时空演化分析，对于优化商河县农村聚落空间格局、促进城乡统筹发展具有重要意义。

关键词：农村聚落；随机森林；时空演变；影响因素；商河县
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）04-0048-07

Rural Settlements Spatio-temporal Evolution of Typical Districts and Counties in the North China Plain and the Influence Factors Analysis: A Case Study of Shanghe County, Jinan

ZHANG Yan[1], FENG Quanlong[2], LIU Jiantao[1], WANG Huimeng[1], ZHANG Can[1]
(1. School of Surveying and Geo-informatics, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China;
2. College of Land Science and Technology, China Agriculture University, Beijing 100193, China)

Abstract: In order to explore the spatio-temporal evolution characteristics and influence factors of rural settlements in the North China Plain, taking Shanghe County of Jinan City as the research area, based on multi-temporal Landsat images, we extracted the time series spectral features and texture features, used random forest algorithm, spatial analysis, kernel density analysis, spatial autocorrelation analysis and other methods to classify the rural settlements in Shanghe County, and discussed the spatio-temporal evolution of rural settlements in Shanghe County in recent 20 years and its influence factors. The results show that the classification process in this paper has high classification accuracy, with an average overall accuracy of 90.06% and an average Kappa coefficient of 0.876 4. In the past 20 years, the spatial density of settlements presented a distribution pattern of “dense in the northwest, northeast and southeast, sparse in the southwest, and increasing high-density areas”. The degree of spatial agglomeration is negatively correlated with the density. Rural settlements always maintain the pattern of agglomeration distribution, but the agglomeration degree is weakening. The number and scale of rural settlements show the characteristics of decreasing to both sides, with rivers and roads as the center. Extracting rural settlements and spatio-temporal evolution analysis are of great significance for optimizing the spatial pattern of rural settlements in Shanghe County and promoting the overall development of urban and rural areas.

Keywords: rural settlement, random forest, spatio-temporal evolvement, influence factor, Shanghe County

目前，国内外有关农村聚落时空变化的研究已在聚落形态分类[1-2]、地域类型[3]、区位[4]、规模[5-6]、密度[7-8]、聚落体系结构等[9]几个方面取得了一系列研究成果。然而，以往对农村聚落的研究，多集中于城镇发展建设、新农村生态保护及人居环境治理，忽略了对农村聚落空间格局演变的研究[10-11]。现今大部分研究集中在较小时间尺度，有必要从长时序时空演变的角度开展农村聚落空间布局方面的研究。此外，在农村聚落时空演

项目来源：国家自然科学基金资助项目（42171113、42001367）。
第一作者简介：张燕（2000—），硕士研究生，研究方向为城市地理和乡村地理、空间数据挖掘，E-mail：zhangyan738299@163.com。
通信作者：刘建涛（1981—）博士，副教授，研究方向为城市地理和乡村地理、空间数据挖掘、生态环境遥感，E-mail：liujiantao18@sdjzu.edu.cn。

变的基础上，许多学者继续对其演变背后的影响因子[12-13]与驱动机制进行研究，结果发现影响农村聚落时空演变的因素十分复杂，在不同的自然地理环境和社会经济条件下，农村聚落空间布局模式大不相同[14-15]。

本文以济南市商河县为研究区，通过协同使用光谱指数、纹理等特征，利用随机森林算法提取商河县时间序列的农村聚落信息，揭示不同时期商河县农村聚落的空间布局模式，结合人口及社会经济统计数据及相关文献资料，分析农村聚落的时空演变特征及影响因素，为今后商河县科学规划与建设农村聚落、促进城乡统筹发展提供科学依据。

1 研究区概况与数据源

1.1 研究区概况

商河县位于山东省西北部，济南市北部，地处116°58′~117°26′E，37°06′~37°32′N，总面积1 162.9 km²，地势平缓，呈菱形（图1）。境内有徒骇河、土马河等10余条河流，气候为暖温带半湿润季风气候，年均气温12.8℃，降水量573 mm。2020年常住人口52.7万，其中农村人口占66.41%。辖1个街道、11个镇、948个行政村和14个社区居委会。

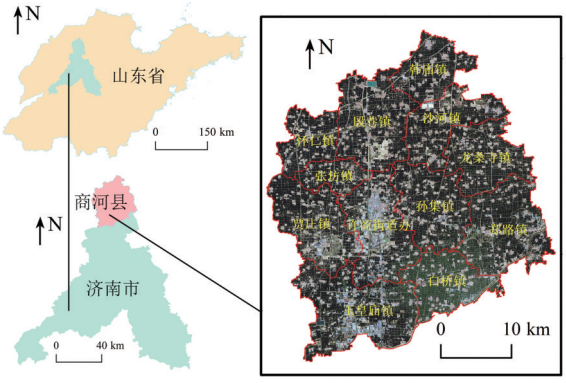


图1 商河县区位图

审图号：鲁SG(2023)026号

1.2 数据源及预处理

基于商河县城镇发展进程及数据可获取性，本研究以10 a为时间节点，选取2000年、2010年和2020年3个时间节点，系统研究近20 a农村聚落的时空演变特征。研究数据来源于美国地质调查局（USGS）官方平台（https://glovis.usgs.gov/），其中2000年和2010年采用Landsat5 TM影像，2020年采用Landsat8 OLI影像。在ENVI 5.3软件环境下，对影像进行辐射定标、大气校正、几何校正及研究区裁剪等预处理。基于3期影像，提取了NDVI、MNDWI、NDBI等光谱特征及纹理特征数据集，其他辅助数据主要包括商河县的行政边界、道路以及河流的矢量数据等。

2 研究方法

本文的工作流程主要包括4个步骤：①影像下载及预处理，包括三期Landsat影像辐射定标、大气校正、几何校正、裁剪等预处理工作；②特征计算，所选特征包括归一化植被指数（NDVI），修正后的归一化差异水体指数（MNDWI），归一化建筑指数（NDBI），GLCM纹理特征；③随机森林分类，确定分类体系及样本选择，根据验证样本进行精度验证并与不同方法进行精度对比；④制图与分析，基于分类结果制作农村聚落空间分布图，分析农村聚落时空演化特征及影响因素。

2.1 特征提取

2.1.1 光谱指数

本文在原始多光谱波段基础上，选取了归一化植被指数（NDVI）、修正后的归一化差异水体指数（MNDWI）和归一化建筑指数（NDBI）3个光谱指数。NDVI广泛用于植被研究，与植被密度呈线性相关。MNDWI通过使用短波红外波段（SWIR）替换NDWI中的近红外波段，提高了水体提取精度[16]。NDBI是受NDVI启发得到的归一化建筑指数。其计算公式如下：

$$\mathrm{NDVI}=\frac{\rho(N)-\rho(R)}{\rho(N)+\rho(R)} \tag{1}$$

$$\mathrm{MNDWI}=\frac{\rho(G)-\rho(M)}{\rho(G)+\rho(M)} \tag{2}$$

$$\mathrm{NDBI}=\frac{\rho(\mathrm{SWIR})-\rho(N)}{\rho(\mathrm{SWIR})+\rho(N)} \tag{3}$$

式中，ρ（N）、ρ（R）、ρ（G）、ρ（M）、ρ（SWIR）分别为近红外波段、红波段、绿波段、中红外波段及短波红外的地表反射率。

2.1.2 纹理特征

研究表明引入纹理特征可提高地表信息提取精度[17-18]。本研究选取6个彼此相关性较弱的纹理特征，即均值（MEA）、标准偏差（STD）、同质性（HOM）、相异度（DIS）、熵（ENT）和角度秒矩（ASM），用于区分农村聚落和其他地物之间差异。计算公式分别为：

$$\mathrm{MEA}_i=\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{N-1} i\times P(i,j) \tag{4}$$

$$\mathrm{VAR}_i=\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{N-1} P(i,j)\times\left(i-\mathrm{MEA}_i\right)^2 \tag{5}$$

$$\mathrm{HOM}=\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{N-1}\frac{\boldsymbol{P}(i,j)}{1+(i-j)^2} \tag{6}$$

$$\mathrm{DIS}=\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{N-1}\boldsymbol{P}(i,j)\times|i-j| \tag{7}$$

$$\mathrm{ENT}=\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{N-1}-\boldsymbol{P}(i,j)\times\ln\left(\boldsymbol{P}(i,j)\right) \tag{8}$$

$$\mathrm{ASM}=\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{N-1}\boldsymbol{P}(i,j)^2 \tag{9}$$

式中，N 为灰度级数目；$\boldsymbol{P}$ 为 $N\times N$ 维归一化灰度共生矩阵；$\boldsymbol{P}(i,j)$ 为矩阵中第 i 行、第 j 列的标准化灰度值。计算处理移动窗口设置为7像素×7像素。

2.2 样本选择

将Landsat影像中各波段的光谱特征、纹理特征等添加到一个特征集中，以此进行商河县土地利用分类。通过人工目视解译，使用ENVI 5.3软件中ROI提取工具在研究区内进行样本采集，将研究区土地利用类型划分为：农村聚落、建成区、耕地、植被、裸地、水域、其他共7类。其中农村聚落的训练样本与验证样本数量分别为200和120，除农村聚落类别外的其他六类地物训练样本与验证样本数量分别为160和100，训练样本与验证样本两者相互独立。

2.3 相关算法

随机森林（random forest，RF）是最早由Breiman[19]提出的可用于分类和回归的机器学习算法，相较于之前的分类方法，该算法的精确度更高。经过相关实验，本文取ntree为500，以确保模型能够收敛，mtry为特征总数的平方根[20-22]。

2.4 精度评估

分类完成后，采用混淆矩阵对分类结果进行精度评价，由混淆矩阵可派生出总体分类精度（overall accuracy，OA）、Kappa系数（kappa coefficient）、每种类别的用户精度等指标[23]。本文根据目视解译获得验证样本，并选取*OA*、Kappa系数两项精度评价指标。

3 结果与分析

3.1 分类结果及精度验证

采用本文方法的分类结果整体分类状况良好，3 a分类结果的*OA*与Kappa系数指标如表1所示，三期影像的分类精度都达到较高标准，2020年总体精度达到91.66%，Kappa系数达到0.901 2。

同时，本文以2020年影像为例，比较了不同机器学习方法在农村聚落提取中的性能，包括随机森林算法（RF）、支持向量机（SVM）以及最大似然分类（ML），使用相同的训练样本和验证样本以保证实验的可比性和准确性，所有实验均借助ENVI 5.3软件完成。为定量评估本文方法的优势性，3种分类方法的精度对比如表2所示。可见RF性能优于SVM与ML，SVM分类精度略低（总体精度为87.87%、Kappa系数为0.856 3），ML分类精度最低（总体精度为83.37%、Kappa系数为0.804 2），而RF的总体精度较SVM与ML分别高出3.79%与8.29%。RF具有更高的鲁棒性，可有效防止过拟合，且凭借耗时短，计算量小的特点，在遥感分类领域更具优势性。

表1 分类精度统计

年份	*OA*/%	Kappa
2000年	87.83	0.845 3
2010年	90.70	0.882 6
2020年	91.66	0.901 2

表2 RF、SVM、ML的精度比较

分类算法	RF	SVM	ML
OA/%	91.66	87.87	83.37
Kappa	0.901 2	0.856 3	0.804 2

3.2 商河县农村聚落时空演变特征

3.2.1 农村聚落规模及演变

农村聚落空间规模分布大小是其在空间格局演变中的重要特征，选取斑块数量、斑块总面积、平均斑块面积及斑块面积标准差五类指标表征农村聚落规模演变特征，得到不同时期商河县农村聚落规模分类统计表（表3）。

表3 商河县农村聚落规模分类统计表

年份	总斑块数/个	斑块总面积/hm²	平均斑块面积/hm²	斑块面积标准差
2000年	1 666	9 683.57	5.75	8.36
2010年	2 178	8 652.87	3.97	6.07
2020年	2 230	10 528.36	4.72	7.94

如表3所示，商河县农村聚落呈现规模适中，各镇均匀分散的特征。2000年以来，商河县农村聚落总斑块数量持续增加，斑块总面积、平均斑块面积与斑块面积标准差先减后增。2000—2010年，农村人口增长，自建房数量上升，使得聚落数量增加，大量传统聚落拆除改造，自建房规模较小使得平均斑块面积与总面积有所减少。2010—2020年，国家逐步发展乡村振兴战略，自建房数量小幅增长，为了顺应工业化及城镇化时代发展潮流，农村聚落发生扩张、迁移及合并，小聚落不断聚集，再次形成规模较大的新聚落，使得聚落总面积与平均斑块面积均增加。

3.2.2 农村聚落密度及演变

为了直观表达农村聚落在空间上的连续变化趋势，

本研究提取3个时期的农村聚落斑块中心点，并据此采用核密度分析工具得到商河县农村聚落分布核密度（图2）。

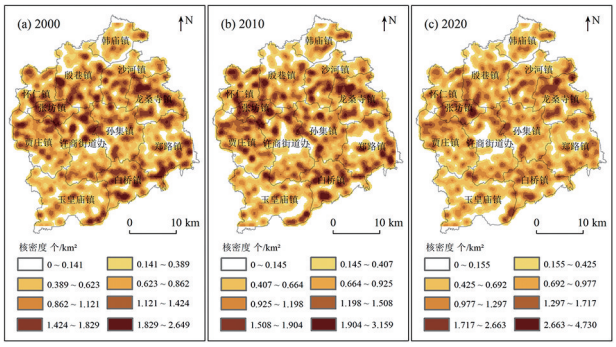


图2 2000—2020年农村聚落核密度图

审图号：鲁SG(2023)026号

总体而言，商河县农村聚落呈现出“西北、东北、东南较密集，西南较稀疏，高密度区不断增加”的总体空间分布格局。将商河县农村聚落核密度图与行政区划图叠加进行分析，2000年商河县农村聚落平均密度多在0.33~0.66/km^{2}范围内，0.66~0.99/km^{2}次之，密度平均值为0.51个/km^2，全区农村聚落密集核心区的密度为2.65个/km^2。高密度核心区主要集中在许商街道北部、殷巷镇南部、龙桑寺镇、白桥镇南部及郑路镇南部，主要分布在地势平缓、农业生产条件优良的区域。2010年商河县农村聚落平均密度多在0.39~0.79/km^{2}范围内，全区农村聚落密度平均值为0.54个/km^2，密度核心区的密度为3.16个/km^2。高密度核心区仍主要集中在许商街道北部、龙桑寺镇、白桥镇南部及郑路镇南部，且聚集程度不断加剧，但与2000年相比，殷巷镇南部农村聚落密度较稳定，无较大增幅，且农村聚落有向张坊镇聚集的趋势。张坊镇整区农村聚落密度较平均，最高密度与最低密度相差不明显。2020年商河县农村聚落平均密度多在0~0.59/km^{2}范围内，农村聚落密度平均值为0.50个/km^2，与2010年相比，平均密度有所下降，但密度核心区的密度最高达到4.73个/km^2。张坊镇与龙桑寺镇成为2个高密度核心区，聚集程度加剧，集聚范围扩大，逐渐形成由张坊镇向其四周扩张的趋势，全县的高密度核心区不断增多，农村聚落不断向镇中心靠拢，一些边远农村沿着河流水系迁移合并，使得全县农村聚落平均密度降低。

3.2.3 聚落聚集程度及演变

空间自相关可分为全局和局部2种。全局空间自相关用于描述某一地理现象的整体空间分布状态，包括聚集、分散或随机等情况。而局部空间自相关则计算每个空间单元与其邻近单元在某一属性上的相关程度[24]。本文对商河县农村聚落居民点数据进行全局空间自相关分析，得到Moran's I指数数据（表4），借此分析农村聚落空间集聚特征的变化情况。

表4 商河县农村聚落全局自相关指数数据

年份	Moran’s I指数	方差	Z得分	P得分	置信度/%	空间集聚模式
2000年	0.279 116	0.000 284	16.64	0.00	99	集聚
2010年	0.054 070	0.000 236	3.59	0.00	99	集聚
2020年	0.041 650	0.000 285	2.53	0.01	95	集聚

从商河县农村聚落空间自相关报表可知，这3 a的农村聚落空间集聚模式均表现为聚集，且2000年与2010年的分析结果置信度为99%，可信度极高，2020年的分析结果置信度为95%，分析结果仍具有较大的参考意义。3 a的Moran I指数均大于0，说明2000—2020年农村聚落的空间分布都具有正相关性；2000—2020年Moran I指数逐次递减，说明在2000—2020年间农村聚落空间聚集模式发生了离散，但仍表现为聚集模式。

对商河县农村聚落居民点数据进行局部空间自相关分析（热点分析），得到热点分析结果图（图3）。怀仁镇、殷巷镇西部与郑路镇北部为热点区，其中以怀仁镇为代表最明显；张坊镇南部与白桥镇北部为冷点区。2010年时，热点区向商河县北部偏移，集中在韩庙镇与殷巷镇北，孙集镇中南部出现零星热点区；冷点区仍主要分布在张坊镇。2020年与2010年相比，热点区分布区域变化不大，但分布范围缩小，热点区集聚程度有所下降；除张坊镇这一稳定冷点区外，龙桑寺镇北部新增多处冷点区。将商河县农村聚落局部集聚特征图与核密度分布图对比分析，发现两者在空间上表现为较明显的局部负相关性，说明呈现高密度分布的农村聚落规模反而更小。

3.3 农村聚落影响因素分析

农村聚落的空间格局演变受自然因素与人文社会因素的双重影响。自然因素是农村聚落演变的基础，人文社会因素是农村聚落演变发展的重要驱动力。因商河县水源充沛、交通路网丰富，随着工业化、城镇化不断加剧，农村聚落呈现逐渐向城镇靠拢的趋势。故本文选取水文、交通及乡镇中心距离三项地理空间因素对商河县农村聚落的空间格局演变进行分析，依据三项地理空间因素做缓冲区分析时，距离参数根据经验值和最佳参数得出的结果设定[25]。

3.3.1 水文因素

借助ArcGIS软件的缓冲区分析工具，选取商河县主要水系以400 m为间隔建立多环缓冲区，形成0~400 m、400~800 m、800~1 200 m、1 200~1 600 m、

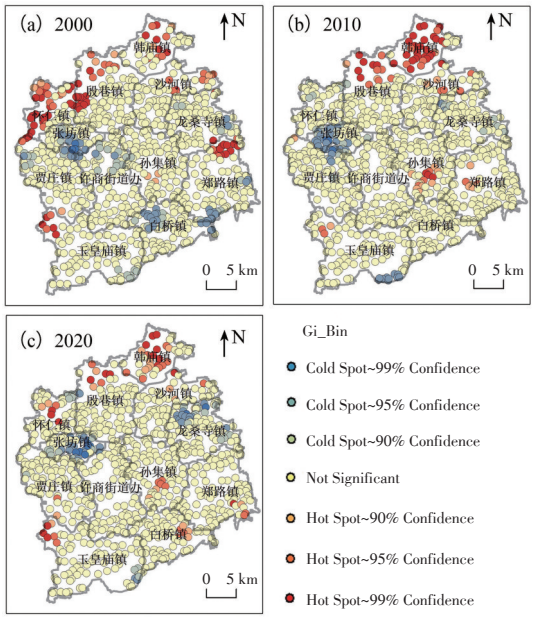


图3 2000—2020年空间局部集聚特征图

审图号：鲁SG(2023)026号

1 600~2 000 m 5个缓冲区，再将三期商河县农村聚落中心点数据分别与其叠加得到河流作用下农村聚落分布情况（表5），通过农村聚落中心点与缓冲区的叠合情况，分析河流对商河县农村聚落分布的影响。

表5 商河县农村聚落分布与河流的关系

河流缓冲区/m	斑块数/个			斑块面积/hm²		
	2000年	2010年	2020年	2000年	2010年	2020年
0~400	261	257	250	1 577.57	1 438.17	1 798.10
400~800	349	353	335	1 689.47	1 512.14	1 884.09
800~1 200	275	282	272	1 365.35	1 192.47	1 380.59
1 200~1 600	220	227	231	1 142.22	1 034.04	1 201.18
1 600~2 000	178	181	175	870.40	785.09	954.33

由商河县农村聚落与河流缓冲区的关系表可知，商河县农村聚落沿河流集聚的特点十分明显，整体看来，聚落的斑块数及面积与河流缓冲区的大小成反比。距离河流越近，农村聚落斑块数与斑块面积越大；距离河流越远，农村聚落斑块数与斑块面积越小。农村聚落的斑块面积整体呈现出以河流为中心，向两侧面积递减的趋势。

农村生产生活和土地灌溉等都需要大量水源，农村聚落大多分布在离水源近的地区，但过度临近河流也面临洪水威胁，居民生活安全得不到保障，故在距离河流400 m范围内分布的聚落斑块数明显少于400~800 m、800~1200 m范围。距河流400~800 m缓冲范围内农村聚落斑块数最多，聚落斑块面积也最大，说明400~800 m缓冲范围内农村聚落分布最聚集，规模也较大，此范围最适合农村聚落选址。

3.3.2 交通因素

选取商河县交通网络中的铁路、高速、国道、省道及主要县道，分析其整体交通因素对商河县农村聚落空间格局变化的影响。与分析水文因素对农村聚落分布影响的方法一致，将商河县交通道路以400 m为间隔建立多环缓冲区，分析交通因素对商河县农村聚落分布的影响。

由商河县农村聚落与道路缓冲区的关系表（表6）可知，商河县农村聚落受交通网络影响较大，商河县道路走向与河流走向基本一致，两者对农村聚落分布的影响相似，农村聚落斑块数量及面积与道路缓冲区的大小也呈负相关。不同的是，在距离道路400 m范围内分布的聚落斑块数少于400~800 m范围内的数量，但多于800~1 200 m范围内的数量。因传统农村聚落位置较偏远，交通条件落后，对于外界感知处于封闭状态，城乡之间连接不密切。为了加强城乡联系，农村聚落对外交通条件不断完善，新聚落更倾向于依附交通干线选址，传统聚落不断向交通便利的地区迁移，使得距道路800 m缓冲范围内农村聚落占比较大，从800 m向外，聚落斑块数与斑块面积逐渐减少。

表6 商河县农村聚落分布与交通的关系

道路缓冲区/m	斑块数/个			斑块面积/hm²		
	2000年	2010年	2020年	2000年	2010年	2020年
0~400	238	244	249	1 490.50	1 409.13	1 755.82
400~800	298	310	284	1 800.41	1 508.15	1 747.37
800~1 200	235	227	224	1 083.27	964.58	1 129.06
1 200~1 600	182	187	183	859.00	763.34	921.81
1 600~2 000	142	143	142	748.95	656.06	788.01

其次，与河流缓冲区一致，距道路400~800 m缓冲范围内农村聚落斑块数最多，聚落斑块面积也最大，进一步证实了400~800 m缓冲范围内农村聚落分布最聚集，规模也较大这一结论，距离河流、道路400~800 m是农村聚落选址的最适宜范围，这意味着农村聚落既要与外界保持交流，又维持了其原有的独立性。

3.3.3 乡镇中心距离

乡镇中心是介于城镇与农村之间的过渡节点，对周边农村聚落具有一定的带动作用。从农村聚落空间格局演变趋势可以看出，农村聚落不断向各镇中心区集聚，可见建制镇对农村聚落也有很大影响。利用ArcGIS软件的缓冲区分析工具，将商河县各建制镇中心点以1 000 m为间隔建立多环缓冲区，通过农村聚落中心点到建制镇中心点的距离，分析乡镇中心距离对聚落分布的影响（图4）。

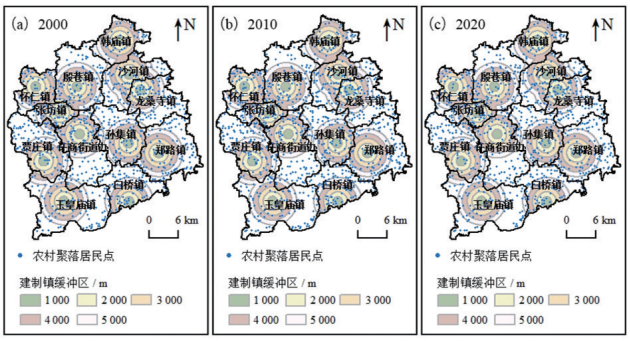


图4 2000—2020年建制镇缓冲区

审图号：鲁SG(2023)026号

由商河县农村聚落与建制镇缓冲区的关系图表（表7）可知，2000、2010年时，随着距乡镇中心距离的增加，农村聚落斑块数呈现先增加后减少的趋势，聚落斑块面积与斑块数变化趋势相同，在建制镇缓冲区3 000~4 000 m范围内，聚落斑块数与斑块面积最大。但2020年3 000~4 000 m范围内聚落斑块数与斑块面积均小于4 000~5 000 m建制镇缓冲区范围，说明2020年，农村聚落个数及聚落面积与建制镇缓冲区大小完全表现为正相关，随着距乡镇中心距离的增加，农村聚落个数及聚落面积不断增大，且未来正相关趋势可能会继续增强。

表7 农村聚落分布与乡镇中心距离的关系

建制镇缓冲区/m	斑块数/个			斑块面积/hm²		
	2000年	2010年	2020年	2000年	2010年	2020年
0~1 000	50	48	44	428.82	427.39	498.55
1 000~2 000	120	131	123	846.03	772.25	881.63
2 000~3 000	180	187	177	1 253.55	1 127.97	1 283.66
3 000~4 000	229	237	214	1 593.74	1 401.50	1 712.52
4 000~5 000	206	206	221	1 531.64	1 367.01	1 720.75

3.3.4 人文社会因素

自2000年来商河县总人口数不断上升，城镇人口占比不断加大，暂住人口数量逐年上升，人口迁入、迁出主要受升学、就业和婚嫁影响。2000年，商河县农业人口占全县总人口的90%，主要分布在各自然村，非农业人口主要分布在城区及乡镇政府驻地。2010年，全县农村人口占总人口数的66.5%，其中，许商街道人口密度最大，玉皇庙镇人口密度最小。2020年，城镇人口比重较2010年上升11.97个百分点，农村人口较2010年继续减少。

经济条件改善对商河县农村聚落演变具有一定影响，一方面，产业结构调整带来的收益促进了社会整体发展，进而提高居民的收入水平。2020年，商河县地区生产总值稳定增长，达到125.57亿元，其中，第一产业增长3.6%；第二产业增长4.0%；第三产业增长3.0%。另一方面，农村经济结构发展变化加快了农村发展定位转型，新兴的农村发展政策如“1+1+5+*N*”乡村振兴政策规划体系不断完善，使商河县朝着乡村振兴迈出了更坚实的步伐。

4 结 论

本文以商河县为研究区，基于2000年、2010年和2020年遥感影像构建时序光谱特征和纹理特征，运用随机森林算法提取农村聚落，并利用ArcGIS空间分析方法分析了研究区近20 a农村聚落时空变化特征及影响因素。研究得出的主要结论如下：

1）本文方法取得了较高的分类精度，其平均总体精度为90.06%，平均Kappa系数为0.876 4，与SVM及ML分类方法作对比实验发现RF提取精度最高，具有更高的鲁棒性，可有效防止过拟合。

2）空间规模上，2000—2020年，商河县农村聚落经历分离又合并的变化过程，由原始聚落分离成小规模聚落后又通过迁移合并等方式再次聚集，使聚落规模扩大。密度方面，呈现出“西北、东北、东南较密集，西南较稀疏，高密度区不断增加”的总体空间分布格局，形成由张坊镇向其四周扩张的趋势。集聚程度上，20 a间商河县农村聚落空间集聚模式始终表现为聚集，但发生了离散，聚集程度降低，冷热区分布明显，热点区主要集中在商河县北部，张坊镇为固定冷点区，并且发现商河县农村聚落集聚程度与密度呈负相关，高密度分布区域的聚落规模反而更小。

3）商河县农村聚落沿河流、道路集聚的特点十分明显，农村聚落的斑块面积整体呈现出以河流和道路为中心，向两侧递减的趋势，400~800 m河流及道路缓冲范围内农村聚落分布最聚集，规模也较大；农村聚落个数与聚落面积随距乡镇中心距离的增加而增大，两者表现为正相关。人口增长导致住房需求量增加，进城务工人员规模加大使得城镇人口占比不断加大，随着社会经济条件改善、城市化进程加快，城市及乡镇中心地区可带动周边农村聚落发展，提升其经济发展水平，增加居民收入。

本文采用传统分析方法研究农村聚落演变，聚落所隐含的特征规律有待进行深入挖掘，聚落的空间布局优化方式以及空间重构原则，也是今后的一个重点研究方向。

参考文献

[1] 黄亚平,郑有旭. 江汉平原乡村聚落形态类型及空间体系特征[J]. 地理科学,2021,41(1): 121-128

[2] 李红波,张小林. 国外乡村聚落地理研究进展及近今趋势[J]. 人文地理,2012,27(4):103-108
[3] 马晓冬,李全林,沈一. 江苏省乡村聚落的形态分异及地域类型[J]. 地理学报,2012,67(4):516-525
[4] 谭雪兰,安悦,蒋凌霄,等. 江南丘陵地区乡村聚落地域分异特征研究:以湖南省为例[J]. 地理科学,2018,38(10):1 707-1 714
[5] 单勇兵,马晓冬,仇方道. 苏中地区乡村聚落的格局特征及类型划分[J]. 地理科学,2012,32(11):1 340-1 347
[6] 简钰清,陈颖怡,谢圆圆,等. 1980-2015年广东省乡村聚落的空间特征与演变[J]. 生态与农村环境学报,2019,35(6):698-706
[7] 纪惠文,查小春. 秦岭东部乡村聚落空间演变特征及其影响因素研究: 以商洛市丹凤县为例[J]. 生态与农村环境学报,2022,38(1):32-42
[8] 田雅丝,刘艳芳,孔雪松,等. 乡村聚落空间演变特征分析[J]. 地理空间信息,2017,15(12):76-79
[9] 龙花楼,李裕瑞,刘彦随. 中国空心化村庄演化特征及其动力机制[J]. 地理学报,2009,64(10):1 203-1 213
[10] 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
[11] 胡航箫,戴文远,徐乙文,等. 福州山区乡村聚落空间格局及其与水土资源的耦合态势[J]. 生态与农村环境学报,2021,37(2):164-171
[12] 林金萍,雷军,吴世新,等. 新疆绿洲乡村聚落空间分布特征及其影响因素[J]. 地理研究,2020,39(5):1 182-1 199
[13] Jia K,Qiao W,Chai Y,et al. Spatial Distribution Characteristics of Rural Settlements Under Diversified Rural Production Functions: A Case of Taizhou, China[J]. Habitat International,2020,102:102 201
[14] Brendan M. The Sustainability of a Car Dependent Settlement Pattern: An Evaluation of New Rural Settlement in Ireland[J]. The Environmentalist,1998,19(2):99-107
[15] Carolan M S. Barriers to the Adoption of Sustainable Agriculture on Rented Land: An Examination of Contesting Social Fields [J]. Rural Sociology,2005,70(3):387-413
[16] Xu H. Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery[J]. International Journal of Remote Sensing,2006,27(14):3 025-3 033
[17] Feng Q L,Liu J T,Gong J H. UAV Remote Sensing for Urban Vegetation Mapping Using Random Forest and Texture Analysis[J]. Remote sensing,2015,7(1):1 074-1 094
[18] Feng Q L,Liu J T,Gong J H. Urban Flood Mapping Based on Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing and Random Forest Classifier:A Case of Yuyao,China[J]. Water,2015,7(4):1 437-1 455
[19] Breiman L. Random Forests[J]. Machine Learning,2001,45(1):5-32
[20] Cutler A. Remembering Leo Breiman[J]. The Annals of Applied Statistics,2010,4(4):1 621-1 633
[21] Rodriguez-Galiano V F,Ghimire B,Rogan J,et al. An Assessment of the Effectiveness of a Random Forest Classifier for Land-cover Classification[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,2012,67:93-104
[22] 朱德海,刘逸铭,冯权泷,等. 基于GEE的山东省近30年农业大棚时空动态变化研究[J]. 农业机械学报,2020,51(1):168-175
[23] 刘春亭,冯权泷,金鼎坚,等. 随机森林协同Sentinel-1/2的东营市不透水层信息提取[J]. 自然资源遥感,2021,33(3):253-261
[24] 郑文升,姜玉培,罗静,等. 平原水乡乡村聚落空间分布规律与格局优化:以湖北公安县为例[J]. 经济地理,2014,34(11):120-127
[25] 贾金慧. 黄陵县乡村聚落演变及空间重构[D]. 西安:陕西师范大学,2018

(上接第47页)

[17] 王劲峰,徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报,2017,72(1): 116-134
[18] 李彦旻,沈育生,王世航. 基于土地利用变化的安徽省陆地碳排放时空特征及效应[J]. 水土保持学报,2022,36(1):182-188
[19] 曹姝艳. 安徽省工业碳排放的现状与优化路径[J]. 铜陵学院学报,2022,21(2):29-32
[20] 王雯雯,谷优阳,张驰,等. 基于POI及核密度分析的咸丰县城乡交错带分布研究[J]. 资源环境与工程,2022,36(1):117-123
[21] 赵卫锋,李清泉,李必军. 利用城市POI数据提取分层地标[J]. 遥感学报,2011,15(5):973-988
[22] 杜海波,魏伟,张学渊,等. 黄河流域能源消费碳排放时空格局演变及影响因素:基于DMSP/OLS与NPP/VIIRS夜间灯光数据[J]. 地理研究,2021,40(7):2 051-2 065
[23] Liu J P,Zhang X B,Song X H. Regional Carbon Emission Evolution Mechanism and Its Prediction Approach Ddriven by Carbon Trading: A Case Study of Beijing[J]. Journal of Cleaner Production,2018,172(2): 2 793-2 810
[24] Wang S J,Shi C Y,Fang C L,et al. Examining the Spatial Variations of Determinants of Energy-related CO_2 Emissions in China at the City Level Using Geographically Weighted Regression Model[J]. Applied Energy, 2019,235(10):95-105