

盐池北部风沙区乡村聚落空间格局演变分析

王曼曼^{1,2}, 吴秀芹^{1,2*}, 吴斌^{1,2}, 张宇清^{1,2}, 董贵华³

(1.北京林业大学水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室,北京 100083; 2.北京林业大学水土保持学院,宁夏盐池毛乌素沙地生态系统国家定位观测研究站,北京 100083; 3.中国环境监测总站,北京 100012)

摘要:为科学辨识盐池北部风沙区乡村聚落演变特征及其影响因素,该文基于 2005 年及 2012 年土地利用数据提取乡村聚落,运用空间韵律指数、空间统计测度模型、GIS 热点制图及地理探测器模型等来定量展现乡村聚落的规模、布局及形态的演变特征,探索自然地形、区位条件及社会经济发展水平因素对乡村聚落格局分异的影响力。研究结果表明:盐池北部风沙区乡村聚落规模整体缩减,集约用地程度提高,斑块形态趋向简单规则发展,聚落分布重心朝东南方向迁移;乡村聚落空间集聚程度进一步加强,分布密度呈“中密外疏”的空间特征;聚落规模“热点”区布局基本未变,而“冷点”区表现出了明显的轮换特征。近 8 a 期间,乡村聚落分布逐渐向草地、林地靠拢,且远离沙源,乡村聚落的变迁映射出沙区人地关系趋于缓和,人类活动正在以积极的方式逐渐优化沙区的生态人居环境。基于 1 km×1 km 网格单元进行的地理探测器分析表明研究区乡村聚落空间布局分异主要受区位条件和自然地形的影响,其中区位条件影响作用力最显著,主要表现为离农业灌区距离、离沙源距离、城镇临近度 3 个指标,而社会经济发展水平对其影响力不显著。该研究可为沙区乡村聚落的空间布局优化与调控、新农村规划建设及沙区聚落人居环境改善提供决策参考。

关键词:土地利用;农村;模型;乡村聚落;空间演变;空间关联测度;地理探测器;盐池北部风沙区

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.08.037

中图分类号: F301.24

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2016)-08-0260-12

王曼曼, 吴秀芹, 吴斌, 张宇清, 董贵华. 盐池北部风沙区乡村聚落空间格局演变分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(8): 260—271. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.08.037 <http://www.tcsae.org>

Wang Manman, Wu Xiuqin, Wu Bin, Zhang Yuqing, Dong Guihua. Evolution analysis of spatial pattern of rural settlements in sandy area of northern Yanchi[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(8): 260—271. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.08.037 <http://www.tcsae.org>

0 引言

聚落是人类为了满足生产和生活需要而集聚的居住场所,是自然因素与人文因素的综合体现,可分为城市聚落和乡村聚落。乡村聚落是中国人口的主要集聚形式^[1],指在一定的地域空间,从事与农业生产活动相关的人群聚居的现象、形态与过程^[2],其具有明显的乡土特色和自然依赖性,既可以是乡村中的单户独院,也可以是由多户人家相邻集聚形成的村落等。乡村聚落的地域分异(包含规模形态、结构分布、区位、功能等)与时空格局演化能够揭示不同阶段人地互动的足迹以及聚落与周边环境、生产之间的关系^[3],其空间分异研究是乡村聚落优化与调控的基础。国外关于乡村聚落的研究开始于 19 世纪 20 年代,主要基于乡村聚落的类型分布与形态研究,逐渐向乡村人口、乡村产业与聚落的关系^[4-5]、乡村聚落的

空间体系^[6]、公共服务设施对乡村聚落形态的影响^[7-8]、乡村聚落的社会学研究^[9]、乡村聚落格局演化^[10-11]、乡村聚落的行为学研究^[12-14]及乡村聚落重构^[15-16]等方向发展,整体表现出研究更趋向综合化、量化以及人文社会范式化的发展过程。相比之下,国内学者对乡村聚落的研究起步较晚。20 世纪 30 年代以后,其研究热点才不断增多,研究内容主要集中在乡村聚落的区域研究、乡村聚落地理研究、农业土地利用和区划研究^[17]等方面。改革开放以后,经济社会转型使中国乡村地区各种生产要素配置发生了剧烈变化,乡村聚落的形态与类型研究、乡村聚落的体系研究得到较大发展^[18-20]。1990 年以来,随着中国改革的继续深入、城市化的快速推进以及中国“三农”问题、城乡统筹和新农村建设等国家政策的实施,乡村地域各生产要素在城乡之间的流动加强,以土地与劳动力为代表的农村生产要素的非农化转变,致使乡村地域社会经济结构发生显著变化,乡村聚落的形态特征和空间布局也在不断演化与变迁^[21]。国内学者们关注的焦点开始转向乡村城市化、乡村聚落空间转型与重构^[22-25]、乡村聚落时空演变及影响机制分析^[26-30]、乡村聚落空间结构优化^[31-33]、乡村聚落的空心化与“空心村”整治^[34-36]、乡村聚落景观保护与人居环境改善^[37-39]、城乡一体化与等值化^[40-41]等方面,研究区域涵盖了多种地形,如山区、河谷、盆地和平原等^[41-45],研究方法主要为景观生态指数

收稿日期: 2015-10-29 修订日期: 2016-02-04

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划课题(2012BAD16B02)

作者简介: 王曼曼,女,河南濮阳人,博士,主要从事土地生态安全格局方面的研究。北京 北京林业大学水土保持学院,100083。

Email: blwangmanman@hotmail.com

※通信作者: 吴秀芹,女,辽宁阜新人,博士,副教授,主要从事 GIS 应用以及土地利用变化科学方面的研究。北京 北京林业大学水土保持学院,100083。Email: wuxq@bjfu.edu.cn

分析、GIS 空间分析和地理建模^[46,3]。

中国是世界上遭受荒漠化危害最为严重的国家之一，土地沙化严重挤压中国的国土生存空间，使沙区聚落人居环境受到严重威胁。沙区生态条件恶劣，常年风沙频繁，社会经济落后，乡村聚落在地域空间上的持续扩散，不仅加剧了土地沙漠化和生态环境的破坏程度，也对乡村的基础设施建设以及公共产品的配置增添了难度，对改善沙区乡村聚落的“三生”条件及可持续发展造成了严重影响。盐池北部风沙区作为典型的沙区聚落城镇，其乡村聚落形态具有一定的代表性，部分研究学者从土地利用/覆被变化、土地沙漠化、沙区人居安全等方面进行了研究^[47-49]，但是缺乏针对聚落分布格局不同时段集聚演变特征的探索，基于此，本研究以盐池北部风沙区乡村聚落为研究对象，借助空间关联分析模型、地理探测器模型及 GIS 可视化表达方法，深入探讨乡村聚落的时空演变特征及其影响因素，以期认清沙区聚落的分布规律，从而为沙区乡村聚落格局优化与调控、新农村规划建设及沙区聚落人居环境改善提供决策参考。

1 研究区概况

盐池县地处宁夏回族自治区的东部，与毛乌素沙漠南缘接壤，属于典型的农牧交错区，也是宁夏中部干旱带受风沙侵害最为严重的区域，全县几乎所有的沙化土地都位于北部风沙区^[50]。本文研究区地理位置见图 1。

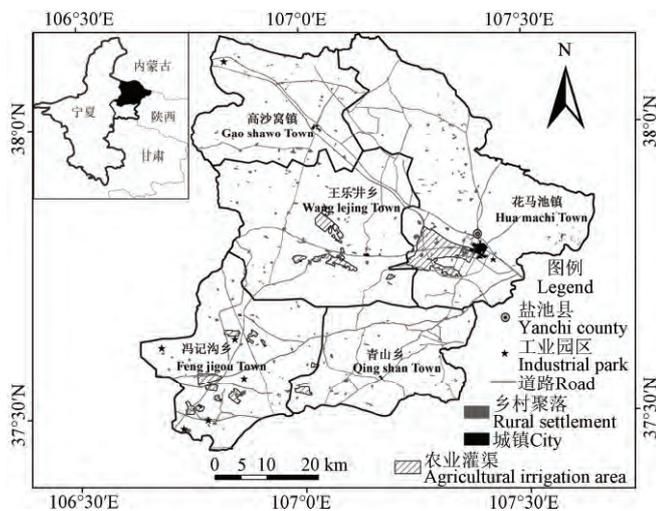


图 1 研究区位置图
Fig.1 Location of study area

由图 1 所示，共涵盖 5 个乡镇，分别为高沙窝镇、花马池镇、冯记沟乡、青山乡、王乐井乡，总面积 4 085.97 km²。风沙灾害、土地荒漠化及过度的人为草场开发活动，致使研究区较低的土地承载力与巨大的人类需求之间严重失衡，加剧了人地关系的恶化，聚落人居环境受到威胁。20 世纪 90 年代后期逐步开展的防沙治沙、退耕还林及禁牧封育等生态建设工程、解决人畜饮水及灌溉相结合的盐环定扬黄工程、新农村建设及城乡基础设施建设，使沙区聚落人居环境得到了逐步改善。截至 2012 年，研究区户籍人口 11.48 万人，其中农业人口 8.61

万人，农民纯收入 4 793 元。区域主要土地利用类型为草地、林地、耕地，以畜牧业为主形成的“盐池滩羊”、“盐池甘草”为其特色优势产业。本文的研究对象是典型的沙区聚落，村庄内村民居住比较分散，聚落多呈微型组团式分布，且聚落之间相距较远，农牧户多以畜牧养殖为生。近年来，随着新农村建设步伐加快，城镇化推动沙区经济产业结构调整，第二、三产业迅速发展，农民生活水平提高，农户流动性增强，生活方式多样化，进城落户、修建新村、改造旧村等乡村集聚方式发生了重大改变。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文研究数据来源于：1) 宁夏盐池县林业局提供的 2005 年 SPOT5 遥感影像（分辨率 5 m），经几何校正、坐标配准、影像融合，采用目视解译提取土地利用信息，对于其中受云层干扰的影像区域，参考 2007 年 TM 影像解译数据进行修正，并于 2008 年 4 月份进行野外抽样检查及属性信息校正，图斑解译准确率达 90.1%；及由国家环保部中国环境监测总站提供的基于 2012 年的资源一号 O2C 卫星遥感影像土地利用数据产品（分辨率 10 m），结合 Google Earth 影像对比验证及研究团队于 2012 年 7 月进行的野外抽查及内业的属性信息校正，图斑解译准确率达 90.7%。两个时期的野外抽样验证工作均采用随机采样的方法，精度评定的样本容量参考各地类占研究区总面积的比例进行选取（表 1），最终地类判读精度满足研究要求。

表 1 2005 与 2012 年影像解译数据野外精度验证
Table 1 Field accuracy validation of remote sensing images interpretation in 2005 and 2012

项目 Item	2005 年 Year of 2005		2012 年 Year of 2012	
	样点数 Number of samples	正确分类 Accurate classification	样点数 Number of samples	正确分类 Accurate classification
耕地 Cultivated land	22	18	24	21
林地 Woodland	47	44	52	45
草地 Grassland	76	69	80	74
水域 Water	18	17	19	18
建设用地 Construction land	28	25	32	30
未利用地 Unused land	32	28	30	27
合计 Total	223	201	237	215
总体精度 Overall accuracy/%	90.1		90.7	

土地利用类型统一划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地及未利用地 6 大类，并从中提取 2 个时期的乡村聚落斑块、道路（铁路、国道、县道）、沙地等信息作为本次研究的主要数据源，同时，为使基于不同数据源进行的聚落演变分析结果具有可比性，2 个时期提取的聚落面积都大于 0.1 hm²，并于 2014 年 11 月及 2015 年 5 月进行聚落样点补查，实地调研 5 个乡镇不同演变类型的典型聚落点共 110 个，其中有 103 个符合实际发展现

状,准确率达 93.6%,研究结果可靠。2) 研究区 1:5 万地形图,及 1:10 万盐环定宁夏专用工程灌区平面布置图,经配准后进行矢量化获取研究区农业灌区数据。3) 2012 年盐池县经济要情手册、盐池县国民经济和社会发展第十二个五年规划,其他社会经济发展情况来自于 2012 年 7 月、2014 年 11 月及 2015 年 5 月 3 次赴盐池县农牧局、国土资源局、统计局、林业局及各乡镇等部门进行实地调研访谈所得,访谈内容涉及乡村产业发展、生态建设、新农村建设情况、农牧户生计模式、人口流动、收入情况、土地流转、农村基础设施配置等内容。

2.2 研究方法

基于遥感解译的乡村聚落用地斑块,提取其中心点位置及地块面积属性信息,运用空间韵律测度指数、平均最近邻指数、核密度估算、空间关联测度模型等方法来揭示 2 个时期乡村聚落的空间形态布局及空间集聚演变特征,并利用地理探测器方法对乡村聚落空间分布影响因素进行探测识别。

2.2.1 空间韵律测度 (spatial metrics)

乡村聚落景观是由形态各异的自然及人文斑块组成的镶嵌体^[51],利用空间韵律指数可以量化并高度浓缩聚落的景观格局信息,展现其结构组成、形态变化及空间配置等特征^[52]。本文选取斑块个数 (number of patches, NP)、斑块面积 (class area, CA)、平均斑块面积 (mean patch size, MPS)、斑块密度 (patch density, PD)、景观形状指数 (landscape shape index, LSI)、重心分布 (X_t , Y_t) 来研究乡村聚落的规模、形态结构及重心迁移的变化。

景观形状指数 (LSI) 通过将乡村聚落斑块的形状与等面积的正方形做比较来衡量聚落斑块的狭长程度^[53],计算公式为

$$LSI = 0.25 \sum_{i=1}^n c_i / \sqrt{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (1)$$

式中 c_i 为第 i 个聚落斑块的周长, m ; a_i 为第 i 个聚落斑块的面积, m^2 。正方形斑块的景观形状指数值为 1,其指数值越大,表明斑块形状越不规整,形状越长。

重心分布 (X_t , Y_t) 用来刻画乡村聚落斑块的几何重心的空间分布及其随时间的移动,进而表征乡村聚落整体的迁移状况,计算公式如下

$$X_t = \sum_{i=1}^n (a_{it} \cdot X_i) / \sum_{i=1}^n a_{it} \quad (2)$$

$$Y_t = \sum_{i=1}^n (a_{it} \cdot Y_i) / \sum_{i=1}^n a_{it} \quad (3)$$

式中 X_t , Y_t 分别表示第 t 年乡村聚落斑块的分布重心的经纬度坐标; a_{it} 表示第 i 个聚落斑块在第 t 年的面积, m^2 ; X_i , Y_i 分别表示第 i 个聚落斑块的几何重心的经纬度坐标。

2.2.2 平均最近邻指数 (ANN)

平均最近邻指数用于判定乡村聚落的整体分布模式,通过测量每个聚落质心与其最邻近的聚落质心点之间的平均距离,并将该距离值与假设随机分布的期望平

均距离进行对比,进而判断聚落空间分布是否集聚。同时,引入标准化 Z 值来衡量平均距离的观测值与期望值之间的差异程度,即将两者的差值与最近邻点平均距离的标准误差进行比较。测度公式如下

$$ANN = \frac{\overline{D_o}}{\overline{D_e}} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i / n}{\sqrt{A/n/2}} \quad (4)$$

$$SE = 0.26136 \sqrt{\frac{A}{n^2}} \quad (5)$$

$$Z = \frac{\overline{D_o} - \overline{D_e}}{SE} \quad (6)$$

式中 $\overline{D_o}$ 是每个乡村聚落斑块质心与其最近邻斑块质心的观测平均距离, m ; $\overline{D_e}$ 是假设随机模式下斑块质心的期望平均距离, m ; SE 为最邻近点平均距离的标准误差; n 为乡村聚落的斑块总数; d 为距离, m ; A 为包络研究区所有聚落斑块的最小外接矩形面积, m^2 。若 $ANN < 1$, 则聚落斑块呈集聚分布; 反之则趋向于随机分布; ANN 的取值范围从 0 (完全集聚分布) 到 1 (随机分布) 再到 2.1491 (均匀分布) 不等^[54-55]。若 $Z > 1.96$ 或 $Z < -1.96$, 即可认为在 $\alpha=0.05$ 的显著性水平下,所计算的观测模式与随机模式之间的差值具有统计显著性; 反之, 如果 $-1.96 < Z < 1.96$, 则可认为观测模式看上去更加集聚或更加分散, 但是实际上, 它与随机模式之间不存在显著差异。

2.2.3 空间关联测度模型

采用 Getis-Ord General G 和 Getis-Ord G_i^* 来分别测度乡村聚落规模的全局与局域的空间关联特征。前者主要用来探测整个研究区乡村聚落的空间关联模式, 即高值集聚或低值集聚; 后者用来判别局部地区不同地域空间上的“高值簇”和“低值簇”的空间分布特征^[56], 并利用 GIS 空间可视化方法来揭示和展现“热点区”与“冷点区”。

1) 全局聚类检验 (Getis-Ord General G)

$$G(d) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}(d) \cdot x_i \cdot x_j / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i \cdot x_j \quad (7)$$

式中 $w_{ij}(d)$ 为以距离规则定义的空间权重; x_i 和 x_j 分别表示 i 和 j 区域的观测值; 可对 $G(d)$ 进行标准化 $Z(G) = (G - E(G)) / \sqrt{\text{var}(G)}$, 其中, $E(G)$ 与 $\text{var}(G)$ 分别代表 $G(d)$ 的期望与方差, 根据 $Z(G)$ 值可以判别 $G(d)$ 是否已经达到某一指标的显著性水平要求以及是否存在正的或负的空间关联性。当 $G(d)$ 大于 0, 且 $Z(G)$ 统计显著时, 表明聚落规模布局存在空间集聚, 且检测区域出现高值簇聚, 当 $G(d)$ 小于 0, 且 $Z(G)$ 统计显著时, 表明存在低值簇聚。

2) 空间热点探测分析 (Hotspot Analysis)

$$G_i^*(d) = \sum_{j=1}^n w_{ij}(d) \cdot x_j / \sum_{j=1}^n x_j \quad (8)$$

利用与式 (7) 同样的方法对 $G_i^*(d)$ 进行标准化处理

得到 $Z(G_i^*) = (G_i^* - E(G_i^*)) / \sqrt{\text{var}(G_i^*)}$ ，其中， $E(G_i^*)$ 与 $\text{var}(G_i^*)$ 分别代表 $G_i^*(d)$ 的期望与方差，若 $Z(G_i^*)$ 大于零，且统计显著时，则属于高值集聚“热点区”，表示位置 i 点周边的值高于平均值；若 $Z(G_i^*)$ 小于零，且统计显著时，则属于低值集聚“冷点区”，表示位置 i 点周边的值低于平均值^[57]。

2.2.4 地理探测器模型

地理探测器方法是由王劲峰等在探寻地理空间分区因素对疾病风险的影响机理时提出的，包含风险探测、因子探测、生态探测和交互探测 4 个部分内容。其中的因子探测器是用来检测某种地理因素是否是形成某个指标值空间分异的原因，其具体的做法是比较该指标在不同类别分区上的总方差与该指标在整个研究区域上的总方差^[58-59]。近年来，该方法作为一种探测某种要素空间格局成因和机理的重要方法被逐渐应用到与社会、经济、自然等相关的地理学科研究中^[59-62]。

$$P_{D,H} = 1 - \frac{1}{n \cdot \sigma_H^2} \sum_{i=1}^m n_{D,i} \cdot \sigma_{H_{D,i}}^2 \quad (9)$$

式中 $P_{D,H}$ 为影响因子 D 对乡村聚落分布格局 H 的解释力指标； n 和 σ^2 分别是整体研究区域的样本数和方差； m 为某种影响因子的分区个数； $n_{D,i}$ 为 D 指标在 i ($i=1,2, \dots, m$) 级区域上样本的个数。 $P_{D,H}$ 的取值范围为 $[0,1]$ ，当 $P_{D,H}=0$ 时，说明乡村聚落空间分布呈随机状态； $P_{D,H}$ 数值越大，表明该分区因子对乡村聚落空间布局的影响越大。综合考虑盐池北部风沙区自然环境、区位优势及社会发展水平，遵照数据可获性和学理判断原则，遴选出海拔、坡度、交通通达度、城镇临近度、离农业灌区距离、离工业园区距离、离沙源距离、离水源距离、农民人均纯收入、非农业从业人口比例、地均农业机械总动力等 11 项影响因子，分别探测各因子对乡村聚落空间格局的影响作用。

3 结果与分析

3.1 乡村聚落空间格局演变特征

3.1.1 聚落规模整体呈缩减态势，斑块形态趋于规则

2005—2012 年间，盐池北部风沙区乡村聚落总体用地规模 CA 由 2005 年的 58.93km² 减少至 2012 年的 51.15 km²，减少幅度为 13.21%，相反，斑块平均规模 MPS 由 2005 年的 0.09km² 增加至 2012 年的 0.12 km²，增加幅度达 31.60%（表 2），整体呈现出总体用地规模减少，斑块平均规模增加的态势。相较 2005 年，2012 年的 LSI 指数减少了 40.77%，表明聚落形态朝规则化发展。乡村聚落分布重心朝东南方向迁移，符合盐池县城市总体规划中提出的“东扩”战略。盐池县在十二五规划中按照“整合小庄点、建设大村庄”的思路推进农村居民适度集中，缩减了大量独户及几户相连的小聚落点，并将沙埋灾害严重的聚落区进行外迁。同时，按照新农村建设村庄布局规划，进行新聚落的集中连片建设以及在原有聚落基础上进行内部填充或外缘延展方式的扩建。

表 2 2005—2012 年盐池北部风沙区乡村聚落规模变化
Table 2 Change of rural settlements' scale from 2005 to 2012 in sandy area of northern Yanchi

指标 Index	2005 年	2012 年
斑块个数 Number of patches NP	649	428
斑块面积 Class area CA/km ²	58.93	51.15
平均斑块面积 Mean patch size MPS/km ²	0.09	0.12
斑块密度 Patch density PD/(个·km ²)	0.16	0.10
景观形状指数 Landscape shape index LSI	36.55	21.65
重心坐标 Barycentric coordinates (X _i , Y _i)	(37°48'21", 107°6'28")	(37°47'16", 107°6'37")

3.1.2 聚落保持集聚分布模式，密度分布表现为“中密外疏”

利用 ANN 指数表征 2005 年与 2012 年盐池北部风沙区乡村聚落的分布模式（表 3），其值 2 a 均小于 1，说明 2005 年与 2012 年研究区乡村聚落空间分布均呈现聚集分布特征，且聚集程度进一步加强。标准化 Z 值均小于 -1.96，说明聚集态势较为显著。

表 3 2005 年与 2012 年盐池北部风沙区乡村聚落分布的 ANN 分析结果

Table 3 Summary of nearest neighbor analysis for rural settlements in 2005 and 2012 in sandy area of northern Yanchi

项目 Item	2005 年	2012 年
最近邻点平均观测距离 Average observed distance	945.68	1 051.43
最近邻点平均期望距离 Average expected distance	1 498.29	1 839.16
平均最近邻指数 ANN	0.63	0.57
Average nearest neighbor ratio		
Z	-17.98	-16.97
P	0	0

利用 ArcGIS 10.1 软件中的 Feature To Point 模块，分别提取 2005 年和 2012 年盐池北部风沙区乡村聚落斑块的中心点，采用 Kernel 方法制作 2 个时期乡村聚落的空间分布密度图（图 2）。从图中可以看出：1）2005 年核密度最高值为 0.2303 个/km²，2012 年为 0.2176 个/km²，表明单位面积内乡村聚落斑块数量略有减少；2）从空间分布来看，总体呈现“中密外疏”的空间特征，也有分散零星集聚的情况；空间分布格局在 2005 年以盐池县城为核心向西横向扩展的“东西带状”格局基础上，呈现向周边区域多核破碎化演变的趋势，并向南北方向延展。从图 2 可以看出，研究区交通路网密度在 2005—2012 年期间显著提升，2005 年主要由 G307 与 S302 形成了整个研究区的道路骨干，规模较大的聚落主要布局在其周围，随着西部大开发的一些重要基础设施建设项目，如铁路、高速公路等都延伸至盐池，使太中银铁路、青银高速、211 国道等贯穿境内的交通优势突显，加之连通各乡镇与盐池县城之间的县道的修建与完善，致使乡村聚落布局逐渐朝向研究区周边进行发展。经进一步统计，2012 年道路沿线 1 000 m 缓冲区范围内乡村聚落面积较 2005 年增加了 46.53%，新修建道路两侧新增与扩建的聚落显著增加，形成了带状扩展区，交通线网的改善对乡村聚落的布局发展产生了重要的空间引导作用。且随着近几年沙

区产业结构的优化调整, 研究区农牧业规模化经营 (如: 万亩特色农业种植区、畜牧养殖园等) 及工业产业集聚区的形成 (位置见图 1), 乡村聚落布局的发展受到了一定辐射影响, 同时, 伴随城镇蔓延和乡村城镇化的不断发展, 城镇用地的快速扩建也加速了周边乡村聚落的整合, 即聚落“被城镇化”。

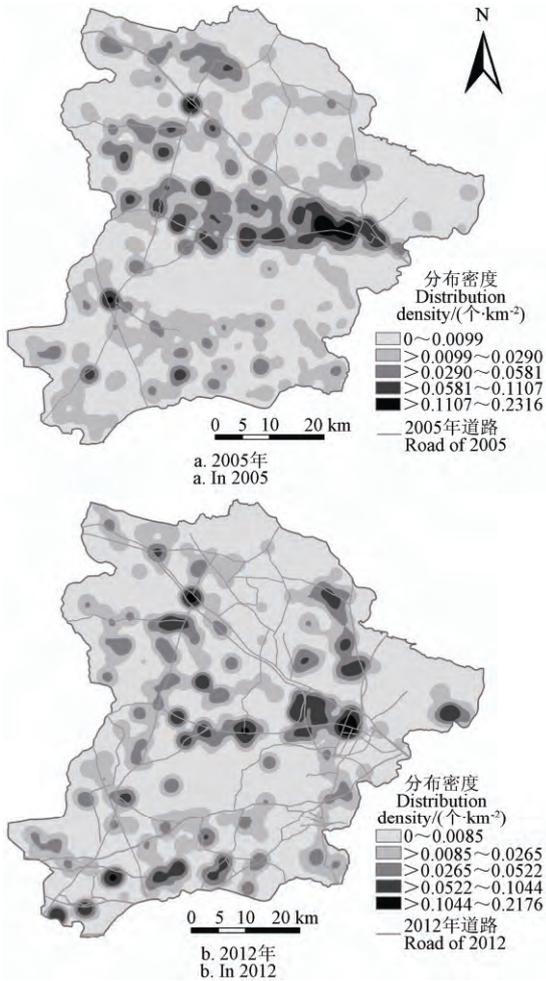


图 2 2005 年与 2012 年盐池北部风沙区乡村聚落分布密度图
Fig.2 Density of distribution of rural settlements from 2005 to 2012 in sandy area of northern Yanchi

3.1.3 聚落斑块空间分异明显, 热点区范围基本未变, 冷点区呈现明显轮换特征

以乡村聚落用地的斑块面积为分析变量, 通过全局性空间聚类检验 (Getis-Ord General G) 测度乡村聚落规模的全局性集聚特征, 结果表明, 2 个年份盐池北部风沙区乡村聚落均呈现全局的低值集聚特征, 即小规模村庄集群式分布。对局部规模分异的分析进一步采用空间热点探测 (Hotspot Analysis), 通过计算北部风沙区局域空间关联指数 Getis-Ord G^* , 并将其空间化, 采用 Jenks 最佳自然断裂方法对 2 个时期的局域 G^* 统计量的 Z 得分从低到高分成 4 类, 生成盐池北部风沙区乡村聚落规模分布格局的热点图 (图 3), 图中每个点位置在空间上代表研究区 2005 年与 2012 年乡村聚落斑块的质心。通过局域的空间关联测度, 从聚落规模变量的热点区 (高值

聚簇区) 与冷点区 (低值聚簇区) 的空间分布演变中, 可以看出: 1) 盐池北部风沙区中部乡村聚落规模较大, 而北部与南部地区的乡村聚落规模较小, 整体规模空间分异呈现出明显的侧“峰”结构; 2) 2005—2012 年期间, “热点”区分布范围基本未变, 而“冷点”区则减少显著, 一方面是由于乡村聚落自身规模的扩张及新建聚落的集中布局, 另一方面则是由于研究区城乡基础设施的建设。2005 年, 在花马池镇中心地带及王乐井乡中部形成了大规模乡村聚落集中分布的“热点”区, 而青山乡东部及花马池镇北部形成了小规模乡村聚落集聚的“冷点”区; 2012 年, “热点区”在维持原有布局基础上, 在冯记沟乡南部新增了大规模乡村聚落集聚区, 而“冷点”区表现出了明显的轮换特征, 原有的冷点区分别演变成了次低值簇和次高值簇, 新增的冷点区则位于高沙窝镇西北部地区。3) “热点”区由 2005 年的带状 (东西走向) 分布逐渐向东部呈团状集中分布, 高值簇主要集中在花马池镇的中心区域, 并在冯记沟乡南部形成了非簇聚的高值“孤立点”。

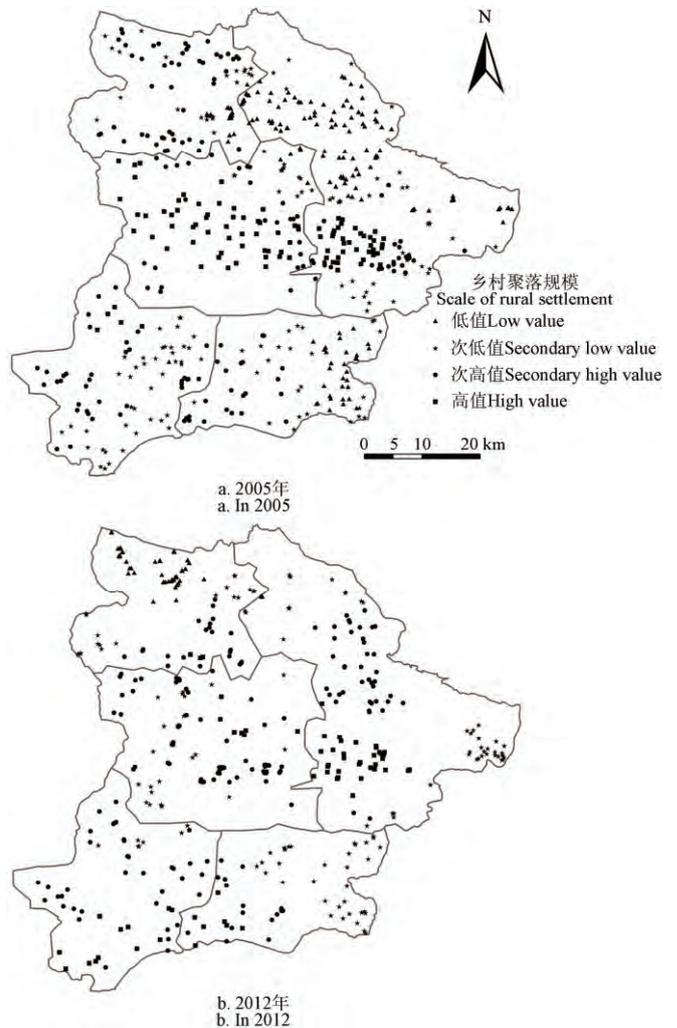


图 3 2005 年与 2012 年盐池北部风沙区乡村聚落规模分异“热点”图

Fig.3 Hot spots mapping for scale of rural settlement from 2005 to 2012 in sandy area of northern Yanchi

3.2 乡村聚落格局演变与土地利用格局变化的关系
聚落分布与形态的演变历程是特定的生态环境与生

产方式在人类自身生存过程中的投影，在生境脆弱的沙区，这种动态关系表现的更为尖锐。本研究分析 2005—2012 年间聚落演变类型及其对应的土地利用类型变化情况，旨在测度周边土地利用变化对乡村聚落布局产生的影响。

3.2.1 聚落格局演变与其所占土地利用变化的关系

图 4 表示 2005—2012 年间盐池北部风沙区乡村聚落用地变化的空间分布情况。运用 GIS 空间分析工具将研究区域两个时期的乡村聚落分布矢量数据进行相交与叠加分析，得到相交用地图斑与叠加用地图斑，以 2005 年聚落作为基本参考，根据其属性表文件将聚落格局演变按照新生、消亡、扩展、退化等划分 4 种类型，进而分析聚落变化的数量和空间特征。其中，新生型代表仅 2012 年存在的乡村聚落；消亡型代表仅 2005 年存在的聚落；扩展型与退化型表示乡村聚落用地在 2005 年的基础上分别进行外延与内缩。经统计，近 8 a 期间，新生型与扩展型聚落用地面积分别为 12.88 和 20.26 km²，占 2012 年乡村聚落总面积的 25.2% 与 39.6%；消亡型与退化型聚落用地面积分别为 22.29 与 17.58 km²，占 2005 年乡村聚落总面积的 37.8% 与 29.8%；总体表现出聚落面积增加 33.46 km²，减少 40.00 km²，增加的部分主要集中在花马池镇，以及均匀散落于其他 4 个乡镇的外围；减少的部分主要位于王乐井乡与盐池县政府所在地周边，其他乡镇均有零散的分布。由表 4 可以看出，2012 年新生与扩展的乡村聚落主要是通过占用 2005 年林地与耕地所形成的，而 2005 年退化和消亡的乡村聚落用地主要转变为 2012 年的草地，说明该地区乡村聚落格局变化对聚落本身所处土地的覆被情况产生了一定的正面影响，复垦后形成的草地一方面为抵御风沙扩散蔓延，保护沙区聚落生态环境，同时也为当地畜牧业养殖提供饲料。

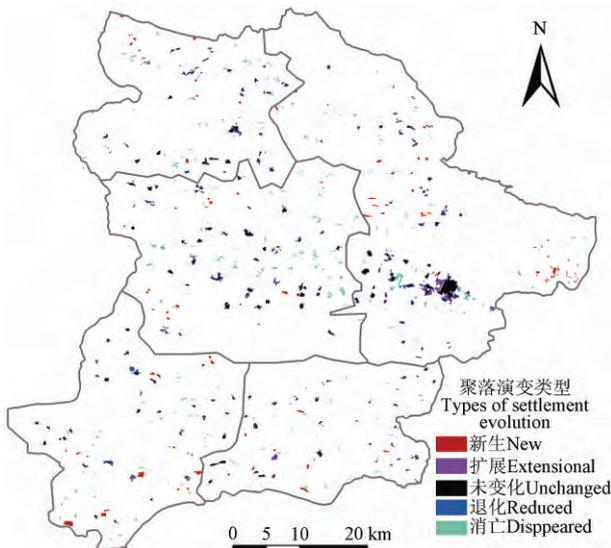


图 4 2005—2012 年盐池北部风沙区乡村聚落用地变化
Fig.4 Change of rural settlements area from 2005 to 2012 in sandy area of northern Yanchi

表 4 2005—2012 年间不同乡村聚落演变类型中各地类面积比
Table 4 Area proportion of land use types in different evolution types of rural settlements during 2005 and 2012

聚落类型 Rural settlements	耕地 Cultivated land	林地 Woodland	草地 Grassland	未利用地 Unused land	其他 Other type	%
新生型 New type	23.95	40.88	24.16	10.32	0.69	
扩展型 Extensional type	49.75	27.62	14.59	4.06	3.98	
退化型 Reduced type	25.81	14.15	48.17	0.24	11.63	
消亡型 Disappeared type	20.81	11.20	64.09	0.46	3.44	

3.2.2 乡村聚落格局演变与周边土地利用变化的关系

选取耕地、草地、林地、沙地 4 种主要土地利用类型，以 500 m 为半径建立土地利用多级缓冲区，分析各梯度缓冲区内乡村聚落的发展变化情况（表 5）。为避免重复，在计算统计各梯度带中聚落斑块面积时，以乡村聚落斑块的几何中心落入点为基准进行统计，可在聚落图斑属性表中利用 Geometry Calculator 计算出聚落中心点的经纬度坐标。对于聚落部分图斑落入某缓冲区而其中心点未落入该范围内，则不计入统计。研究表明：1) 2005—2012 年间，距离耕地 2 500 m 以内，聚落斑块面积随着与耕地的距离（耕作半径）的增加呈递减趋势，其中，500 m 耕地缓冲区是乡村聚落的主要聚居区，2 个时期分别占到聚落总面积的 77.21% 和 47.73%，且与 2005 年相比，2012 年乡村聚落斑块面积在 0~500 m 范围内明显减少，减少比例达 46.35%。其原因一方面与近年来研究区大力开展退耕还林还草生态治理措施有关，耕地面积大幅下降，另一方面，由于研究区地处西北农牧交错带，地域条件特殊，拥有比较优势的农业自然资源是草场，种植业受水资源的约束处于一种靠天吃饭、广种薄收的状态，基于农户生计考虑，养羊收益及打工收益均大大优于种植业，因此参与种植业的农户数量逐渐减少，总体导致乡村聚落面积随耕地距离增加呈减少态势；2) 2 个时期乡村聚落面积及占聚落总面积的比例均随着与草地距离的增加而减少，且相比 2005 年，除 500 m 范围内 2012 年乡村聚落面积明显增大外，在其余草地梯度缓冲区内都比 2005 年减小，这表明乡村聚落分布逐渐向草地周围聚拢，与相关研究^[57]提出的沙区聚落人居安全模式相一致，为减少聚落遭遇风沙灾害侵袭，聚落多分布在以草地为主的耕地、沙地相间分布的模式中。3) 与草地梯度缓冲区内乡村聚落布局一致，2 个时期乡村聚落面积随着与林地距离的增加而减少，且 1 000 m 林地缓冲区内是乡村聚落主要分布区，占聚落总面积的比例均超过 85%，表明乡村聚落临近地的生态环境保护备受重视，沙区人居环境日益改善，进而使现有聚落发展与沙区生态环境协调的趋势得以延续和加强；4) 在 2 000 m 沙地缓冲区内 的 2005 年与 2012 年乡村聚落面积，分别呈现距沙源距离的增加而递减和递增的趋势；相比 2005 年，2012 年聚落面积占总面积的比例急剧减少，分别在 500、1 000、

1 500 m 3 个距离梯度内由 39.27%、27.27%、11.56%减少到 4.57%、8.88%、9.20%。研究区从最初粗放式的农牧

业生产为主逐步转变为以生态建设为主, 沙地蔓延受到抑制, 植被恢复明显, 乡村聚落分布逐渐远离沙源。

表 5 2005—2012 年距离土地利用/覆被不同范围内盐池北部风沙区乡村聚落规模统计

Table 5 Summary of rural settlements area in different distance zones to land use/cover from 2005 to 2012 in sandy area of northern Yanchi

土地覆被缓冲区 Buffer of land use type		聚落斑块面积 Patch area of settlement/km ²		占斑块总面积的比例 Proportion occupying total patch area/%	
		2005 年	2012 年	2005 年	2012 年
距耕地距离 Distance to cultivated land/m	0~500	45.50	24.41	77.21	47.73
	>500~1 000	3.12	5.49	5.30	10.73
	>1 000~1 500	3.87	4.26	6.57	8.33
	>1 500~2 000	2.90	3.95	4.93	7.72
	>2 000~2 500	2.04	3.11	3.45	6.07
	2 500 以上	1.50	9.93	2.54	19.42
距草地距离 Distance to grassland/m	0~500	33.54	40.60	56.92	79.37
	>500~1 000	10.37	3.64	17.60	7.11
	>1 000~1 500	6.60	2.77	11.20	5.42
	>1 500~2 000	4.13	2.87	7.00	5.62
	>2 000~2 500	2.23	1.15	3.78	2.26
	2 500 以上	2.06	0.11	3.50	0.22
距林地距离 Distance to woodland/m	0~500	43.14	30.70	73.33	60.03
	>500~1 000	7.16	13.30	12.17	26.01
	>1 000~1 500	5.46	4.07	9.28	7.95
	>1 500~2 000	1.17	1.89	1.99	3.69
	>2 000~2 500	0.98	0.72	1.67	1.41
	2 500 以上	0.92	0.46	1.56	0.91
距沙地距离 Distance to sand land/m	0~500	23.14	2.34	39.27	4.57
	>500~1 000	16.07	4.54	27.27	8.88
	>1 000~1 500	6.81	4.71	11.56	9.20
	>1 500~2 000	2.81	6.93	4.78	13.56
	>2 000~2 500	4.95	4.62	8.39	9.03
	2 500 以上	5.15	28.01	8.73	54.76

研究总体表明, 近些年研究区大力开展的一些生态建设工程(治沙造林种草、禁牧封育等)已经发挥了成效, 乡村聚落的变迁映射出沙区人地关系趋于缓和, 从“沙进人退”到“人进沙退”, 表现了沙区聚落的生态环境正在经历积极的正向演替, 人类活动正以积极的方式逐渐优化沙区的生态人居环境。

3.3 乡村聚落空间分异影响因素分析

乡村聚落布局表象上可以理解为其规模、形态、分布位置及相互关联的空间综合, 其本质是地域自然因素与人文因素相互耦合的结果^[63]。借鉴以往学者的研究成果, 针对区域的特性, 凝练出反映区域自然要素、区位

条件及经济发展等方面的 11 项指标因子, 对乡村聚落空间格局形成机理进行探测研究。选取海拔 x_1 、坡度 x_2 、交通通达度 x_3 、城镇临近度 x_4 、离农业灌区距离 x_5 、离工业园区距离 x_6 、离沙源距离 (x_7)、离水源距离 x_8 、农民人均纯收入 x_9 、非农业从业人口比例 x_{10} 、地均农业机械总动力 x_{11} 等 11 个指标作为影响乡村聚落分布密度差异的地理探测要素变量。本文将各要素变量分别划分为 5 级(表 6), 并采用 1 km×1 km 网格单元进行区域统计分析, 依据地理探测器方法, 分别计算出各影响因子对乡村聚落空间布局的决定力 P 值。

表 6 各影响因素对乡村聚落空间分布的决定力地理探测结果

Table 6 Geographic detected power of influencing factors for spatial distribution of rural settlements

指标 Indicator	阈值 Threshold value					P 值 P value
	一级区 First zone	二级区 Second zone	三级区 Third zone	四级区 Fourth zone	五级区 Fifth zone	
高程 Elevation x_1 /m	≤1 300	>1 300~1 400	>1 400~1 500	>1 500~1 600	1 600 以上	0.0992
坡度 Slop x_2 /(°)	≤3	>3~8	>8~15	>15~25	>25	0.0105
交通通达度 Distance to the road x_3 /km	≤2	>2~4	>4~6	>6~8	>8	0.0336
城镇临近度 Distance to the town x_4 /km	≤2	>2~4	>4~6	>6~8	>8	0.0561
离农业灌区距离 Distance to the agricultural irrigation area x_5 /km	≤2	>2~4	>4~6	>6~8	>8	0.1802
离工业园区距离 Distance to the industrial park x_6 /km	≤2	>2~4	>4~6	>6~8	>8	0.0375
离沙源距离 Distance to the sand source x_7 /km	≤2	>2~4	>4~6	>6~8	>8	0.0700
离水源距离 Distance to the water source x_8 /km	≤2	>2~4	>4~6	>6~8	>8	0.0403
农民人均纯收入 Net income per capita x_9 /10 ³ Yuan	≤4	>4~4.5	>4.5~5	>5~5.5	>5.5	0.0056
非农业从业人口比例 Proportion of non-agricultural employment population x_{10} %	≤10	>10~20	>20~30	>30~40	>40	0.0048
地均农业机械总动力 Total power of agricultural machinery per cultivated land x_{11} /(kW·hm ⁻²)	≤6	>6~7	>7~8	>8~9	>9	0.0059

其中, 高程和坡度两个影响因素直接在 ArcGIS 中进行聚类分级; 对于 $x_3 \sim x_8$ 影响因子则通过 Euclidean

Distance 分析获取; 对于表征乡村聚落社会经济发展水平的变量 ($x_9 \sim x_{11}$) 是用其所在乡镇的统计数据替代,

虽然无法体现各乡村聚落的发展差异，但在一定程度上能够反映出不同乡镇的农村聚落发展水平、劳动力非农化程度及农业生产现代化水平。

依据模型运算结果可知，盐池县北部风沙区乡村聚落空间分布主要受到离农业灌区距离、高程、离沙源距离、城镇临近度、离水源距离及交通通达度等因子的影响。1) 区位条件对乡村聚落布局影响作用力最为显著，具体表现为 $x_5 > x_7 > x_4 > x_8 > x_6 > x_3$ 。其中，离农业灌区距离 x_5 的地理探测 P 值最大，为 0.1802，主要是由于研究区地处宁夏中部干旱带，常年风大沙多，水资源严重匮乏，受盐环定扬黄工程灌区辐射影响，农业灌溉和人畜饮水问题得到了改善，离农业灌区的距离与农村居民生产和生活活动紧密相关，故该因子影响力较大；离沙源距离 x_7 的地理探测 P 值为 0.0700，该指标与乡村聚落分布呈负相关，表现为聚落密度越大离沙源越远，特殊的沙区生态环境致使当地居民选择聚落布局时重点考虑沙源的影响；随着国家西部大开发战略向纵深推进及宁夏自治区各类优惠政策的完善，带动研究区沙区产业结构的优化调整，逐步引导乡村人口向城镇集中、企业向产业园区聚合、特色优势产业基地规模化等，同时，沙区生态环境建设和城乡基础设施建设得到快速发展，促使乡村聚落趋向离乡镇距离较近、交通条件较好的主干道旁，城镇临近度 x_4 与交通通达度 x_3 的地理探测 P 值分别为 0.0561、0.0336；依托研究区资源禀赋优势，盐池县大力推进工业化进程，培育石油石化、煤化工、新能源、新材料等主导产业，各类产业集聚区的形成与发展很大程度上促进了农户生产活动空间的扩大和居住空间分布趋于密集，导致乡村聚落的局部迁出与合并等，离产业园区距离 x_6 的地理探测 P 值为 0.0375，且该指标与乡村聚落分布呈负相关；考虑到生产、生活用水的便捷性以及干旱灾害的制约，水源对沙区乡村聚落布局有着重要影响，选取湖泊、水库、河流、机井和沟渠作为水源的源点进行距离分析，离水远距离 x_8 的地理探测 P 值为 0.0403，表现出一定水源指向性。2) 自然因素是乡村聚落形成和发展的基础，而地形因素又是其中的主导因素，既为乡村聚落提供了存在与发展的空间，又限制着聚落的扩展。结果表明，乡村聚落空间布局表现出一定的高程依赖性 ($P=0.0992$)，经测算，海拔低于 1 500 m 的乡村聚落占聚落总面积的 83%；而坡度 x_2 对聚落分布的影响力较小 ($P=0.0105$)。3) 盐池北部风沙区农村经济发展水平 ($P=0.0056$)、劳动力非农化程度 ($P=0.0048$) 及农业生产要素投入 ($P=0.0059$) 对乡村聚落空间分布的影响作用不显著。一方面是由于各乡村聚落指标因素值是利用其所在乡镇的统计数据替代，未具体落实到每个聚落，隐含了聚落内部之间的发展差异；另一方面，由于研究区地处西北干旱区，以传统的农牧业为主，乡村聚落发展受到自然环境和经济发展落后的双重制约，工业化、农业现代化水平及农民人均纯收入整体较低，受大中城市的辐射带动作用小，故该指标 ($x_9 \sim x_{11}$) 对沙区乡村聚落空间布局的影响作用力小。

4 讨论

本文结合 GIS、空间统计测度方法及地理探测器模型，探索乡村聚落时空演变特征及其影响因素，深入挖掘乡村聚落隐含的空间关联特征、结构和规律，通过定量分析揭示了盐池北部风沙区乡村聚落空间格局分异的形成机理。已有的针对聚落布局影响因素的定量研究大多是基于 ArcGIS 空间分析模块进行的缓冲区分析，进而对其各景观指数加以解释说明，及利用 Logistic 回归模型进行影响因素的测定，而将地理探测器模型运用到乡村聚落布局分异的影响因素测度中还很少见，该方法较以往研究更能直观的展现各因素的决定力大小，是诊断乡村聚落格局分异主要影响力大小的较为有效的研究方法。需要指出的是，本文中还存在不足之处：一是由于基础数据源不同，会导致空间分析及统计结果存在一定差异，但作为县域尺度，该研究能够反映乡村聚落的整体布局特征和变化趋势，数据精度足以支撑本文整体研究结论；二是乡村聚落空间分布规律及其演变过程深刻体现着人地关系的互动，鉴于生境脆弱的沙区条件，在新农村建设及城镇化发展过程中，应正确认识该地区乡村聚落发展演进规律及影响因素，合理配置城乡基础设施、产业发展布局，构筑合理的村镇格局空间，进而改善聚落人居环境及人地关系，促进乡村聚落集约化、内涵式发展。

5 结论

1) 在新农村建设和城乡一体化发展背景下，盐池北部风沙区乡村聚落总体用地规模减小，平均斑块规模增加，集约用地程度提高；斑块形态趋向简单规则发展；整个乡村聚落分布重心朝东南方向迁移。

2) 2 个时期，盐池北部风沙区乡村聚落均呈聚集特征分布，且聚集程度进一步加强；分布密度总体表现为“中密外疏”的空间特征，且由 2005 年以盐池县城为核心向西横向扩展的“东西带状”格局逐渐发展为向周边区域多核破碎化演变的趋势，且向南北方向延展。乡村聚落向交通沿线布局的趋势明显，且同时受城镇化辐射作用及产业规模发展带动影响。

3) 研究区中部乡村聚落规模较大，南北地区乡村聚落规模较小，整体规模空间分异呈现出明显的侧“峰”结构；在 2005—2012 年期间，聚落规模“热点”区布局基本未变，而“冷点”区表现出了明显的轮换特征。

4) 近 8 a 期间，“新生型”与“扩展型”乡村聚落主要通过占用林地与耕地而形成，“消亡型”、“退化型”乡村聚落退化和消亡后形成的土地利用类型主要是草地，整体表现为乡村聚落规模的缩减；500 m 耕地缓冲区是乡村聚落主要集聚区；2 个时期乡村聚落面积及其所占比例均随着与草地距离的增加而减少，乡村聚落分布逐渐向草地周围聚拢以构建应对沙区脆弱环境的聚落生态安全格局；1 000 m 林地缓冲区内是乡村聚落的主要分布区，表明沙区人居环境得到日益改善；在 2 000 m 沙地缓冲区内乡村聚落面积减少剧烈，乡村聚落分布逐渐远离沙源。

5) 乡村聚落空间分异受自然地形、区位条件及经济发展水平的综合影响。地理探测器模型结果表明研究区受区位条件影响作用力最为显著, 具体表现为离农业灌区距离、离沙源距离、城镇临近度及交通通达度, 自然地形条件中乡村聚落布局表现出一定的高程依赖性, 受数据源及研究区经济发展现状限制, 社会经济水平指标对乡村聚落布局影响力不显著。

[参 考 文 献]

- [1] 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 Guohua, He Yanhua, Tang Chengli, et al. Dynamic mechanism and present situation of rural settlements evolution in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(4): 515—524. (in Chinese with English abstract)
- [2] 周国华, 贺艳华, 唐承丽. 论新时期农村聚居模式研究[J]. 地理科学进展, 2010, 29(2): 186—192. Zhou Guohua, He Yanhua, Tang Chengli. Rural settlement patterns in new era[J]. Progress in Geography, 2010, 29(2): 186—192. (in Chinese with English abstract)
- [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. Ma Xiaodong, Li Quanlin, Shen Yi. Morphological difference and regional types of rural settlements in Jiangsu province[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(4): 516—525. (in Chinese with English abstract)
- [4] Smailes P J, Argent N, Griffin T L C. Rural population density: Its impact on social and demographic aspects of rural communities[J]. Journal of Rural Studies, 2002, 18(4): 385—404.
- [5] Neil M A, Peter J S, Trevor G. Tracing the density impulse in rural settlement systems: A quantitative analysis of the factors underlying rural population density across South-Eastern Australia, 1981—2001[J]. Population and Environment, 2005, 27(2): 151—190.
- [6] Sarly R M. A model for the location of rural settlement[J]. Regional Science Association, 1972, 29(1): 88—104.
- [7] Halseth G, Ryser L. Trends in service delivery: Examples from rural and small town Canada, 1998 to 2005[J]. Journal of Rural and Community Development, 2006, 1(2): 69—90.
- [8] Holmes J. Policy issues concerning rural settlement in Australia's pastoral zone[J]. Australian Geographical Studies, 2008, 23(1): 3—27.
- [9] Cater J, Jones T. Social Geography: An Introduction to Contemporary Issues[M]. London: Edward Arnold, 1989.
- [10] Marc A. Landscape change and urbanization process in Europe[J]. Landscape and Urban Planning, 2004, 67(3): 9—29.
- [11] Paquette S, Domon G. Changing ruralities, changing landscapes: Exploring social recomposition using a multi-scale approach[J]. Journal of Rural Studies, 2003, 19(4): 425—444..
- [12] Hall D R. Albania: Rural development, migration and uncertainty[J]. GeoJournal, 1996, 38(2): 185—189.
- [13] Sevenant M, Antrop M. Settlement models, land use and visibility in rural landscapes: Two case studies in Greece[J]. Landscape and Urban Planning, 2007, 80(4): 362—374.
- [14] Njoh A J. Municipal councils, international NGOs and citizen participation in public infrastructure development in rural settlements in Cameroon[J]. Habitat International, 2011, 35(1): 101—110.
- [15] Marsden T. Rural geography trend report: The social and political bases of rural restructuring[J]. Progress in Human Geography, 1996, 20(2): 246—258.
- [16] Keith H, Angel P. What rural restructuring[J]. Journal of Rural Studies, 2001, 17(1): 41—62.
- [17] 周心琴, 张小林. 我国乡村地理学研究回顾与展望[J]. 经济地理, 2005, 25(2): 285—288. Zhou Xinqin, Zhang Xiaolin. Retrospect and expectation of rural geography in China[J]. Economic Geography, 2005, 25(2): 285—288. (in Chinese with English abstract)
- [18] 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, 43(4): 311—317. Jin Qiming. The history and current trends of research on rural settlement geography in China[J]. Acta Geographica Sinica, 1988, 43(4): 311—317. (in Chinese with English abstract)
- [19] 邢谷锐, 徐逸伦, 郑颖. 城市化进程中乡村聚落空间演变的类型与特征[J]. 经济地理, 2007, 27(6): 932—935. Xing Gurui, Xu Yilun, Zheng Ying. Rural settlement spatial evolution types and features in the process of urbanization[J]. Economic Geography, 2007, 27(6): 932—935. (in Chinese with English abstract)
- [20] 乔陆印, 刘彦随, 杨忍. 中国农村居民点用地变化类型及调控策略[J]. 农业工程学报, 2015, 31(7): 1—8. Qiao Luyin, Liu Yansui, Yang Ren. Regional types and regulating strategy of changes for rural residential land in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(7): 1—8. (in Chinese with English abstract)
- [21] 杨忍, 刘彦随, 龙花楼, 等. 基于格网的农村居民点用地时空特征及空间指向性的地理要素识别: 以环渤海地区为例[J]. 地理研究, 2015, 34(6): 1077—1087. Yang Ren, Liu Yansui, Long Hualou, et al. Spatial-temporal characteristics of rural residential land use change and spatial directivity identification based on grid in the Bohai Rim in China[J]. Geographical Research, 2015, 34(6): 1077—1087. (in Chinese with English abstract)
- [22] 龙花楼. 论土地整治与乡村空间重构[J]. 地理学报, 2013, 68(8): 1019—1028. Long Hualou. Land consolidation and rural spatial restructuring[J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(8): 1019—1028. (in Chinese with English abstract)
- [23] 李婷婷, 龙花楼. 山东省乡村转型发展时空格局[J]. 地理研究, 2014, 33(3): 490—500. Li Tingting, Long Hualou. Study on the spatial-temporal pattern of rural transformation development in Shandong province[J]. Geographical Research, 2014, 33(3): 490—500. (in Chinese with English abstract)
- [24] 李裕瑞, 刘彦随, 龙花楼, 等. 大城市郊区村域转型发展的资源环境效应与优化调控研究: 以北京市顺义区北村为例[J]. 地理学报, 2013, 68(6): 825—838. Li Yurui, Liu Yansui, Long Hualou, et al. Village transformation development, resources and environment effects and their optimal regulation in the suburb of metropolitan: The case of Beicun in Shunyi District, Beijing[J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(6): 825—838. (in Chinese with English abstract)

- [25] Long Hualou, Liu Yansui, Li Xiubin, et al. Building new countryside in China: A geographical perspective[J]. *Land Use Policy*, 2010, 27(2): 457—470.
- [26] Tian Guangjin, Qiao Zhi, Gao Xiaolu. Rural settlement land dynamic modes and policy implications in Beijing metropolitan region, China[J]. *Habitat International*, 2014, 44(44): 237—246.
- [27] 李全林, 马晓冬, 沈一. 苏北地区乡村聚落的空间格局[J]. *地理研究*, 2012, 31(1): 144—154.
Li Quanlin, Ma Xiaodong, Shen Yi. Analysis of spatial pattern of rural settlements in northern Jiangsu[J]. *Geographical Research*, 2012, 31(1): 144—154. (in Chinese with English abstract)
- [28] Zhou Guohua, He Yanhua, Tang Chengli, et al. Dynamic mechanism and present situation of rural settlement evolution in China[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2013, 23(3): 513—524.
- [29] 马利邦, 郭晓东, 张启媛. 甘谷县乡村聚落时空布局特征及格局优化[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(13): 217—225.
Ma Libang, Guo Xiaodong, Zhang Qiyuan. Spatio-temporal distribution and optimization of rural settlements in Gangu county of loess hilly area[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CASE)*, 2012, 28(13): 217—225. (in Chinese with English abstract)
- [30] 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 Yanhua, Zeng Shanshan, Tang Chengli, et al. Differentiation characteristics and forming mechanism of rural settlements in Central China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(12): 1643—1656. (in Chinese with English abstract)
- [31] 贺艳华, 唐承丽, 周国华, 等. 论乡村聚居空间结构优化模式: RROD 模式[J]. *地理研究*, 2014, 33(9): 1716—1727.
He Yanhua, Tang Chengli, Zhou Guohua, et al. The new model of the spatial structure of rural settlements: RROD[J]. *Geographical Research*, 2014, 33(9): 1716—1727. (in Chinese with English abstract)
- [32] 唐承丽, 贺艳华, 周国华, 等. 基于生活质量导向的乡村聚落空间优化研究[J]. *地理学报*, 2014, 69(10): 1459—1472.
Tang Chengli, He Yanhua, Zhou Guohua, et al. The research on optimization mode of spatial organization of rural settlements oriented by life quality[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(10): 1459—1472. (in Chinese with English abstract)
- [33] 刘耀林, 范建彬, 孔雪松, 等. 基于生产生活可达性的农村居民点整治分区及模式[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(15): 247—254.
Liu Yaolin, Fan Jianbin, Kong Xuesong, et al. Zoning and mode of rural residential land consolidation based on accessibility to production and living facilities[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2015, 31(15): 247—254. (in Chinese with English abstract)
- [34] 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 Yansui, Liu Yu. Progress and prospect on the study of rural hollowing in China[J]. *Geographical Research*, 2010, 29(1): 35—42. (in Chinese with English abstract)
- [35] Liu Yansui, Yang Ren, Li Yuheng. Potential of land consolidation of hollowed villages under different urbanization scenarios in China[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2013, 23(3): 503—512.
- [36] 陈玉福, 孙虎, 刘彦随. 中国典型农区空心村综合整治模式[J]. *地理学报*, 2010, 65(6): 727—735.
Chen Yufu, Sun Hu, Liu Yansui. Reconstruction models of hollowed villages in key agricultural regions of China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(6): 727—735. (in Chinese with English abstract)
- [37] 胡最, 刘沛林, 曹帅强. 湖南省传统聚落景观基因的空间特征[J]. *地理学报*, 2013, 68(2): 219—231.
Hu Zui, Liu Peilin, Cao Shuaiqiang. Spatial pattern of landscape genes in traditional settlements of Hunan province[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(2): 219—231. (in Chinese with English abstract)
- [38] 房艳刚, 刘继生. 集聚型农业村落文化景观的演化过程与机理: 以山东曲阜峪口村为例[J]. *地理研究*, 2009, 28(4): 968—977.
Fang Yangang, Liu Jisheng. Cultural landscape evolution of cluster agricultural village: The case of Yukou village in Shandong province[J]. *Geographical Research*, 2009, 28(4): 968—977. (in Chinese with English abstract)
- [39] 李伯华, 曾菊新. 基于农户空间行为变迁的乡村人居环境研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2009, 25(5): 84—88.
Li Bohua, Zeng Juxin. Research on rural human settlement environment based on the changes of the householders' spatial behaviors[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2009, 25(5): 84—88. (in Chinese with English abstract)
- [40] Liu Yansui, Lu Shasha, Chen Yufu. Spatio-temporal change of urban-rural equalized development patterns in China and its driving factors[J]. *Journal of Rural Studies*, 2013(32): 320—330.
- [41] 顾朝林, 李阿琳. 从解决“三农问题”入手推进城乡发展一体化[J]. *经济地理*, 2013, 33(1): 138—141, 148.
Gu Chaolin, Li Alin. A framework for the integration planning between urban and rural areas in China: From “city exploiting rural area” to solving “three issues in rural area”[J]. *Economic Geography*, 2013, 33(1): 138—141, 148. (in Chinese with English abstract)
- [42] 罗光杰, 李阳兵, 谭秋, 等. 岩溶山区聚落格局变化及其 LUCC 响应分析: 以贵州省为例[J]. *资源科学*, 2010, 32(11): 2130—2137.
Luo Guangjie, Li Yangbing, Tan Qiu, et al. Analysis of changes in settlement patterns and its lucc response in karst mountainous areas: A case on Guizhou province[J]. *Resources Science*, 2010, 32(11), 2130—2137. (in Chinese with English abstract)
- [43] 姜广辉, 张凤荣, 秦静, 等. 北京山区农村居民点分布变化及其与环境的关系[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(11): 85—92.
Jiang Guanghui, Zhang Fengrong, Qin Jing, et al. Relationship between distribution changes of rural residential land and environment in mountainous areas of Beijing[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CASE)*, 2006, 22(11): 85—92. (in Chinese with English abstract)
- [44] 周伟, 曹银贵, 王静, 等. 三峡库区近 30a 农村居民点格局变化与特征分析[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(4): 294—300.
Zhou Wei, Cao Yingui, Wang Jing, et al. Analysis on pattern changes and traits of rural residential areas during 30 years in three Gorges Reservoir Area[J]. *Transactions of the Chinese*

- Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CASE), 2011, 27(4): 294—300. (in Chinese with English abstract)
- [45] 吴文恒, 牛叔文, 郭小东, 等. 黄淮海平原中部地区村庄格局演变实证分析[J]. 地理研究, 2008, 27(5): 1017—1026. Wu Wenheng, Niu Shuwen, Guo Xiaodong, et al. The empirical analysis of the village pattern evolution in the central part of Huang-Huai-Hai Plain[J]. Geographical Research, 2008, 27(5): 1017—1026. (in Chinese with English abstract)
- [46] Danilo G, Marcello C, Helmut B, et al. Remote sensing techniques for reconstructing a vast Neolithic settlement in Southern Italy[J]. Journal of Archaeological Science, 2009, 36(1): 43—50.
- [47] 吴斌, 张宇清, 吴秀芹. 中国沙区人居环境安全研究的初步探讨[J]. 中国沙漠, 2009, 29(1): 50—55. Wu Bin, Zhang Yuqing, Wu Xiuqin. Primary probe into security of human settlements environment in sandy desertification areas[J]. Journal of Desert Research, 2009, 29(1): 50—55. (in Chinese with English abstract)
- [48] 王晓学, 林田苗, 吴秀芹. 土地利用时空变化对宁夏盐池县沙区人居环境的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2014, 31(1): 111—116. Wang Xiaoxue, Lin Tianmiao, Wu Xiuqin. The impact of land use/land cover changes on human settlements in sandylands[J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2014, 31(1): 111—116. (in Chinese with English abstract)
- [49] 王曼曼, 吴秀芹, 吴斌, 等. 近 25a 盐池北部风沙区土地系统变化及空间集聚格局分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(21): 256—267. Wang Manman, Wu Xiuqin, Wu Bin, et al. Analysis of land system change and its spatial agglomeration pattern in sandy area of northern Yanchi during past 25 years[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CASE), 2014, 30(21): 256—267. (in Chinese with English abstract)
- [50] 吴秀芹, 张艺潇, 吴斌, 等. 沙区聚落模式及人居环境质量评价研究: 以宁夏盐池县北部风沙区为例[J]. 地理研究, 2010, 29(9): 1683—1694. Wu Xiuqin, Zhang Yixiao, Wu Bin, et al. Study on the settlement pattern in sandy area and its quality evaluation: a case study of sandy area in the north of Yanchi county[J]. Geographical Research, 2010, 29(9): 1683—1694. (in Chinese with English abstract)
- [51] Urban D L, O'Neill R V, Shugart H H. Landscape ecology[J]. Bioscience, 1987, 37(2): 119—127.
- [52] 海贝贝, 李小建, 许家伟. 巩义市农村居民点空间格局演变及其影响因素[J]. 地理研究, 2013, 32(12): 2257—2269. Hai Beibei, Li Xiaojian, Xu Jiawei. Spatio-temporal evolution of rural settlements in Gongyi[J]. Geographical Research, 2013, 32(12): 2257—2269. (in Chinese with English abstract)
- [53] 姜广辉, 何新, 马雯秋, 等. 基于空间自相关的农村居民点空间格局演变及其分区[J]. 农业工程学报, 2015, 31(13): 265—273. Jiang Guanghui, He Xin, Ma Wenqiu, et al. Rural settlements spatial pattern evolution and zoning district based on spatial autocorrelation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CASE), 2015, 31(13): 265—273. (in Chinese with English abstract)
- [54] 马利邦, 郭晓冬, 张启媛. 陇中黄土丘陵区乡村聚落的空间格局: 以甘肃省通渭县为例[J]. 山地学报, 2012, 30(4): 408—416. Ma Libang, Guo Xiaodong, Zhang Qiyuan. Spatial pattern of rural settlements in loess hilly area: A case study of Tongwei County, Gansu Province[J]. Journal of Mountain Science, 2012, 30(4): 408—416. (in Chinese with English abstract)
- [55] 任平, 洪步庭, 刘寅, 等. 基于 RS 与 GIS 的农村居民点空间变化特征与景观格局影响研究[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3331—3340. Ren Ping, Hong Buting, Liu Yin, et al. A study of spatial evolution characteristics of rural settlements and influences of landscape patterns on their distribution using GIS and RS[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(12): 3331—3340. (in Chinese with English abstract)
- [56] Getis A, Ord J K. The analysis of spatial association by the use of distance statistics[J]. Geographic Analysis, 1992, 24(3): 189—206.
- [57] 马晓冬, 朱传耿, 马荣华, 等. 苏州地区城镇扩展的空间格局及其演化分析[J]. 地理学报, 2008, 63(4): 405—416. Ma Xiaodong, Zhu Chuangeng, Ma Ronghua, et al. Urban spatial pattern and its evolution in Suzhou, Jiangsu province, China[J]. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(4): 405—416. (in Chinese with English abstract)
- [58] Wang J F, Li X H, Christakos G, et al. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region, China[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2010, 24(1): 107—127.
- [59] 朱鹤, 刘家明, 陶慧, 等. 北京城市休闲商务区的时空分布特征与成因[J]. 地理学报, 2015, 70(8): 1215—1228. Zhu He, Liu Jiaming, Tao Hui, et al. Temporal-spatial pattern and contributing factors of urban RBDs in Beijing[J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(8): 1215—1228. (in Chinese with English abstract)
- [60] Yang Ren, Liu Yansui, Long Hualou, et al. Spatio-temporal characteristics of rural settlements and land use in the Bohai Rim of China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2015, 25(5): 559—572.
- [61] 杨忍, 刘彦随, 龙花楼. 中国环渤海地区人口—土地—产业非农化转型协同演化特征[J]. 地理研究, 2015, 34(3): 475—486. Yang Ren, Liu Yansui, Long Hualou. The study on non-agricultural transformation co-evolution characteristics of “population-land-industry”: A case study of the Bohai Rim in China[J]. Geographical Research, 2015, 34(3): 475—486. (in Chinese with English abstract)
- [62] 湛东升, 张文忠, 余建辉, 等. 基于地理探测器的北京市居民宜居满意度影响机理[J]. 地理科学进展, 2015, 34(8): 966—975. Zhan Dongsheng, Zhang Wenzhong, Yu Jianhui, et al. Analysis of influencing mechanism of residents' livability satisfaction in Beijing using geographical detector[J]. Progress in Geography, 2015, 34(8): 966—975. (in Chinese with English abstract)
- [63] 张瑞娟, 姜广辉, 王明珠, 等. 基于多维特征组合的农村居民点布局分类[J]. 农业工程学报, 2015, 31(4): 286—292. Zhang Ruijuan, Jiang Guanghui, Wang Mingzhu, et al. Layout classification of rural settlement based on combination of multi-dimensional characteristics[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CASE), 2015, 31(4): 286—292. (in Chinese with English abstract)

Evolution analysis of spatial pattern of rural settlements in sandy area of northern Yanchi

Wang Manman^{1,2}, Wu Xiuqin^{1,2*}, Wu Bin^{1,2}, Zhang Yuqing^{1,2}, Dong Guihua³

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Yanchi Ecology Research Station of the Mu Us Desert, School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. China National Environmental Monitoring Centre, Beijing 100012, China)

Abstract: The ecological environment of the sandy land of northern Yanchi is fragile, with disasters such as land desertification, drought and dust storms leading to a severe living environment. Therefore, the rural settlement in the region is quite different from other areas in China. To recognize the features of the evolution of the rural settlement and the affecting factors, we extracted the land use vector data from the interpretation of SPOT 5 remote sensing image in 2005 and ZY-1 O2C satellite image in 2012, with the interpretation accuracy of 90.1% and 90.7%, respectively. We used the data derived from field investigation, and adopted the methods of spatial metrics, spatial statistical measure model, geographic information system (GIS) hot cartography and geography detectors to quantitatively identify the spatial feature of rural settlements, and reveal the responses of spatial pattern differentiation of rural settlements to the natural topography, positional condition and social-economic development level. The results are as follows: 1) The scale of rural settlements in northern Yanchi was curtailed but the intensive degree was increased. The shape of rural settlements appeared to be simpler and more regular, and the distribution center of the rural settlement migrated towards the southeast direction. 2) The spatial distribution of aggregation was further strengthened, and the distribution density showed “dense inner and sparse outside” spatial characteristics. The “hot spot” area of settlement scale was largely unchanged, but the “cold spot” area demonstrated apparent rotation characteristics. 3) During the eight-year period, the rural settlements gradually approached the grassland, woodland, and were far away from the sand source area, suggesting that the tension between people and land has eased off, and the ecological living environment in the area is gradually optimized by human in a positive manner. 4) The spatial distribution of rural settlements in the study area was mainly influenced by natural topography and location conditions. Regional statistical analysis was conducted with the 1 km × 1 km grid based on the geography detector model, and the determination index value of each influence factor for the spatial distribution of rural settlements was calculated respectively. The most significant factor for the spatial distribution of rural settlements was location conditions, which mainly showed the distance from the agriculture irrigation area, the distance from the sand source and the proximity degree of the town, and the rural settlement layout also showed a certain dependence on the natural environment conditions, whereas, the social economic level showed no significant influence on rural settlement layout. These results can provide policy guidance and scientific basis for the spatial layout optimization and regulation of rural settlement, the new rural construction planning and the sandy habitat environment amelioration in sandy land.

Keywords: land use; rural areas; models; rural settlement; spatial evolution; spatial association measure; geography detector; sandy area of northern Yanchi