

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2026.01.020; CSTR:32311.14.rswc.2026.01.020.

杨霞, 潘伟群, 阿如早, 等. 基于三生功能及协调性的农牧交错区农村居民点优化模式[J]. 水土保持研究, 2026, 33(1):362-371, 391.

Yang Xia, Pan Weiqun, A Ruhan, et al. Optimization modes of rural settlements in agro-pastoral ecotone based on production-living-ecological functions and their coordination[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2026, 33(1):362-371, 391.

# 基于三生功能及协调性的农牧交错区 农村居民点优化模式

杨霞<sup>1</sup>, 潘伟群<sup>1</sup>, 阿如早<sup>1</sup>, 单浩东<sup>1</sup>, 马雅婷<sup>1</sup>, 刘俊成<sup>2</sup>

(1. 内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 呼和浩特 010019;

2. 呼和浩特市卓地不动产评估咨询有限公司, 呼和浩特 010019)

**摘要:** [目的] 探究农村居民点生产-生活-生态功能的协调性并识别其整治类型, 为差异化推进呼和浩特市农村居民点综合整治与乡村空间格局优化提供科学依据。[方法] 以“三生”功能理论为基础, 从生产、生活、生态视角构建农村居民点评价指标体系, 综合运用核密度、空间自相关及耦合协调度模型, 揭示农村居民点三生功能及协调性的空间分布特征, 并引入自组织特征映射(SOFM)神经网络模型对整治类型进行划分。[结果] (1) 农村居民点空间异质性强, 具有多个核心区, 空间分布明显向“低海拔区域及建制镇中心”聚集; (2) 生产功能、生活功能和生态功能呈显著正相关, 其空间分布分别表现为“杠铃状”“半环状”及“零散团带状”; (3) 农村居民点三生功能整体协调性较好, 但两两功能间协调状况较为复杂, 协调度均值表现为生产—生态>生产—生活>生活—生态; (4) 农村居民点可划分为城郊融合型、集聚提升型、保留发展型、规模管控型及重点整治型 5 种类型, 并据此提出相应的优化模式。[结论] 呼和浩特市主城区农村居民点三生功能耦合协调性明显高于旗县, 建议根据整治类型推进农村居民点和乡村空间重构优化。

**关键词:** 农村居民点; 三生功能; SOFM 网络; 优化模式; 农牧交错区; 呼和浩特市

中图分类号: F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2026)01-0362-10

## Optimization modes of rural settlements in agro-pastoral ecotone based on production-living-ecological functions and their coordination

Yang Xia<sup>1</sup>, Pan Weiqun<sup>1</sup>, A Ruhan<sup>1</sup>, Shan Haodong<sup>1</sup>, Ma Yating<sup>1</sup>, Liu Juncheng<sup>2</sup>

(1. College of Desert Management, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China; 2. Hohhot Zhuodi Real Estate Appraisal & Consulting Co., Ltd., Hohhot 010019, China)

**Abstract:** [Objective] This study aims to explore the coordination of production-living-ecological functions of rural settlements and identify their remediation types, providing a scientific basis for the differentiated advancement of comprehensive rural settlement remediation and optimization of rural spatial patterns in Hohhot. [Methods] Based on the theory of production-living-ecological functions, an evaluation indicator system for rural settlements was constructed from the perspectives of production, living, and ecology. The kernel density estimation, spatial autocorrelation, and coupling coordination degree model were used to reveal the spatial distribution characteristics of these three functions and their coordination of rural settlements. Additionally, the self-organizing feature map (SOFM) neural network model was introduced to classify the remediation types. [Results] (1) Rural settlements exhibited strong spatial heterogeneity with multiple core areas, and their spatial distribution was significantly concentrated in low-altitude areas and the centers of towns. (2) The production, living, and ecological functions were significantly positively correlated, with their spatial distributions showing a “barbell-shaped”, “semi-ring-

收稿日期: 2025-03-14

修回日期: 2025-04-13

接受日期: 2025-04-20

资助项目: 内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJSY21459); 内蒙古农业大学高层次/优秀博士引进人才科研启动项目(NDYB2019-23)

第一作者: 杨霞(1980—), 女, 内蒙古巴彦淖尔人, 博士, 高级工程师, 主要从事自然资源调查评价与国土空间规划研究。E-mail: yangxia@imau.edu.cn.

<http://stbcyj.paperonice.org>

shaped”, and “scattered band-shaped” pattern, respectively. (3) The overall coordination of the three functions of rural settlements was relatively good, but pairwise coordination between individual functions was more complex. The average coordination degree ranked as: production-ecology > production-living > living-ecology. (4) Rural settlements could be classified into five types: suburban integration type, agglomeration and upgrading type, retention and development type, scale control type, and key remediation type, with corresponding optimization modes proposed. [Conclusion] The coupling coordination of the three functions of rural settlements in the main urban area of Hohhot is significantly higher than that in its banners and counties. It is recommended to promote the reconstruction and optimization of rural settlements and rural space according to the identified remediation types.

**Keywords:** rural settlements; production-living-ecological functions; SOFM network; optimization mode; agro-pastoral ecotone; Hohhot

农村居民点作为农村人口活动的主要场所,其空间形态受生产、生活和生态等多种因素影响,并呈现出一定的布局规律<sup>[1]</sup>。然而,当前乡村发展面临生产要素流失、聚落空间衰败、土地资源利用效率低下及生态环境恶化等突出问题,导致乡村地域系统结构性失衡,严重制约了可持续发展<sup>[2]</sup>。基于此,《中共中央国务院关于实施乡村振兴战略的意见》明确提出“生产集约高效、生活宜居适度、生态环境优美”的发展理念,强调在准确识别乡村地域功能的基础上,统筹推进生产、生活和生态功能协调发展<sup>[3]</sup>。在乡村振兴战略深入推进的当下,开展农村居民点类型划分及优化路径研究,不仅能提升土地资源利用率,推进乡村治理体系现代化,更能为构建和谐的人地关系提供科学参证,从而助力乡村全面振兴目标的实现。

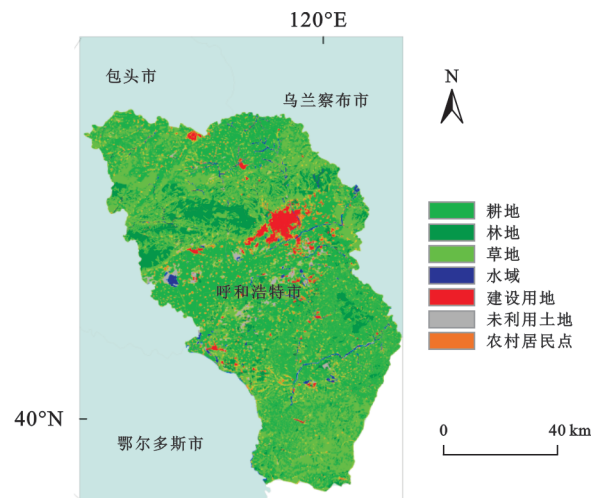
国内外学者对农村居民点开展了广泛的理论和实践研究,为本文提供了重要参考。从研究内容看,现有成果涵盖了用地结构<sup>[4]</sup>、时空演化及“社会—经济—生态”耦合效应<sup>[5]</sup>、优化内涵与潜力评价<sup>[6]</sup>、地域分异与居民点整理<sup>[7]</sup>、空心化与整治等<sup>[8]</sup>方面,为乡村聚落空间重构提供了科学依据。研究尺度上,学者们关注了乡镇、区县和市域等不同层级<sup>[9-10]</sup>,研究领域涉及山地、丘陵、高原、流域等多样地貌<sup>[11-12]</sup>。研究方法上,多因素综合评价<sup>[13]</sup>、空间计量分析<sup>[14]</sup>及数理统计等方法的运用,不断优化了农村居民点布局方案。近年来,随着国土空间规划改革的深化,众多学者从三生空间耦合视角<sup>[15]</sup>对农村居民点布局优化开展研究。现有研究多聚焦于在山地丘陵地区,对农牧交错区的关注较少,且多从单一功能或生产生活组合视角进行探究<sup>[16]</sup>,从生产、生活、生态综合视角并考虑其协调性的研究仍较为欠缺。

基于此,本文以典型农牧交错区呼和浩特市为研究区域,遵循“评价—分类—优化”的逻辑思路,从三生功能协同发展视角出发,构建农村居民点功能评价指标体系,运用耦合协调度模型定量测度三

生功能及其协调性,借助空间自相关明确生产、生活及生态功能的空间关联特征,并采用 SOFM 神经网络模型进行整治类型划分,进而提出差异化优化模式。研究旨在为农牧交错区三生功能协调发展提供理论支撑,同时为乡村居民点优化建设实践提供科学指导。

## 1 研究区概况

呼和浩特市地处内蒙古自治区中部,是典型的农牧交错区,也是连接东北、华北、西北的重要枢纽城市及“一带一路”建设的关键节点(图 1)。市域总面积 17 188.2 km<sup>2</sup>,下辖 80 个乡镇街道及 965 个村民委员会。截至 2020 年底,农村居民点面积为 86 302.44 hm<sup>2</sup>。2023 年全市户籍人口为 259.99 万人,其中城镇人口 162.77 万人,乡村人口 97.22 万人。从实地调研看,农村宅基地闲置率高、空心化问题突出,居民点布局散乱,土地集约利用水平较低,亟需通过科学规划与整治优化乡村空间布局。



注:基于标准地图服务系统下载的标准图号 GS(2024)0650 号的标准地图制作,底图未做修改,下同。

图 1 研究区概况

Fig. 1 Overview of the study area

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源与处理

本文所涉及数据包括空间数据和社会经济数据:(1)呼和浩特市2020年土地利用数据(<https://www.resdc.cn/>),利用ArcGIS对农村居民点的空间分布数据以及生产、生活和生态功能的指标数据进行提取,共得到3 603个农村居民点图斑。(2)行政区划界线、30 m分辨率DEM数据、年平均降水量、植被覆盖度等数据来源于地理空间数据云平台(<https://www.gscloud.cn/>)。(3)农村居民点到耕地、牧草地的距离参考已有成果在ArcGIS平台中可获得。(4)社会经济统计数据来源于《呼和浩特市统计年鉴2020—2021》。

### 2.2 研究方法

2.2.1 农村居民点三生功能评价指标体系构建及权重设定 农村居民点是农业人口空间分布的核心载体,其用地类型涵盖住宅、商业服务、工矿设施和基础设施等,作为集生产、生活和生态功能于一体的复

合型空间载体<sup>[17]</sup>,其布局优化对全面推进乡村振兴具有重要战略意义。基于此,本文从生产、生活和生态功能综合视角选取18项指标(表1),构建农村居民点三生功能评价指标体系,并运用熵权法确定指标权重,以此为基础推进呼和浩特市农村居民点三生空间的分类优化布局。

生产功能指在一定自然、经济和社会条件下,促进农业及其他经济活动的能力和效用,选取农村居民点距耕地距离、距牧草地距离、农业人口数、平均降水量、工矿用地规模、耕地面积和牧草地面积7项指标表征生产功能;生活功能指为居民提供日常生活所需服务和设施的能力,选取农村居民点规模、人均住房面积、公共服务设施数、城镇中心可达性、人均可支配收入和从业人口密度等6项指标;生态功能指维持和促进生态环境健康、保障生物多样性、资源可持续利用等方面的作用,选取植被覆盖度、林地面积、水网密度、土壤侵蚀程度、高程5项指标表征生态功能。

表1 评价指标体系

Table 1 Evaluation indicator system

功能	一级指标	二级指标	指标说明	指标性质	权重
生产功能	生产条件	距耕地距离	居民点到耕地距离	负	0.006
		距牧草地距离	居民点到牧草地距离	负	0.018
		农业人口数	农业人口数量	正	0.174
	生产规模	平均降水量	居民点所在区域年平均降水量	正	0.006
		工矿用地规模	自然村域内工矿用地面积	正	0.151
		耕地面积	居民点1 000 m缓冲区内耕地面积	正	0.248
		牧草地面积	自然村域内牧草地面积	正	0.397
生活功能	居住状况	居民点规模	居民点面积	正	0.027
		人均住房面积	房屋建筑总面积/户籍人口总数	正	0.275
	生活便利度	公共服务设施数	居民点内卫生室、学校、广场等数据	正	0.177
		城镇中心可达性	居民点与城镇的最近距离	负	0.02
	生活保障	人均可支配收入	居民点人均可支配收入	正	0.222
		从业人口密度	从业人口总数/土地面积	正	0.278
生态功能	生态韧性	植被覆盖度	自然村域内植被覆盖度	正	0.02
		林地面积	居民点1 000 m缓冲区内林地面积	正	0.392
		水网密度	河流总长度与区域总面积的比值	正	0.337
		土壤侵蚀程度	居民点所在位置土壤侵蚀程度	负	0.096
		高程	居民点所在位置高程等级	负	0.154

2.2.2 核密度分析 核密度分析<sup>[18]</sup>主要用于评估农村居民点空间布局的密度分布,是一种基于统计学的非参数密度估计方法。计算公式如下:

$$f(a, b) = \sum_{i=1}^r L(c_i/n)nk^2 \quad (1)$$

式中: $f(a, b)$ 指核密度值; $r$ 是居民点数量; $k$ 是核密

度估计带宽,用于控制密度估计的平滑程度; $L$ 是核函数,用于定义每个居民点对密度的贡献; $C_i$ 是( $a, b$ )到第 $i$ 个农村居民点的距离。

### 2.2.3 空间自相关分析

(1)全局空间自相关。全局空间自相关<sup>[19]</sup>主要用于评估特定属性在区域范围内的分布特征,通过计算

相应指标来分析总体空间关联和差异程度,用于研究农村居民点三生功能值空间分布情况。最常用的方法是 Moran's  $I$ ,其数值区间为 $[-1,1]$ 。计算公式为:

$$I = \frac{n \sum_{m=1}^n \sum_{k=1}^n T_{mk} (x_m - \bar{x})(x_k - \bar{x})}{(\sum_{m=1}^n \sum_{k=1}^n T_{mk}) \sum_{m=1}^n (x_m - \bar{x})^2} \quad (2)$$

式中: $T_{mk}$ 代表农村居民点生产、生活、生态功能及综合功能权重矩阵; $x_m, x_k$ 分别是 $m, k$ 内农村居民点三生功能值; $\bar{x}$ 表示三生功能平均值。

(2) 局部空间自相关。为更深入分析农村居民点三生功能<sup>[20]</sup>空间分布特征,利用热点分析工具计算其 Getis-Ord 指数。公式如下:

$$G_i = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij}(d) x_i x_j}{\sum_{j=1}^n x_j} \quad (3)$$

式中: $n$ 为农村居民点总数; $x_i, x_j$ 分别指第 $i$ 个和第 $j$ 个农村居民点面积; $W_{ij}$ 指二者的空间权重。在完成 $G_i$ 统计量的标准化处理后,若标准化得分 $Z(G_i) > 0$ ,则表明该区域农村居民点呈现高值空间聚集格局;若 $Z(G_i) < 0$ ,则说明该区域存在低值空间集聚特征。

2.2.4 三生功能耦合协调模型 耦合度模型<sup>[21]</sup>是一种用于科学评估多个因素协同作用效果的方法,具体划分详见表 2。其模型公式为:

$$C = 3 \times \left( \frac{P_i \times R_i \times E_i}{P_i + R_i + E_i} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

式中: $C$ 表示农村居民点三生功能的耦合度,取值范围 $[0,1]$ ;  $P_i, R_i, E_i$ ,分别为第 $i$ 个农村居民点的生产功能、生活功能、生态功能综合值; $i$ 为农村居民点编号。三生功能两两耦合度模型可分别表示为:

$$C_1 = 2 \times \left[ \frac{P_i \times R_i}{(P_i + R_i)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$C_2 = 2 \times \left[ \frac{R_i \times E_i}{(R_i + E_i)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$$C_3 = 2 \times \left[ \frac{P_i \times E_i}{(P_i + E_i)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

式中: $C_1, C_2, C_3$ 分别为生产—生活、生活—生态和生产—生态功能的耦合度, $P_i, R_i, E_i$ 含义与式(4)相同。为测算农村居民点三生功能协调发展水平,本文引入耦合协调度<sup>[22]</sup>,根据已有研究,权重系数设定为: $\alpha=0.35, \beta=0.35, \gamma=0.3$ ;计算公式如下:

$$D = \sqrt{C \times T}, T = \alpha P_i + \beta R_i + \gamma E_i \quad (8)$$

式中: $D$ 表示农村居民点三生功能的耦合协调度,取值范围 $[0,1]$ ;  $C$ 为耦合度,其他参数含义与式(4)相同。三生功能两两耦合协调度模型及权重设定如下:

$$T_1 = \alpha P_i + \beta R_i \quad \text{权重: } \alpha=0.5, \beta=0.5 \quad (9)$$

$$T_2 = \beta R_i + \gamma E_i \quad \text{权重: } \beta=0.55, \gamma=0.45 \quad (10)$$

$$T_3 = \alpha P_i + \gamma E_i \quad \text{权重: } \alpha=0.55, \gamma=0.4 \quad (11)$$

式中: $T_1, T_2, T_3$ 分别为生产—生活、生活—生态和生产—生态功能的耦合协调度,其他参数含义与式(8)相同。

表 2 农村居民点耦合协调度类型划分

Table 2 Classification of coupling coordination degree types of rural settlements

耦合度(C)	类型	协调度(D)	类型
[0~0.6]	低耦合时期	[0,0.3]	严重失调
(0.6,0.7]	拮抗耦合时期	(0.3,0.4]	中度失调
(0.7,0.8]	磨合时期	(0.4,0.5]	轻度失调
(0.8,0.9]	高度耦合时期	(0.5,0.6]	基本协调
(0.9,1]	协调耦合时期	(0.6,0.7]	中级协调
		(0.7,0.8]	良好协调
		(0.8,1]	高度协调

2.2.5 自组织映射网络模型 自组织特征映射网络(Self-Organizing Feature Map, SOFM)<sup>[23]</sup>是一种具有自适应、自组织和自学习特性的无监督竞争神经网络,由输入层和输出层构成,能够通过学习规则对输入数据进行自动分类并在输出层展示分类结果。其训练过程包括以下步骤:首先,利用 Matlab R2024b 的人工神经网络工具箱搭建 SOFM 网络结构;其次,配置模型参数,将最大迭代次数设为 1 500,类别数范围设为 3~8,其余参数采用系统默认值;最后构建 3×565 的训练数据矩阵,以三生功能及其耦合度、协调度等 11 项评价指标作为输入数据进行模型训练,最终输出区域划分结果。

## 3 结果与分析

### 3.1 农村居民点空间分布特征

基于 ArcGIS 10.8 的 Kernel Density 工具,对农村居民点斑块数量与面积进行核密度分析(图 2)。整体上看,农村居民点呈现数量多、分布散的总体特征,受自然地形地貌及社会经济因素影响,居民点呈向“低海拔区域及建制镇中心”集聚的空间分布规律,其平均斑块数量密度和面积密度分别为 0.21 个/km<sup>2</sup>和 5.02 hm<sup>2</sup>/km<sup>2</sup>。数量密度上看,高密度区集中于武川县可镇,中心城区及新营子镇,和林格尔县新店子镇以及城关镇与大红城乡交界处;低密度区则分布于武川县西部,远离中心城区的乡镇(榆林镇、黄合少镇)及清水河县南部,这些区域居民点分布离散、聚集特征不明显,亟待重点整治。面积密度

上,高值区集中在中心城区邻近的敕勒川街道、如意开发区及清水河县,这一空间分布格局表明,呼和浩特市未来需对城郊居民点进行重点科学规划,以提升乡村整体风貌和人居环境质量。

### 3.2 农村居民点三生功能空间分布特征

基于GeoDa平台对农村居民点生产、生活及生态功能进行全局莫兰指数分析,并绘制相应的Moran's *I*散点图。结果显示农村居民点三生功能散点主要集中在第一、三象限,同时存在少量异常分布,生产功能、生活功能和生态功能莫兰指数分别为0.690,0.828,0.629( $p=0.001$ ),均通过显著性检验。这表明农村居民点三生功能在空间分布上具有显著正向关联性,空间自相关强度表现为生活功能>生产功能>生态功能,即生活功能空间集聚效应最强,生产功能次之,生态功能相对较弱(图3)。

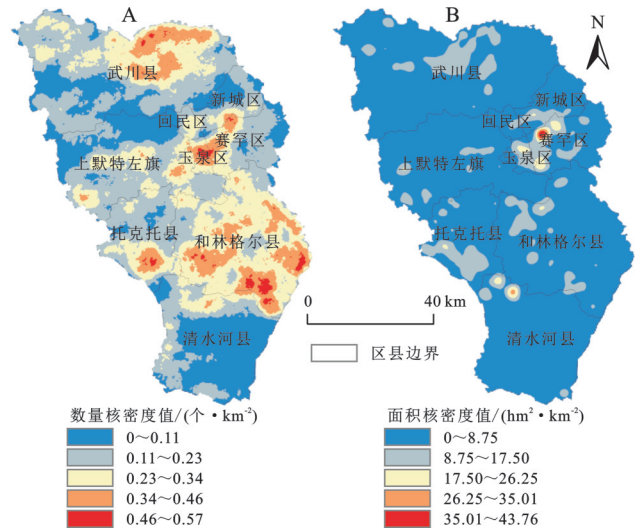


图2 农村居民点密度分布特征  
Fig. 2 Density distribution characteristics of rural settlements

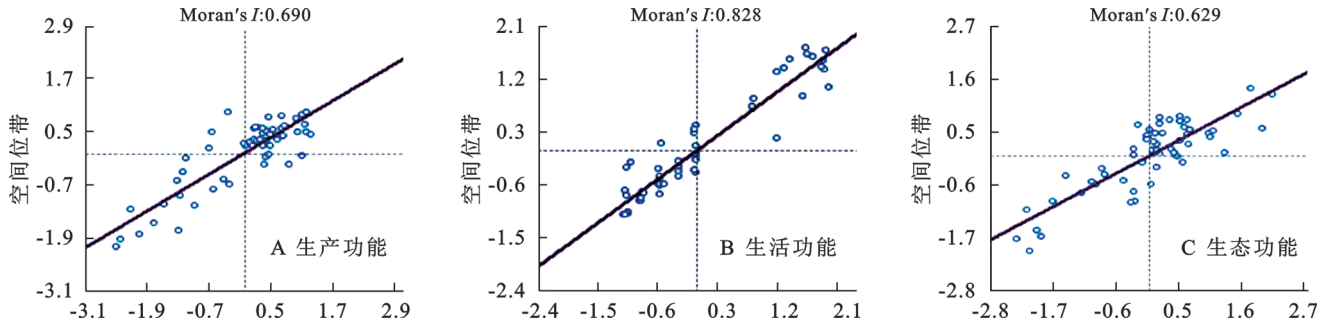


图3 农村居民点三生功能Moran's I散点图

Fig. 3 Moran's *I* scatter plots of production-living-ecological functions of rural settlements

以各乡镇农村居民点三生功能均值为变量,通过计算*G*<sub>i</sub>值,进一步探究各功能的空间集聚特征(图4)。其中,生产功能热点区沿西北—东南轴向分布,次热点区位于中心城区东北部外围,冷点区则集中于中心城区;生活功能呈“半环状”递减格局,热点区集中于中心城区及邻近地区,冷点与次冷点区分布在北部和东南部偏远区域;生态功能呈“团带状”分布,高值与次高值区覆盖52个乡镇(约占研究区的60%),冷点区集中于西北部高寒缺水地区。揭示农村居民点三生功能空间分异规律,不仅为识别区域发展优势与短板提供科学依据,也对优化农村居民点空间布局及乡村三生功能协调发展具有重要实践指导意义。

### 3.3 农村居民点三生功能单维度耦合协调特征分析

农村居民点三生功能耦合度值域范围为0.39~0.99,以高度耦合和协调耦合为主(图5)。其中,高度耦合型沿中心城区呈“C”形分布,主要涵盖新城区、土默特左旗、托克托县及和林格尔县;低值区则集中于武川县、清水河县。耦合协调度介于0.24~0.65(均值0.45),其空间分布与耦合度具有高度一致性,呈现以城区为中心、南北对称递减的特征。高值区集

中在城区附近的巴彦街、榆林镇等乡镇街道,得益于城市溢出效应带来的要素集聚优势及政策引导下的绿色发展措施,实现生产、生活与生态功能的良性协调;低值区主要分布在武川县二份子乡、西乌兰不浪镇,受限于自然条件恶劣、发展水平滞后及规划管理缺失,导致三生功能总体协调性较弱。值得注意的是,中心城区虽注重三生功能平衡,但因生产生活空间扩张挤占生态用地,其协调性反而不及周边旗县。

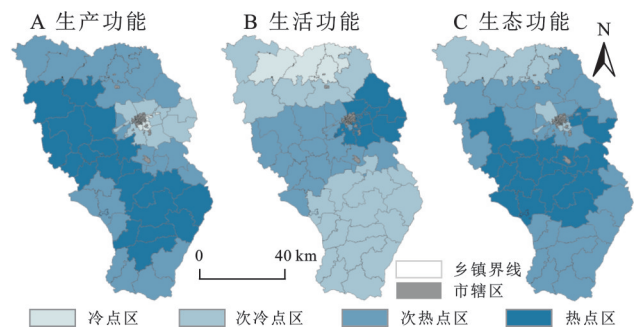


图4 农村居民点三生功能热点分析  
Fig. 4 Hotspot analysis of production-living-ecological functions of rural settlements

### 3.4 农村居民点三生功能两两耦合协调特征分析

深入探究农村居民点生产、生活、生态三大功能

间的两两耦合协调关系,不仅有助于揭示各功能子系统间的相互作用机制,更为阐明生产-生活、生活-生态、生产-生态的协同发展特征提供理论依据和实践价值。生产-生活耦合度介于 0.35~1,均值 0.8(表 3)。高度耦合与协调耦合主要分布于中心城区外围、土默特左旗、托克托县及和林格尔县;基本协调与中级协调集中于榆林镇、保合少镇、小黑河镇及敕勒川镇等城区邻近乡镇;中度失调区主要分布在清水河县;严

重失调区则集中于呼和浩特市北部,表现为低耦合及拮抗耦合特征(图 6)。

整体而言,生产-生活功能处于基本协调水平,但远离中心城区的乡镇存在严重失调现象,表现为产业转型升级与生活优化的竞争关系。针对低水平协调区域,建议通过政策引导与基础设施建设,制定综合性乡村振兴发展规划,以实现生产-生活功能的高效协调。

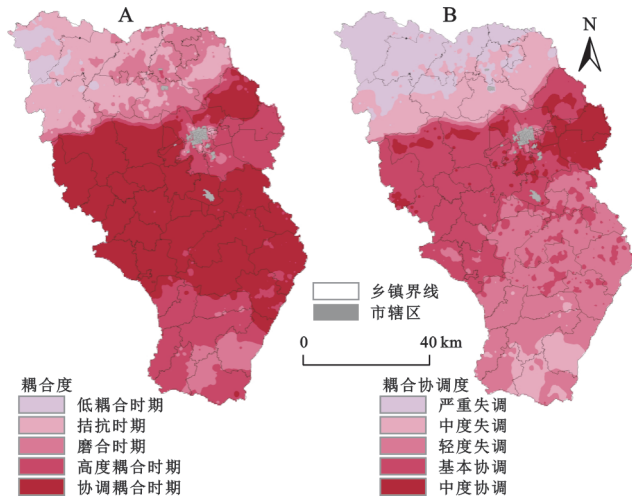


图 5 三生功能耦合协调的空间异质性格局

Fig. 5 Spatial heterogeneity patterns of coupling coordination among production-living-ecological functions

生活-生态耦合度值域为 0.42~1,高度耦合与协调耦合占主导地位,空间上呈连续分布;而低耦合、拮抗耦合及磨合区则零散分布于呼和浩特市北部。协调度呈现以城区为中心向外围递减的特征,其均值生产-生态(0.50)>生产-生活(0.46)>生活-生态(0.40),这表明生活-生态功能协调性相对较弱,主要归因于:研究区地处农牧交错带,受严苛自然条件(如干旱、水资源短缺)制约;偏远乡镇经济发展滞后,缺乏有效的政策支持与管理;农村居民生态意识薄弱,垃圾处理与污水处理系统不完善。鉴于生态功能的动态变化会直接影响生产与生活功能的发展,建议在

乡村振兴过程中统筹经济、社会与环境因素,通过多维度的综合施策提升生活-生态功能的耦合协调水平。

生产-生态功能耦合度值域为 0.51~1,耦合协调水平较高,以高度耦合和协调耦合为主;低耦合与拮抗耦合零散分布于研究区北部和东南部。协调度以基本协调为主,轻度失调次之,这一良好协调态势可归因于在土地资源有限性与人类需求无限性的矛盾背景下,随着高质量经济发展与循环经济理念的深入,政府部门通过科学规划、环境保护措施及土地利用结构优化等举措,有效缓解自然资源消耗压力,实现生产-生态功能的良性互动。

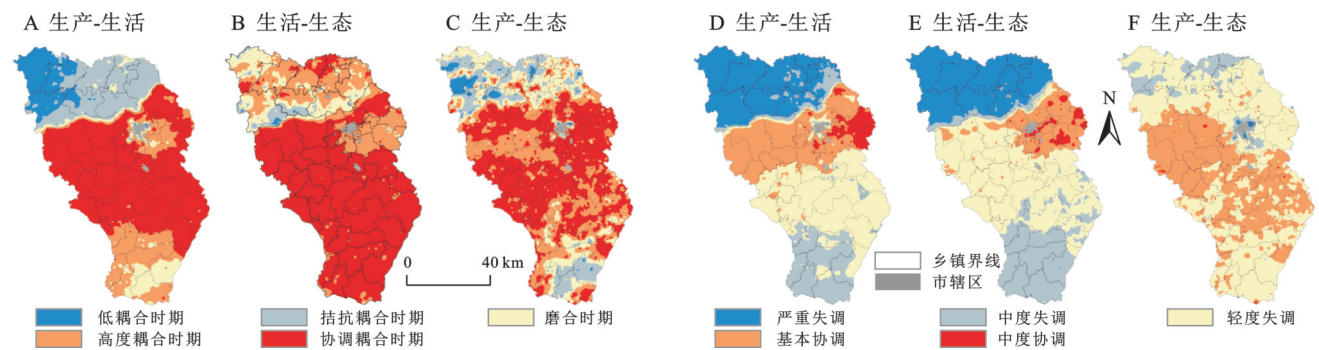


图 6 三生功能两两耦合协调空间分异格局

Fig. 6 Spatial differentiation patterns of pairwise coupling coordination among production-living-ecological functions

表 3 农村居民点优化分区均值  
Table 3 Mean values of optimized zoning for rural settlements

名称	分区 1	分区 2	分区 3	分区 4	分区 5
生产功能	0.22	0.41	0.32	0.40	0.35
生活功能	0.67	0.28	0.17	0.12	0.03
生态功能	0.21	0.22	0.25	0.16	0.12
三生功能耦合度	0.83	0.96	0.95	0.85	0.62
三生功能协调度	0.56	0.54	0.48	0.44	0.32
生产-生活功能耦合度	0.84	0.98	0.94	0.83	0.53
生活-生态功能耦合度	0.84	0.99	0.97	0.97	0.79
生产-生态功能耦合度	0.96	0.94	0.97	0.89	0.84
生产-生活功能协调度	0.61	0.58	0.48	0.47	0.31
生活-生态功能协调度	0.62	0.50	0.44	0.37	0.23
生产-生态功能协调度	0.45	0.51	0.53	0.55	0.45

### 3.5 农村居民点功能优化分区及模式

本研究基于呼和浩特市农村居民点三生功能评价价值和SOFM分区结果,参考邹亚峰、曲衍波等<sup>[2,5]</sup>学者的划分方法,并结合《国家乡村振兴战略规划(2018—2022年)》的政策指导,将农村居民点划分为五大整治类型:城郊融合类、集聚提升类、保留发展类、规模管控类以及重点整治类。

**3.5.1 城郊融合型发展模式** 城郊融合型农村居民点有 398 个,总面积 14 385.24 hm<sup>2</sup>,集中分布于中心城区外围乡镇街道(图 7)。该类型居民点三生功能总体协调性良好,生活功能优势明显,生产-生活与生活-生态协调度较高,但需重点关注生产-生态关系的

优化。得益于地理区位优势、交通设施完善及主城区辐射效应,该区域具备城镇化发展的良好基础,建议采用城郊融合型发展模式优化策略:一发挥区位优势,推动商贸流通、食品服务及快递配送等新兴服务业提质增效,促进乡村与城市功能体系深度融合;二优化空间布局,统筹规划道路网络、教育资源、公共卫生服务体系及城市基础设施网络;三适度提升住宅集聚度,推进废弃宅基地的功能性改造与再利用,提高土地利用效率<sup>[24]</sup>。通过实施城郊融合型发展模式,不仅能改善农村人居环境,还可促进居民融入城镇生活,推动区域可持续发展。

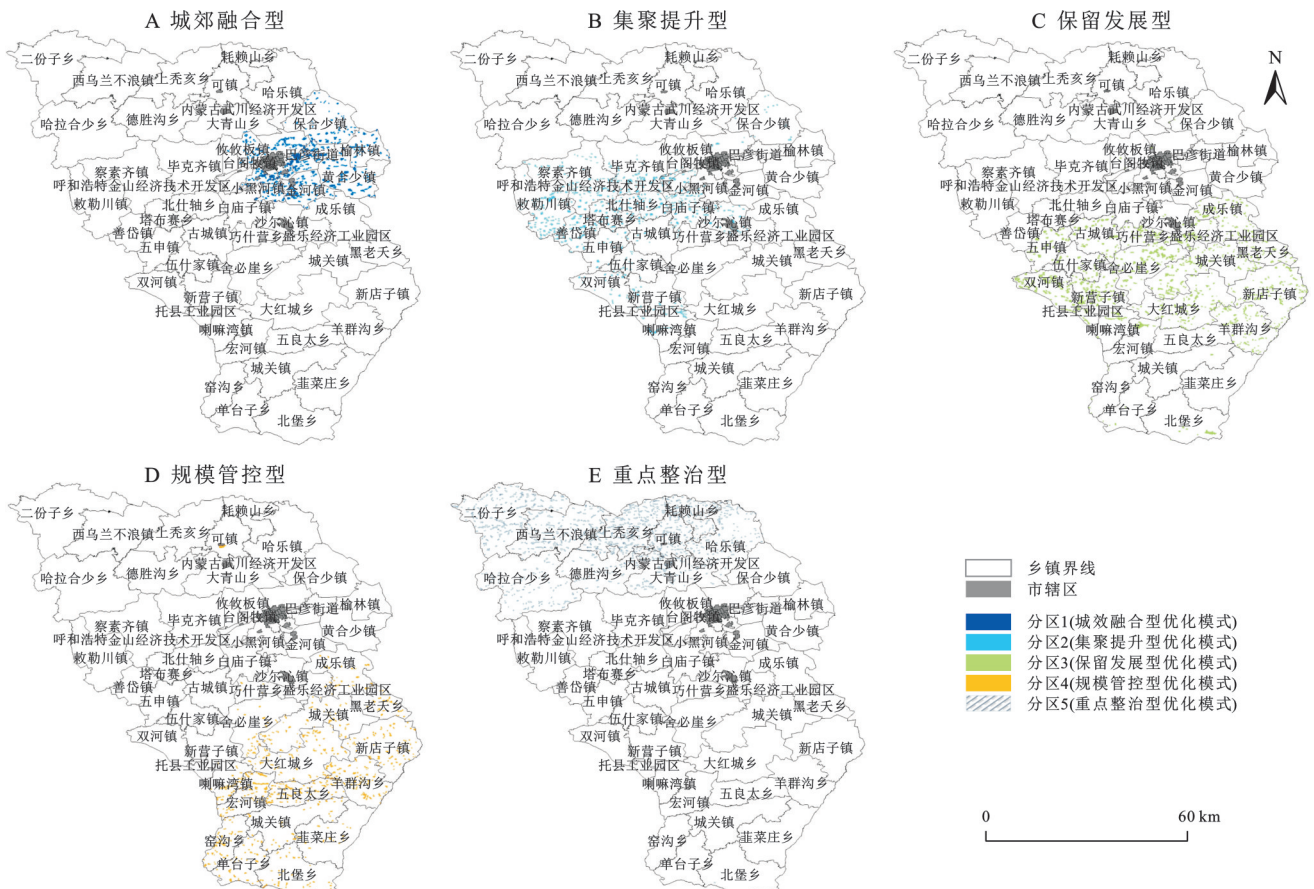


图 7 农村居民点优化模式

Fig. 7 Optimization modes of rural settlements

**3.5.2 集聚提升型发展模式** 集聚提升型农村居民点有 560 个,总面积 15 233.85 hm<sup>2</sup>,主要分布于城郊融合型的边缘地带。该类型区域具有以下特征:地理区位优势显著,易受城镇发展辐射;自然禀赋优越,灌溉水源可及性高,地质环境稳定,农业生产条件好;三生功能综合值高且协调性良好,具备发展成中心村的潜力。基于上述特征,建议采取以下发展策略:一依托城镇化进程<sup>[25]</sup>,结合城乡接合部区域特征,强化政策支持,夯实乡村经济基础;二依托地理区位优势、资源禀赋条件及生态系统服务功能优势,

深度开发乡村多元价值,增强内生发展动力;三针对农牧过渡带生态系统的敏感性,坚持绿色发展理念,平衡开发与保护的关系,为乡村生态宜居性建设提供长效性支撑机制。

**3.5.3 保留发展型发展模式** 保留发展型农村居民点有 960 个,总面积 23 637.6 hm<sup>2</sup>,呈带状分布于集聚提升型区域外围,如和林格尔县城关镇、舍比崖乡等(图 8)。该类型区域功能特征表现为三生功能值处于中等水平和基本协调状态;以生产生态复合型为主,单一生活功能型相对有限。基于上述特征,建议

采取差异化发展策略:生产生态复合型居民点<sup>[26]</sup>,应加强公共设施集约化配置,完善农牧产品产销服务体系,同步提升居民生活质量;生活功能主导型聚居点,则需坚持生态优先原则,严格控制建设用地规模,通过存量空间优化村庄环境,盘活闲置资源,实现人居环境改善与生态保护的协同发展。

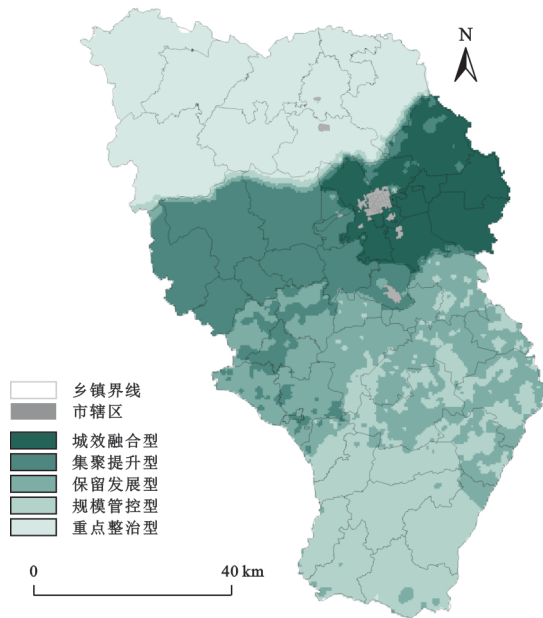


图8 反距离权重插值后农村居民点优化分区  
Fig. 8 Optimized zoning of rural settlements after inverse distance weighting interpolation

3.5.4 规模管控型发展模式 规模管控型农村居民点有688个,总面积11 326.05 hm<sup>2</sup>,集中分布于清水河县。该类型区域以山地和绿地系统为主,三生功能总体协调性一般,但生产-生态功能适配度较好。鉴于其远离城镇、基础设施与公共服务供给有限的现状,建议采取规模管控型优化策略:一通过划定区域建设控制线<sup>[27]</sup>,严格界定村庄建设用地范围,遏制无序扩张,同时充分挖掘村庄内部土地资源潜力,整治废弃、闲置用地,优化土地利用结构;二优化交通路网、电力供应系统及清洁能源输配设施等基础性工程,重点解决偏远地区“行路难、饮水难、用电难”等突出问题;最后,依托交通可达性与区位优势,推动乡村休闲旅游、绿色农业生产体系及农副产品精深加工产业链协同发展,实现农村三次产业交叉渗透与系统整合。

3.5.5 重点整治型发展模式 重点整治型农村居民点有997个,总面积21 719.7 hm<sup>2</sup>,主要分布于呼和浩特市北部,且南部乡镇有少量零星分布。该类型区域三生功能综合值较低,功能协调性接近失调;位于城市辐射带边缘,受城镇发展带动效应弱,产业功能与居住配套发展滞后;地形条件复杂(海拔高、地势陡峭),地质灾害风险高;乡村景观破碎化严重,劳动力外流导致

“空心化”现象突出。鉴于持续性投入可能导致资源配置效率低下,建议采取整体搬迁和生产-生活-生态协同发展策略:首先,基于农户搬迁意愿调查,统筹考虑其社会关系网络,制定科学合理的搬迁与安置方案<sup>[28]</sup>,有序引导农户向城镇集中区或新型农村社区转移;其次,通过职业技能培训、产业帮扶等多元化措施,解决搬迁群体的可持续生计问题。对于生产-生活-生态协同发展模式:一制定综合性发展规划,统筹资源配置;二发展生态友好型农业、环境友好型旅游业及清洁能源产业,促进经济与生态效益协同;三完善污水处理及交通等基础设施,减少环境负面影响;四构建生态效益价值化调控体系与动态评估网络,定期评估协同发展效果,确保措施实施的有效性。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

农村居民点是由土地资源、产业要素和生态环境共同构成的复合地域系统,其空间布局优化是实现城乡要素流动、促进乡村价值显化的重要载体。本文基于“三生功能”理论框架,以农牧交错区这一特殊地域类型为研究对象,系统探讨农村居民点功能空间分异规律及协调特征与优化路径,为乡村振兴战略实施提供新理论视角和实践参考。

研究发现,农村居民点三生功能呈现出显著的空间异质性特征,以高度耦合和协调耦合为主,整体协调性较好。但两两功能间协调状况较为复杂,协调度均值表现为:“生产-生态”协调性最好,“生产-生活”次之,“生活-生态”较差。最后,借助自组织特征映射网络和农村居民点三生功能整体及两两功能间的协调性划分居民点整治类型,并提出具体的优化策略。与既往研究相比,构建“功能评价—协调诊断—类型划分—策略制定”的系统研究框架,突破传统单一功能评价的局限;通过耦合协调度模型与SOFM神经网络的有机结合,实现农村居民点整治类型的客观识别;提出的差异化优化策略充分考虑农牧交错区的生态敏感性特征,为类似区域乡村规划提供可借鉴范式。不足之处是受数据获取限制,未充分考虑居民主体意愿、政策规划等因素的影响,未来需进一步完善评价指标的普适性;且农牧交错区的生态脆弱性特征要求进一步细化生态安全约束下的居民点布局规则,以更好地平衡发展与保护的关系,为乡村可持续发展提供精准的决策支持。

### 4.2 结论

(1) 农村居民点空间异质性显著,形成多个核心集聚区,呈现向“低海拔区域与建制镇中心”的聚集特征。

(2) 农村居民点三生功能呈显著空间正相关性,生活功能空间集聚特征最显著,生产功能次之,生态功能相对较弱。冷热点分析表明,生产功能热点区呈“西北—东南轴向”分布格局;生活功能热点区、次热点、次冷点、冷点区沿中心城区呈“半环状”递减特征;生态功能则表现为“团带状”零散分布,冷点区集中于西北高寒缺水地区。

(3) 农村居民点三生功能耦合协调度维持在基本协调水平,表现为以建制镇为核心的圈层式递减格局。两两耦合度以高度耦合水平为主,北部和南部少数区域处于低耦合和拮抗耦合;两两协调性呈“中部高、南北低”的空间分异特征,协调度均值表现为生产-生态(0.50)>生产-生活(0.46)>生活-生态(0.40)。

(4) 农村居民点整治可划分为5种类型,并提出相应的优化模式。城郊融合型应推进与中心城区在交通网络、公共服务、市场体系及产业布局等方面协同发展;集聚提升型需充分发挥区位优势,完善基础设施配套;保留发展型重点在于挖掘土地价值,提升集约利用水平;规模管控型应严格限制用地扩张,发展生态经济;重点整治型则需通过生产-生活-生态协同发展来优化农村居民点布局。

#### 参考文献(References):

- [1] 张慧,王佳辉,王宇瑶,等.典型农作区农村居民点空间布局优化研究:以黑龙江省望奎县为例[J].土壤通报,2022,53(2):270-279.  
Zhang H, Wang J H, Wang Y Y, et al. Spatial layout optimization of rural settlements in typical farming areas: a case study of Wangkui County, Heilongjiang Province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2022,53(2):270-279.
- [2] 邹亚锋,饶钰飞,罗艺婷,等.基于三生功能及其协调性的农村居民点布局优化[J].资源科学,2022,44(11):2260-2275.  
Zou Y F, Rao Y F, Luo Y T, et al. Spatial layout optimization of rural settlements based on production-living-ecological functions and coordination[J]. Resources Science, 2022,44(11):2260-2275.
- [3] 韩锡菲,陈志平,马行,等.基于乡村发展理论的浙江省美丽乡村规划建设策略:以浙江省嘉兴市为例[J].规划师,2025,41(2):119-127.  
Han X F, Chen Z P, Ma X, et al. Planning and construction strategies for beautiful countryside in Zhejiang Province based on rural development theory: taking Jiaxing City, Zhejiang Province as an example [J]. Planners, 2025,41(2):119-127.
- [4] 张佰林,张欣瑜,赵逸宁,等.农村居民点显性形态和隐性形态转型特征及关联机制[J].资源科学,2025,47(1):84-96.  
Zhang B L, Zhang X Y, Zhao Y N, et al. Characteristics and association mechanisms of the transition between dominant morphology and recessive morphology of rural settlements[J]. Resources Science, 2025,47(1):84-96.
- [5] 曲衍波,刘敏,朱伟亚,等.农村居民点多功能空间格局与协调性优化模式[J].自然资源学报,2021,36(3):659-673.  
Qu Y B, Liu M, Zhu W Y, et al. Spatial pattern and coordination optimization mode of multifunction of rural settlements [J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(3):659-673.
- [6] 周贵鹏,龙花楼.农村居民点土地利用隐性形态三维测度及其耦合协调演化研究:以河南省为例[J].地理科学进展,2023,42(6):1082-1097.  
Zhou G P, Long H L. Three-dimensional measurement and coupling and coordination evolution of recessive land use morphology of rural settlements: a case of Henan Province[J]. Progress in Geography, 2023,42(6):1082-1097.
- [7] 田亚亚,姜广辉,邢玉琦,等.面向乡村振兴的农村居民点用地结构与功能互动研究框架[J].农业工程学报,2024,40(8):232-244.  
Tian Y Y, Jiang G H, Xing Y Q, et al. Research framework for the interaction between rural residential land structure and function oriented towards rural revitalization [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2024,40(8):232-244.
- [8] 杨丹丽,孙建伟,张勇,等.基于“三生”功能的喀斯特山区农村居民点整治类型划分:以七星关区为例[J].中国土地科学,2021,35(11):80-89.  
Yang D L, Sun J W, Zhang Y, et al. Classification of consolidation type of rural settlements in karst mountainous areas based on “production-living-ecological” functions: taking Qixingguan district as an example [J]. China Land Science, 2021,35(11):80-89.
- [9] 张丽,周国华,刘李勇,等.湖南省乡村发展潜力评价及其障碍度诊断[J].湖南师范大学自然科学学报,2022,45(2):1-11.  
Zhang L, Zhou G H, Liu L Y, et al. Evaluation of rural development potential in Hunan Province and its obstacle degree diagnosis [J]. Journal of Natural Science of Hunan Normal University, 2022,45(2):1-11.
- [10] 卢一乾,余敦,王检萍,等.国土空间规划中县域农村居民点布局与优化:以江西省德兴市为例[J].水土保持研究,2022,29(4):329-335,343.  
Lu Y Q, Yu D, Wang J P, et al. Optimizing the layout of rural settlements in county under the background of land spatial planning: a case study of Dexing City of Jiangxi Province [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022,29(4):329-335,343.
- [11] 石云,朱晓雯,李建华,等.基于多智能体的黄土高原沟壑区农村居民点优化布局[J].经济地理,2023,43(7):170-178.  
Shi Y, Zhu X W, Li J H, et al. Optimal layout of rural settlements in gully areas of the Loess Plateau based on multi-agent bodies [J]. Economic Geography, 2023,43(7):170-178.
- [12] 吴成凤,闵婕,翁才银,等.生态脆弱山区农村居民点安

- 全韧性评价及空间优化:以重庆市秀山土家族苗族自治县隘口镇为例[J].山地学报,2023,41(2):266-279.
- Wu C F, Min J, Weng C Y, et al. Safety resilience and spatial optimization of rural settlements in ecologically fragile mountainous areas: a case study of aikou town, Xiushan Tujia and Miao autonomous county, Chongqing, China[J]. Mountain Research, 2023,41(2):266-279.
- [13] 乔伟峰,李琛,戴凌玲,等.乡村地域多功能演化与土地利用转型耦合研究进展与展望[J].地理研究,2024,43(6):1556-1571.
- Qiao W F, Li C, Dai L L, et al. Progress and prospects in the study of coupling rural multifunctional evolution and land use transitions[J]. Geographical Research, 2024,43(6):1556-1571.
- [14] 杨斌,刘晓,宋小青,等.资源型地区土地综合整治对乡村转型发展的影响及作用机制:基于微观农户调查数据的实证分析[J].中国土地科学,2024,38(10):125-136.
- Yang B, Liu X, Song X Q, et al. The impact and mechanism of comprehensive land consolidation on rural transformation and development in resource-based areas: empirical analysis based on micro survey data of farmers[J]. China Land Science, 2024,38(10):125-136.
- [15] 孟春妍,孔雪松.武汉都市圈乡村地域系统结构与功能演变及耦合优化[J].中国土地科学,2024,38(5):68-78.
- Meng C Y, Kong X S. Evolution and coupling optimization of structures and functions of rural regional system in Wuhan metropolitan area [J]. China Land Science, 2024,38(5):68-78.
- [16] 项清,黄弘,于欢,等.岷江上游流域分形地貌对农村居民点分布的影响[J].生态与农村环境学报,2022,38(8):1041-1050.
- Xiang Q, Huang H, Yu H, et al. Influence of fractal landform on the distribution of rural residential areas in the upper reaches of Minjiang River[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2022,38(8):1041-1050.
- [17] 邹亚锋,罗锋,饶钰飞,等.要素配置与流动视角下农牧交错带农村居民点空间布局优化[J].农业工程学报,2023,39(11):245-255.
- Zou Y F, Luo F, Rao Y F, et al. Optimizing the spatial layout of rural settlements in Farming-pastoral Zone under factor endowment and mobility[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2023,39(11):245-255.
- [18] 刘立文,段永红,李丽丽,等.山西省农村居民点空间分布特征及其适宜性评价[J].中国农业资源与区划,2022,43(1):100-109.
- Liu L W, Duan Y H, Li L L, et al. Spatial distribution characteristics and suitability evaluation of rural residential areas in Shanxi Province [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2022,43(1):100-109.
- [19] 熊鹰,黄利华,邹芳,等.基于县域尺度乡村地域多功能空间分异特征及类型划分:以湖南省为例[J].经济地理,2021,41(6):162-170.
- Xiong Y, Huang L H, Zou F, et al. Multifunctional spatial characteristics of rural areas and their type identification based on county scale: a case of Hunan Province [J]. Economic Geography, 2021,41(6):162-170.
- [20] 林传红,张胜武.安徽省乡村人居环境评价及空间格局分析[J].中国农业资源与区划,2022,43(3):198-205.
- Lin C H, Zhang S W. Evaluation of rural human settlement environment and analysis of spatial pattern in Anhui Province [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2022,43(3):198-205.
- [21] 陈晓丽,朱思阳,孔雪松,等.湖北省乡村人一地一业时空耦合的状态与动态特征[J].中国农业资源与区划,2021,42(10):31-38.
- Chen X L, Zhu S Y, Kong X S, et al. Dynamic and static characteristics of spatiotemporal coupling among rural population, land, and industry in Hubei Province [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2021,42(10):31-38.
- [22] 杨政琨,张雪松,雷自耕,等.鄂北低丘岗地乡村三生空间功能耦合协调度时空变化研究:以湖北省广水市长岭镇为例[J].长江流域资源与环境,2024,33(6):1354-1368.
- Yang Z K, Zhang X S, Lei Z G, et al. Spatial-temporal variation of the coupling coordination degree for rural production-living-ecology spatial functions in the low hilly area of northern Hubei Province: take Changling Town, Guangshui City, Hubei Province as an example [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2024,33(6):1354-1368.
- [23] 常耀文,吴迪,李欢,等.基于自组织映射神经网络的淮河流域生态系统服务簇时空变化特征[J].生态学报,2024,44(11):4544-4557.
- Chang Y W, Wu D, Li H, et al. Spatio-temporal variations of ecosystem service bundles in Huaihe River Basin based on SOFM [J]. Acta Ecologica Sinica, 2024,44(11):4544-4557.
- [24] 宋丽美,徐峰,孙亮,等.湖南典型城郊融合型乡村社区空间形态变化与空间营建策略研究[J].现代城市研究,2023,38(2):91-100.
- Song L M, Xu F, Sun L, et al. Research on the spatial form changes and space construction strategies of typical urban and suburban integrated rural communities in Hunan[J]. Modern Urban Research, 2023,38(2):91-100.
- [25] 曲衍波,贺薪翰,董晓珍,等.平原农区不同类型农村居民点转型特征及其驱动机制[J].资源科学,2025,47(1):68-83.
- Qu Y B, He X H, Dong X Z, et al. Transition characteristics and driving mechanisms of different types of rural settlements in plain agricultural areas[J]. Resources Science, 2025,47(1):68-83.