

引用格式: 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.] DOI: 10.18402/resci.2022.11.08

# 基于三生功能及其协调性的农村居民点布局优化

邹亚锋<sup>1,2</sup>, 饶钰飞<sup>1</sup>, 罗艺婷<sup>2</sup>, 谷香香<sup>2</sup>, 李夏茹<sup>2</sup>, 吕昌河<sup>3</sup>

(1. 福州大学环境与安全工程学院, 福州 350108; 2. 内蒙古大学公共管理学院, 呼和浩特 010021;

3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 揭示农村居民点三生功能水平及其协调性可有效指导乡村分类发展。本文以内蒙古武川县可可以力更镇(可镇)为例, 基于三生功能理论, 从生产、生活和生态功能3个维度综合评价农村居民点三生总体功能值并采用耦合协调模型测度三生功能协调性; 运用通用矩阵模型并依据相关研究识别农村居民点优化类型, 结合三角模型和社会网络分析提出农村居民点布局优化策略。结果表明: ①可镇三生总体功能值高、中、低的农村居民点分别占31.94%、42.38%、25.68%, 在空间分布上呈现由南到北递减趋势; ②可镇农村居民点三生功能协调性较好, 以基本协调为主, 占60.12%, 空间分布上呈现以建制镇为中心向四周环状递减特征; ③可镇农村居民点划分为城郊融合类、特色保护类、集聚提升类、一般存续类和搬迁撤并类, 集聚提升类数量最多, 共65个, 主要分布在建制镇周边及交通干线附近。本文可为实现乡村地区三生功能协调发展及分类推进农村居民点布局优化提供理论参考。

**关键词:** 三生功能; 农村居民点; 布局优化; 通用矩阵模型; 三角模型; 社会网络分析; 内蒙古武川县

DOI: 10.18402/resci.2022.11.08

## 1 引言

农村居民点是指在自然、社会经济和文化等因素综合作用下形成的农村人口聚居点<sup>[1]</sup>, 作为兼具生产、生活和生态多种功能的综合地域系统<sup>[2]</sup>, 其布局优化在全面推进乡村振兴大背景下具有重要的战略意义。进入21世纪以来, 随着中国城镇化飞速发展和城乡一体化进程的加快, 广大农村地区正经历着空间重组、经济转型和整体性重构<sup>[3]</sup>, 但乡村农业生产要素高度非农化<sup>[4]</sup>、乡村聚落空心化、土地利用粗放化、人居环境破败化等问题, 加剧了农村地域系统功能结构失衡, 严重制约了乡村可持续发展。为提振乡村发展, 《中共中央国务院关于实施乡村振兴战略的意见》中明确提出“生产集约高效、生活宜居适度、生态山清水秀”的理念, 强调在准确识别乡村地域功能的前提下推动农村地区“生产、生活、生态功能统筹发展”。二十大报告进一步强调, 需

坚持绿水青山就是金山银山理念, 全面推进乡村振兴, 深入推进城乡人居环境整治。农村居民点布局优化作为国土整治和乡村治理转型的重要内容之一, 对整合和激活乡村人口、土地、产业等要素和推动乡村实现“产业兴旺、生活富裕、生态宜居”协同发展具有重要的现实指导作用。

在乡村地域功能向着多元化、复合化演变的过程中, 如何实现乡村聚落空间重构、“生产-生活-生态”功能的全面协调与提升已成为政府和学界关注的焦点。国外有关三生功能的研究主要集中在乡村地域功能识别与空间优化方面, 最早可追溯到1993年欧盟的多功能农业(MFA), MFA认为除生产功能外, 农业还包括水土保持、田园风光的管理以及农村地区的生存和发展<sup>[5]</sup>, 为多功能乡村理论的提出奠定了基础<sup>[6]</sup>。进入21世纪后, 随着可持续发展理念的提出, 乡村地域多功能的研究受到广泛关

收稿日期: 2022-07-14, 修订日期: 2022-10-26

基金项目: 内蒙古自治区自然科学基金资助项目(2020MS04016); 福州大学人才引进项目(XRC-22026; XRC-20052)。

作者简介: 邹亚锋, 男, 湖北荆州人, 博士, 副教授, 硕导, 主要研究方向为国土空间规划与土地可持续利用。E-mail: zouyafeng2003@sina.com

2022年11月

注<sup>[7,8]</sup>,多功能乡村理论从人地关系地域系统角度提出乡村地域主要有三大功能,分别是提供产品的生产功能、提供栖居的生活功能和消解污染的生态功能<sup>[9]</sup>。国内学者关于乡村三生功能的研究大致分为两方面,一方面是在“多规合一”背景下,依据“三线三区”<sup>[10,11]</sup>、地类归并<sup>[12]</sup>和土地利用功能分类<sup>[13]</sup>对村域三生空间进行划定;另一方面是探究农村地区三生功能尤其是生产功能和生活功能在空间<sup>[14]</sup>、时间<sup>[15,16]</sup>上的特征与演化规律,研究方法多为定量研究,包括空间功能值<sup>[17]</sup>、最小累积阻力模型(Minimal cumulative resistance, MCR)<sup>[18]</sup>、CLUE-S模型<sup>[19]</sup>和耦合协调度模型<sup>[20-22]</sup>等。现有研究已意识到农村居民点空间布局本质上是村民基于“生产-生活-生态”三生功能相互作用而不断博弈的结果,并尝试从生产、生活、生态功能综合视角下构建评价指标体系<sup>[3,23]</sup>,或探讨三者互动耦合关系<sup>[24]</sup>,以划分农村居民点优化类型。作为农村人口生产和生活等综合功能的载体<sup>[25]</sup>,除部分位于城郊或社会经济发展较好的村庄内部居民点的生产功能被逐渐弱化而生活功能及生态功能日益凸显<sup>[26,27]</sup>,以及特色保护类村庄内部居民点强调其特殊价值而不太关注三生综合功能外<sup>[28]</sup>,大部分传统村庄尤其是经济欠发达地区的农村居民点空间布局仍是村民根据生产资源禀赋、生活便利程度以及生态环境条件等综合因素,在其生产生活(尤其是传统劳作)过程中不断选择,并最终达到三生功能协调的结果。单独强调三生综合功能容易忽略三者协调性从而掩盖单一功能偏弱的状态,而仅探讨三生功能的互动耦合关系又容易出现三者同低或同高而耦合度均高的情况。此外,现有关于农村居民点空间布局优化的研究,其研究尺度多为行政村<sup>[24]</sup>、县域<sup>[15,21,29]</sup>或市域<sup>[22]</sup>等,尽管已有少量学者对经济发达地区的农村居民点内部用地结构及功能进行过探讨<sup>[28,30,31]</sup>,但农村居民点除了其本身所具备的原始居住生活功能及其附属的有限生产功能外,三生功能更多来自于农村居民点周边村民所分得的土地。尤其是经济欠发达地区的农牧交错区,农村居民点规模小,分布零散,内部功能单一。农牧民基于其所承包的农牧业资源就近居住,除进行日常生产劳作外,也享受并

维护农牧业资源所提供的生态功能。农村居民点除提供农牧民日常居住等基本生活功能及牲畜圈养等基本生产功能外,还与周边农牧业及少量工业资源等共同为村民提供生产、生活及生态功能。

内蒙古武川县可镇(可镇)属典型的农牧交错区,经济发展水平落后且生态环境脆弱,农村居民点空心化及土地利用粗放等问题突出。因此,本文以可镇为研究区,基于“评价-分类-优化”的逻辑,综合考虑农村居民点内外部资源状况,从生产、生活、生态功能3个维度,构建农村居民点三生功能评价指标体系;利用耦合协调度模型对居民点三生功能协调性进行定量分析;在此基础上,利用通用矩阵模型得到二者组合特征,划分农村居民点类型;考虑到乡村资源禀赋和地域系统特征存在差异,通过构建三角模型,识别不同优化类型农村居民点的主导功能,提出农村居民点具体优化策略,以期为实现乡村地区三生功能协调发展及农村居民点布局优化研究范式提供理论参考。

## 2 研究区概况与数据来源

### 2.1 研究区概况

可镇位于内蒙古自治区呼和浩特市武川县(110°30'39"E—111°52'16"E,40°47'03"N—41°22'57"N),国家级贫困县,已于2019年脱贫摘帽,地处阴山山脉大青山北麓,土默川平原和北部草原的交错地带,是典型的北方农牧交错区(图1)。可镇地势北高南低,地形以山地、丘陵为主,平均海拔在1500~1600 m之间,降雨量少且集中,属于温带大陆性季风气候。截至2019年底,可镇农村居民点总面积为537.55 hm<sup>2</sup>,户籍人口约3.6万人,其中农村人口仅占13.62%,且以老年人居多,人均宅基地面积为118.58 m<sup>2</sup>,相较于2018年的121.86 m<sup>2</sup>有所减少,但农村居民点内部人地比例仍严重失调,且存在空心化、老龄化、配套基础设施不完善等问题;此外,可镇农村居民点空间分布极不均匀,除建制镇周边,其余区域农村居民点分布均呈现出小而散的“星状”分布特点,亟需整合人口、土地、产业等资源,以解决土地利用效率低、人居环境差等问题,为乡村可持续发展提供条件和动力。

### 2.2 数据来源

本文采用的基础数据包括土地利用现状和规

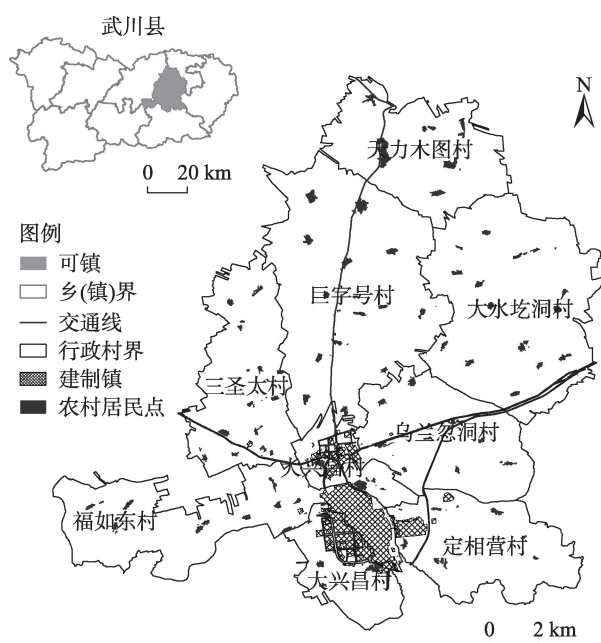


图1 研究区位置与农村居民点布局

Figure 1 Location of the study area and layout of rural settlements

划数据、社会经济统计数据、高清遥感影像及30 m分辨率DEM数据等。其中:①1:10000土地利用现状数据来源于武川县自然资源局提供的武川县2019年土地利用变更调查矢量数据成果,土地利用规划数据来源于《武川县土地利用总体规划(2009—2020年)》及《可可以力更镇土地利用总体规划(2009—2020年)》;②各类社会经济统计数据主要通过参与式农户调查法(PRA)及查阅《武川县统计年鉴》(2019)获取;高清遥感影像来自World Imagery Wayback网站,30 m空间分辨率DEM数据在地理空间数据云平台获取。可镇的农村居民点、耕地、牧草地、工矿地、设施农用地、交通用地斑块及其面积均从1:10000土地利用现状矢量数据中提取。农村居民点距耕地、牧草地、工矿点距离依据相关研究成果<sup>[32-34]</sup>中的缓冲距离,通过ArcGIS缓冲区分析获取。农村居民点户均宅基地面积、近五年房屋使用率、近五年新建房率、年户均收入、公共服务设施数、商业服务设施数、信息通讯设施完善度、农户收入来源多样性、农业保险参保人数占比、垃圾及废水排放量、防灾减灾设施完善度、生态设施完善度等通过参与式农户调查法获取。植被覆盖度以各农村居民点所在自然村域为评价单元,通过高清遥感影像、1:10000土地利用现状数据及实地调

研测算获取,自然村域的范围根据实地调研和土地利用现状数据划定。居民点坡度指数基于30 m分辨率DEM数据通过ArcGIS提取,运用Zonal分区统计工具得到各居民点的坡度指数。

### 3 研究思路与研究方法

#### 3.1 研究思路

农村居民点三生总体功能是对农村居民点为乡村人口提供基本生活保障、一定物质产品和生态服务的能力,即乡村发展水平的度量;三生功能协调性则是对居民点内部协同发展的详细刻画。以村庄独特资源禀赋为发展依托,分类推进乡村发展是实施乡村振兴战略的重要举措,在促进乡村发展水平整体提升的同时识别并强化农村居民点主导功能,能够体现乡村发展的差异性,避免出现“同质化”“样板化”现象。因此,本文首先借助核密度估计分析研究区农村居民点空间分布特征;其次,基于“生产-生活-生态”三生功能3个维度构建农村居民点三生功能评价指标体系,并采用熵值法确定各指标权重,得到农村居民点三生总体功能值;再次,根据生产、生活、生态功能值,构建农村居民点三生功能耦合协调度模型测算其协调性;通过构建通用矩阵模型得到三生总体功能值及协调性的组合特征。参考《国家乡村振兴战略规划(2018—2022年)》《关于统筹推进村庄规划工作的意见》及相关规划文件中规定的发展类型,依据组合特征和已有研究成果<sup>[3,20]</sup>,将农村居民点布局优化类型确定为城郊融合类、特色保护类、集聚提升类、一般存续类和搬迁撤并类;最后,基于三角模型识别农村居民点主导功能,并借助社会网络分析方法,测度行政村内部居民点间的联系强度,以确定搬迁撤并类农村居民点的迁移方向,最终得到不同类型农村居民点的优化策略。

#### 3.2 研究方法

##### 3.2.1 农村居民点三生总体功能值评价指标体系构建

农村居民点作为农村地区人地关系的综合表现及空间载体<sup>[14]</sup>,其空间布局反映了村民在长期生产生活过程中趋利避害及改造自然环境从而达成和谐统一的综合博弈结果。作为村民的主要生活



2022年11月

空间<sup>[35]</sup>,农村居民点与其周边的农牧业资源及少量工矿资源等,共同提供并满足居住于其上的村民生产、生活、生态需求。经济发达地区农村居民点内部用地结构多样,二三产业发展良好,基础设施建设完善,对周边农业资源依赖程度较低。但对于经济欠发达地区尤其是位于农牧交错区的农村居民点而言,经济发展落后,生态环境脆弱且恶劣,以农牧业为主要生产活动,内部用地结构及产业结构均较为单一,受限传统农牧业劳作需求,除提供传统居住等生活功能及简单牲畜圈养等基本生产功能外,村民仍需依附于其所分得的土地进行传统农牧业劳作,享受与维护农村居民点及其周边土地共同为其提供的三生功能(图2)。因此,参考现有研究成果<sup>[24,30,31,36,37]</sup>并结合可镇实际情况,综合考虑农村居民点本身及周边资源状况,从生产功能、生活功能、生态功能3个维度构建农村居民点三生功能评价指标体系(表1)。

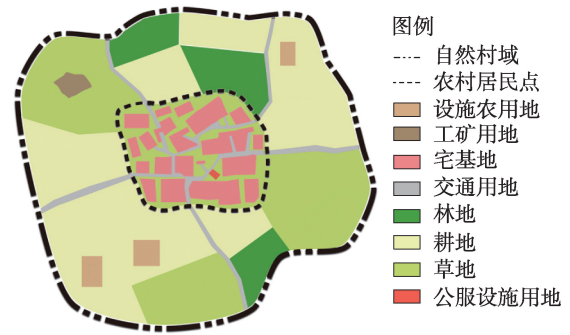


图2 研究区评价单元用地结构示意图

Figure 2 Schematic diagram of land use structure of evaluation units in the study area

(1)生产功能是指村民从农村居民点所属或附近土地上直接或间接获取产品的能力。耕地、牧草地、工矿点是可镇村民从事生产活动的主要用地。本文选取生产条件和生产用地规模两个一级指标表征农村居民点的生产功能:生产条件便利程度是

表1 农村居民点三生总体功能值评价指标体系

Table 1 Evaluation indicator system of the overall values of production-living-ecological functions of rural settlements

目标层	准则层	指标层	指标说明	指标性质	指标权重
生产功能	生产条件	距耕地距离	居民点到耕地的距离	负向	0.0041
		距牧草地距离	居民点到牧草地的距离	负向	0.0039
		距工矿点距离	居民点到工矿点的距离	负向	0.1028
	生产用地规模	工矿用地规模	自然村域内工矿用地面积	正向	0.0915
		设施农用地面积指数	自然村域内设施农用地面积	正向	0.0262
		耕地面积指数	自然村域内耕地面积	正向	0.0544
		牧草地面积指数	自然村域内牧草地面积	正向	0.0197
生活功能	居住状况	居民点规模	居民点面积	正向	0.0805
		宅基地面积占比	居民点内宅基地面积/该居民点面积	正向	0.0394
		近五年房屋使用率	居民点内近五年房屋使用数/该居民点总房屋数	正向	0.0232
		近五年新建房率	居民点内近五年新建房屋数/该居民点总房屋数	正向	0.0394
	生活便利度	公共服务设施数	居民点内卫生室、学校、广场等数量	正向	0.0103
		商业服务设施数	居民点内副食店、集市等服务场所数量	正向	0.0306
		信息通讯设施完善度	居民点内邮电、有线电视、电脑上网覆盖率	正向	0.0339
		交通用地占比	居民点内交通用地面积/该居民点面积	正向	0.0305
	生活保障	年户均收入	居民点年户均收入	正向	0.0349
		农业保险参保人数占比	居民点内农业保险参保人数/该居民点总人数	正向	0.0426
生态功能	生态干扰	农户收入来源多样性	居民点农户收入来源种类	正向	0.0138
		自然灾害易发程度	居民点受自然灾害频次	负向	0.0099
		垃圾废水排放量	居民点生活垃圾及废水排放量	负向	0.0537
	生态韧性	防灾减灾设施完善度	居民点是否具备防灾减灾设施	正向	0.0352
		生态设施完善度	居民点是否集中处理生活垃圾和污水	正向	0.0560
		植被覆盖度	自然村域内植被覆盖度	正向	0.0896
		坡度指数	居民点坡度指数	负向	0.0739



影响生产适宜性的重要因素,本文选择距耕地距离、距工矿点距离、距牧草地距离表征生产条件便利度,距离越近则生产条件越好。生产用地规模决定着生产功能的上限,规模越大则上限越高,本文用工矿用地、设施农用地、耕地和牧草地的面积指数表征用地规模。另外,考虑到工矿点的区位优势存在空间限制,距离过近,居民点会因环境污染而不适宜村民居住,从而影响生活功能值,故本文在进行工矿点缓冲区分析时,参考相关研究<sup>[38]</sup>,将距工矿点距离大于等于1000 m的范围设定为安全区域,安全区域内的居民点的生产条件为适宜,且随着居民点距工矿点距离的增加适宜性逐级递减,而安全区域外的农村居民点生产条件为不适宜。

(2)生活功能是农村居民点及其附近土地满足村民生活需要的能力,其主要包括居住状况、生活便利度和生活保障等方面。农村居民点的居住状况可反映居民点活力,用居民点规模、宅基地面积占比、近五年新建房率、近五年房屋使用率刻画。其中,居民点规模及宅基地面积占比越大,说明居民点聚集居住能力越强;近五年房屋使用率和近五年新建房率越高,说明居民点空心化风险越弱,居住活力越强;生活便利度用公共服务设施数、商业服务设施数、信息通讯设施完善度和交通用地占比表示,居民点公共服务设施和商业服务设施数越多,信息通讯设施越完善,交通用地占比越大,村民生活便利度越高,生活功能越强。考虑到可镇特殊的自然环境和生计方式,农牧民生产生活存在遭遇自然灾害的风险,因此将年户均收入、农户收入来源多样性和农业保险投保人占比来表示生活保障水平,年户均收入越高,农户收入来源越多元,投保人占比越大,在遭遇风险时有更强的生活保障能力。

(3)生态功能是指居民点及其附近土地能够提供生态服务和维持生态稳定的能力<sup>[39]</sup>,以满足村民的基本生态需求。本文选取生态干扰和生态韧性两个一级指标来表征生态功能,其中:生态干扰包括自然灾害易发程度和垃圾废水排放量;自然灾害易发程度高,居民点受灾越频繁,居民点日常生活垃圾和废水排放量越多,对居民点生态环境破坏越大;生态韧性包括防灾减灾设施完善度、生态设施

完善度、植被覆盖度和坡度指数,防灾减灾设施和生态设施完善度高的居民点,其生态环境更稳定,植被覆盖度越高的居民点,其生态韧性越好。坡度指数越大,则不利于生态维持。

对以上指标进行共线性诊断<sup>[40]</sup>,指标中方差膨胀因子  $VIF$  值最大为  $4.834 < 5$ ,容差  $T$  最小值为  $0.207 > 0.1$ ,表明所选指标已通过共线性检验,指标间不存在重复共线性;此外,本文采用极差法<sup>[41]</sup>对指标原始数据进行标准化处理,取值范围为 $[0, 1]$ ,并运用熵值法<sup>[21,22]</sup>确定各指标权重。

### 3.2.2 农村居民点三生功能协调性评价

农村居民点三生功能实质是以农村土地利用功能为基础,依据地域空间为居民提供产品和服务类型而划分的功能<sup>[42]</sup>。三生总体功能值能直观反映研究区生产、生活、生态功能综合水平的高低,三生功能耦合协调度则能反映生产、生活、生态功能从无序到有序发展的程度以及各功能的均衡发展情况<sup>[43]</sup>。不同居民点的三生功能并非泾渭分明,而是存在功能上的复合性和空间上的重叠性。耦合协调模型是对两个及以上系统之间相互作用、相互协调情况的测度<sup>[22]</sup>,可用于农村居民点生产功能、生活功能和生态功能3个系统之间协调程度的度量。本文在参考相关研究成果<sup>[20-22]</sup>的基础上,构建农村居民点三生功能耦合协调模型,具体计算公式如下:

$$C = \frac{\sqrt[3]{\frac{P_i L_i I_i}{\left(\frac{P_i + L_i + I_i}{3}\right)^3}}}{\frac{P_i + L_i + I_i}{3}} = \frac{3\sqrt[3]{P_i L_i I_i}}{P_i + L_i + I_i} \quad (1)$$

式中:  $C$  为三生功能之间的耦合度,取值范围为 $[0, 1]$ ,其值大小由生产、生活、生态功能值决定,  $C$  值越高表明三生功能耦合度越高;  $P_i$  为第  $i$  个农村居民点生产功能值;  $L_i$  为第  $i$  个农村居民点生活功能值;  $I_i$  为第  $i$  个农村居民点生态功能值,  $i \in \{1, 2, 3, \dots, 180\}$ 。尽管耦合度能反映三生功能之间的交互程度,但不能表征各功能间是在高水平上相互促进还是低水平上相互制约,还需引入耦合协调度<sup>[15]</sup>。

$$T = \alpha P + \beta L + \gamma I \quad (2)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (3)$$

式中:  $T$  为三生功能综合评价分值;  $D$  为三生功能

2022年11月

耦合协调度;  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  分别为生产、生活、生态功能的待定系数,且满足  $\alpha + \beta + \gamma = 1$ ,本文中  $\alpha$  取 0.35,  $\beta$  取 0.35,  $\gamma$  取 0.30。耦合协调度  $D$  的取值范围为  $[0, 1]$ :当  $D=0$  时,三生功能耦合协调度最低;当  $D=1$  时,三生功能耦合协调度达到最高水平。运用 ArcGIS 的自然断点法 (Jenks),将农村居民点三生功能耦合协调度划分为 3 个等级:濒临失调 ( $D < 0.55$ )、基本协调 ( $0.55 \leq D \leq 0.80$ ) 和高度协调 ( $D > 0.80$ )。

### 3.2.3 基于通用矩阵模型组合特征的农村居民点类型识别

通用矩阵法又称九象限分析法,是美国通用电气公司设计的一种投资组合分析方法。通用矩阵模型包含 9 个象限,矩阵结构复杂,能够在综合考虑事物两方面重要属性的前提下对其进行分类分析,分析结果更为准确,近年来在基本农田建设布局<sup>[44]</sup>、城市用电量预测<sup>[45]</sup>等领域得到应用。本文运用通用矩阵分析三生总体功能值和三生功能协调性的组合特征以识别农村居民点优化类型。在通用矩阵中,农村居民点三生总体功能值用矩阵长边  $X$  表示,划分成高、中、低 3 个级别;耦合协调度用矩阵短边  $Y$  表示,划分成高度协调、基本协调和濒临失调 3 个级别。以此形成 9 种组合方式以及 3 个类型 (图 3),3 个类型代表 3 种农村居民点布局优化类型。其中:a 类型农村居民点三生总体功能值高,三生功能耦合协调度较好;b 类型农村居民点三生总体功能值和三生功能耦合协调度均处于中等水平;c 类型农村居民点三生总体功能值和三生功能耦合协调度

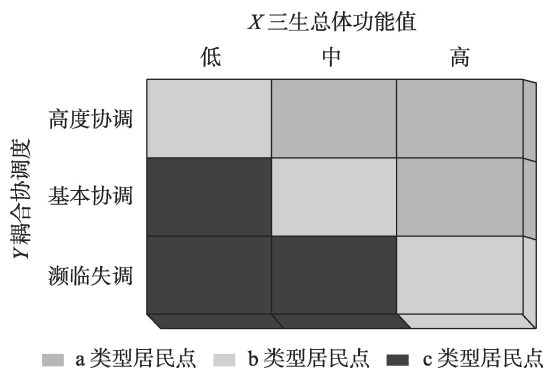


图3 基于通用矩阵模型的农村居民点类型划分

Figure 3 Classification of rural settlements based on the general matrix method

均低。

### 3.2.4 基于三角模型的农村居民点主导功能识别

利用三角模型可以将 3 个相互关联要素间的关系进行可视化描述。三角模型最早是美国农业部用来分析砂-粉砂-黏土各自含量以确定土壤类型的一种方法<sup>[46]</sup>,因其具有一定的直观性和简明性,在土地持续利用的现状与趋势<sup>[47]</sup>、土地生态安全<sup>[48]</sup>等方面也得以广泛应用。农村居民点是由“生产-生活-生态”3 个子系统共同影响和作用的复合系统,因而该系统在一定时期内通常具有多种功能,但不同功能的表现形式与作用强度存在差异,必然存在一种功能在整个系统中起着主导作用,即主导功能。主导功能体现地域特色,对农村居民点发展具有指导性意义<sup>[48]</sup>,能反映农村居民点由于自身条件差异而表现出最适宜的发展方向与发展策略<sup>[43]</sup>。本文将生产、生活、生态功能看作三角形的三条边,构建三角模型,分析不同居民点的主导功能 (表 2)。

### 3.2.5 农村居民点人口流动联系强度测算

人口流动联系强度可以反映村民来往不同农村居民点的喜好<sup>[49]</sup>,从侧面表达居民的社会交流意愿,能为搬迁撤并类居民点的布局优化提供重要参考。人口流动联系强度越大,表明农村居民点间的联系越密切,越适合作为首选搬迁目的地。本文以当地村民日常生活中的人口流动数据为基础,构建农村居民点间的社会联系网络。根据访问频次,采用德尔菲法进行权重计算。

$$T_{AB} = \sum_{j=1}^4 \frac{w_j \cdot n_{AB}^j}{N_A} \quad (4)$$

式中:  $T_{AB}$  是指农村居民点  $A$  和  $B$  之间联系强度;  $j=1,2,3,4$  分别代表 4 种类型的村民访问频次;不同村民访问频次的权重由  $w_i$  表示;  $n_{AB}^j$  是第  $j$  类村民访问频次下居民点  $A$  与  $B$  之间访问人数;  $N_A$  是居

表2 农村居民点主导功能类型识别

Table 2 Identification of dominant function type of rural settlements

农村居民点主导功能类型	说明
生产功能主导型	生产功能 > 生活功能 ≥ 生态功能 生产功能 > 生态功能 ≥ 生活功能
生活功能主导型	生活功能 > 生产功能 ≥ 生态功能 生活功能 > 生态功能 ≥ 生产功能
生态功能主导型	生态功能 > 生产功能 ≥ 生活功能 生态功能 > 生活功能 ≥ 生产功能

民点 $A$ 的人口数。4种访问频次类型及相应权重的详细说明如下： $j=1$ 表示每周访问频次超过4次，权重为0.544； $j=2$ 表示每周访问1~3次，权重为0.306； $j=3$ 表示每月访问频次为1~3次，权重为0.090； $j=4$ 表示一年访问频次小于12次，权重为0.060。

## 4 结果与分析

### 4.1 农村居民点空间分布特征

本文参考已有研究<sup>[22]</sup>,利用数量和面积核密度函数分析研究区农村居民点空间分布特征。整体上,可镇农村居民点分布受“南低北高”的地势及建制镇影响,呈现出“南密北疏”、以建制镇为中心向外辐射的空间分布特征,居民点平均数量密度为0.73个/km<sup>2</sup>,平均面积密度为3.16 hm<sup>2</sup>/km<sup>2</sup>。从数量密度看,居民点聚集度由西南到东北方向递减,高密度区主要位于建制镇周边及交通干线附近地区,包括三圣太村南部、乌兰忽洞村西部及巨字号村中部;从面积密度看,高密度区主要分布在天力木图村、巨字号村北部,这些地区因远离建制镇,资源稀缺,村民更倾向于集中居住以交换及整合资源,因而,单个农村居民点面积较大。综上,在建制镇周边农村居民点集中连片分布,这些农村居民点受建制镇社会经济辐射带动影响,区位条件较优越;除建制镇周边外,可镇农村居民点基本呈星状分布,

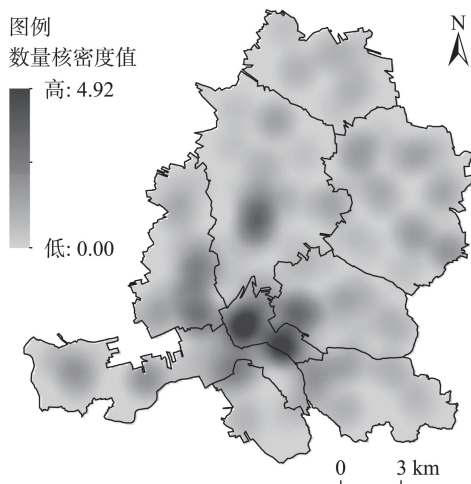
布局散乱,面积小(图4)。

### 4.2 农村居民点三生功能及其协调性评价结果

#### 4.2.1 农村居民点三生总体功能值评价结果

单个维度评价结果方面,从生产功能来看,功能值低的农村居民点共86个,面积215.26 hm<sup>2</sup>;功能值中等的居民点有62个,面积204.95 hm<sup>2</sup>;功能值高的居民点有32个,面积117.34 hm<sup>2</sup>;可镇生产功能强的农村居民点主要分布于巨字号村、乌兰忽洞村和大兴昌村,前者公路穿村而过,交通便利,便于运输农业和工业产品,后两者由于距建制镇较近,受其经济辐射影响较大,具有良好的农牧业发展市场条件。从生活功能来看,功能值低的居民点共58个,面积129.69 hm<sup>2</sup>;功能值中等的居民点共65个,面积196.06 hm<sup>2</sup>;功能值高的居民点共57个,面积211.80 hm<sup>2</sup>;可镇生活功能弱的农村居民点主要分布在天力木图村、大水圪洞村、巨字号村北部,地处偏远地区而无法享受中心城镇的医疗、教育等资源,农村居民点内部缺少商业服务设施,信息通讯设施不完善,村民生活便利度较低。从生态功能来看,功能值低的居民点共65个,面积187.38 hm<sup>2</sup>;功能值中等的居民点共78个,面积201.45 hm<sup>2</sup>;功能值高的居民点共37个,面积148.72 hm<sup>2</sup>;可镇生态功能强的居民点集中分布于三圣太村、乌兰忽洞村和定相营村,与建制镇距离适中,坡度较缓,植被覆盖度高,垃圾

a. 可镇农村居民点数量核密度图



b. 可镇农村居民点面积核密度图

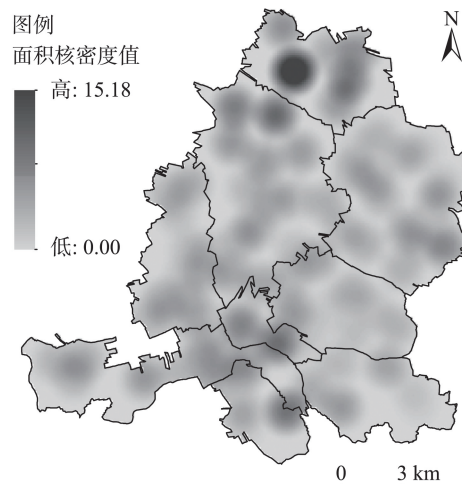


图4 研究区农村居民点空间分布特征

Figure 4 Spatial distribution characteristics of rural settlements in the study area



2022年11月

和废水排放量较少;生态功能弱的居民点主要分布在巨字号村、天力木图村等,经济发展水平有限,垃圾排放量较大,生态设施不完善。

在三生总体功能值方面,总体功能值高的农村居民点有41个,面积为171.68 hm<sup>2</sup>,占全镇农村居民点总面积的31.94%,主要分布在可镇南部的大兴昌村、定相营村西部和乌兰忽洞村,其共同特征是靠近中心城区,经济发展条件、公共服务设施建设等方面较为优越;总体功能值中等的农村居民点共82个,面积为227.81 hm<sup>2</sup>,占总面积的42.38%,此类农村居民点数量占比最大,分布最广,除大兴昌村外其余各村均有分布,其中,巨字号村和三圣太村内此类农村居民点分布最多,且多位于交通道路沿线;总体功能值低的农村居民点有57个,面积为138.06 hm<sup>2</sup>,占总面积的25.68%,主要分布在大水圪洞村、天力木图村、三圣太村,远离中心城镇,生活便利度较低,加之地势较高,交通不便,农牧业生产条件差,因而三生总体功能值低(表3、图5)。

#### 4.2.2 农村居民点三生功能协调性评价结果

因自然资源禀赋差异,不同农村居民点的生产生活条件以及维持生态环境稳定的能力参差不齐,测算居民点三生功能的耦合协调度能识别生产、生活、生态功能是否存在明显短板。可镇农村居民点三生功能耦合协调度值介于0.35~0.84,耦合协调状况较好,以基本协调的农村居民点为主,占全镇农村居民点面积的60.12%,空间上分布呈现以建制镇为中心向四周环状递减的特征。

高度协调的农村居民点,生产功能、生活功能和生态功能均较好,且3个维度发展协调均衡,不存在明显短板,主要分布在大兴昌村、三圣太村和乌兰忽洞村,面积占14.19%。这些农村居民点距离牧草地和耕地近,具有良好的农牧业生产条件,生产功能较强;居民点规模大,交通用地面积占比高,信息通讯设施完善度高,公共服务设施更完善,生活功能较强;植被覆盖度高,坡度较缓,生态功能较强;因而这类居民点三生功能值高且协调性好。基本协调的农村居民点受到距工矿点距离、公共服务设施数量、信息通讯设施完善度等因素制约,生产功能值或生活功能值较低,这类农村居民点除大兴昌村外,在全镇范围内均有分布;这类居民点因距中心城镇远,难以享用中心城镇的医疗卫生、教育等公共服务设施,生活功能值偏低,从而影响三生功能协调性。濒临失调是指农村居民点三生功能间存在明显弱项和发展局限性,主要分布在福如东村西部和中部、定相营村东部、大水圪洞村西部和北部、天力木图村北部等偏远地区,这类农村居民点占总面积的25.69%,斑块面积小、分布零散,难以支撑农业生产设施和公共服务设施建设,没有冗余资金用于生态维持,因而三生总体功能值低且三生功能协调性差(图6)。

#### 4.3 基于组合特征的农村居民点优化类型识别

参考现有研究成果<sup>[3,20]</sup>及《国家乡村振兴战略规划(2018—2022年)》等中央文件精神,本文将农村居民点优化类型划分为5类,分别是城郊融合类、特

表3 农村居民点三生总体功能值评价结果

Table 3 Evaluation results of the overall values of production-living-ecological functions of rural settlements

村庄	总面积/hm <sup>2</sup>	总图斑数	总体功能值高		总体功能值中		总体功能值低	
			面积/hm <sup>2</sup>	图斑数	面积/hm <sup>2</sup>	图斑数	面积/hm <sup>2</sup>	图斑数
天力木图村	87.47	9	35.41	1	24.47	3	27.59	5
巨字号村	110.96	30	16.96	4	80.51	15	13.49	11
大水圪洞村	85.38	26	4.20	1	44.42	13	36.76	12
三圣太村	55.78	26	11.17	4	32.33	13	12.28	9
乌兰忽洞村	44.62	20	25.21	6	12.99	10	6.42	4
大兴昌村	68.60	35	45.96	15	13.48	17	9.16	3
福如东村	52.98	20	19.52	5	11.68	7	21.78	8
定相营村	31.76	14	13.25	5	7.93	4	10.58	5
合计	537.55	180	171.68	41	227.81	82	138.06	57

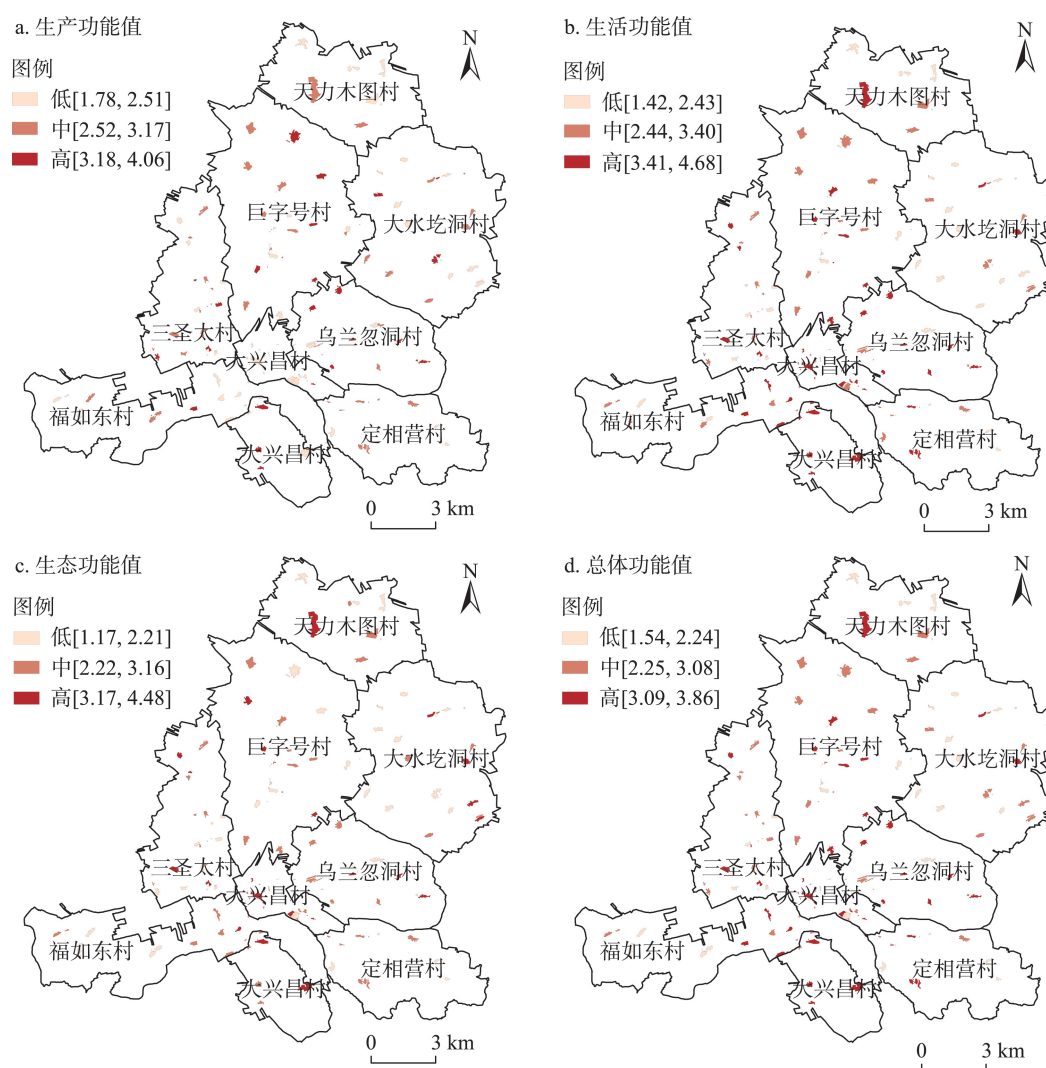


图5 农村居民点三生总体功能值空间分布

Figure 5 Spatial distribution of the overall values of production-living-ecological functions of rural settlements

色保护类、集聚提升类、一般存续类和搬迁撤并类。其中,城郊融合类农村居民点与中心城镇空间距离近、产业联系强,位于《可可以力更镇土地利用总体规划(2009—2020年)》划定的城镇建设用地扩展边界内;特色保护类农村居民点根据文物古迹保护、历史文化遗址、少数民族特色村寨及实地调查资料等确定;集聚提升类、一般存续类、搬迁撤并类农村居民点通过构建通用矩阵模型确定,综合考虑居民点的三生总体功能值及其协调性,将三生总体功能值高且内部协调性相对较好的a类型农村居民点确定为集聚提升类;三生总体功能值及其协调性均处于中等水平的b类型农村居民点确定为一般存续类;三生总体功能水平低且内部协调性差、不适

宜村民居住的c类型农村居民点确定搬迁撤并类(图7、表4)。

#### 4.4 基于主导功能的农村居民点优化策略

在划分农村居民点优化类型的基础上,运用三角模型识别各类农村居民点三生功能中的主导功能(图8),以“生产集约高效、生活宜居适度、生态山清水秀”为目标,立足可镇实际情况,提出农村居民点具体优化策略。

##### (1) 城郊融合类

可镇属于城郊融合类的农村居民点共6个,面积为23.390 hm<sup>2</sup>,均分布在建制镇周边、城镇建设用地扩展边界内,三生总体功能值高,以生活功能为主导功能,三生功能协调性为基本协调,未来极有

2022年11月

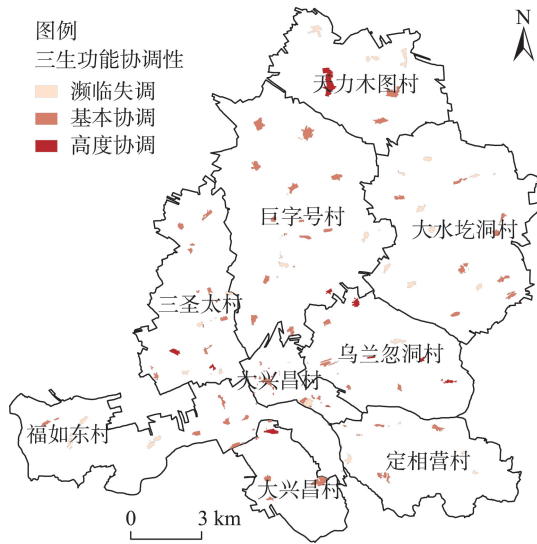


图6 农村居民点三生功能协调性空间分布特征

Figure 6 Spatial characteristics of coupling and coordination degree of production-living-ecological functions of rural settlements

可能被纳入中心城镇。其中,位于大兴昌村的4个居民点生活功能值尤为突出,未来可承接中心城镇过密人口,充分利用区位优势发展绿色化和现代化农牧业,打造宜居宜业的居业协同体;另外2个居民点分别位于定相营村西部和巨字号村南部,其面积小,不适宜发展大规模农业和工业生产,未来应积极发展第三产业,推动产业转型升级。

#### (2)特色保护类

可镇属于特色保护类的农村居民点共10个,面积为37.560 hm<sup>2</sup>,除天力木图村和定相营村外,各村均有零星分布。该类居民点多以生活功能为主导功能,少数居民点以生态功能为主导功能,三生总体功能值较高,三生功能协调性为基本协调和高度协调,需注重发展与保护的关系。一方面,坚持在发展中保护,位于巨字号村、乌兰忽洞村农村居民点生产功能值较高,在充分发挥生产优势的同时保

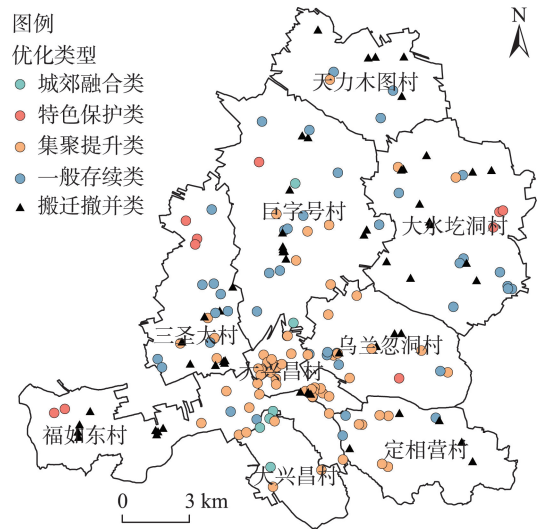


图7 农村居民点优化类型的空间分布

Figure 7 Spatial distribution of optimization types of rural settlements

护各类自然和文化资源;另一方面,坚持在保护中发展,位于福如东村、大水圪洞村、三圣太村的农村居民点生产功能值较低,加强对于文化资源的活化利用,依据民族传统特色适当发展乡村旅游,提高村集体收入和村民生活水平,以有效解决传统村落保护工作中专项资金短缺、无人看管等问题。

#### (3)集聚提升类

可镇属于集聚提升类的农村居民点共65个,面积为180.260 hm<sup>2</sup>,主要分布在乌兰忽洞村、大兴昌村和定相营村,零星分布于巨字号村和三圣太村。这类农村居民点三生总体功能值高且三生功能协调性好,拥有良好的产业现状,兼具生产功能主导型、生活功能主导型及生态功能主导型居民点,未来有条件建设成为中心村,吸纳同村内部搬迁撤并类居民点迁出人口。因此,此类居民点应在稳定发展经济的基础上逐步完善公共服务基础设施尤其

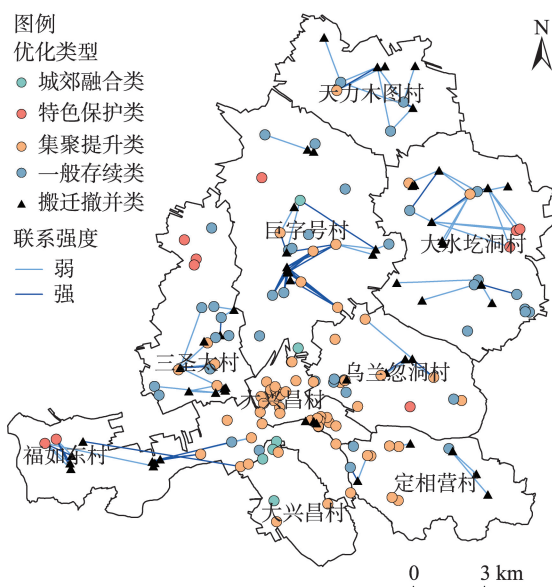
表4 农村居民点优化类型统计

Table 4 Statistics of optimization types of rural settlements

优化类型	图斑总面积/hm <sup>2</sup>	总图斑数	最大面积/hm <sup>2</sup>	最小面积/hm <sup>2</sup>	平均面积/hm <sup>2</sup>
城郊融合类	23.390	6	8.310	0.130	3.900
特色保护类	37.560	10	9.260	0.150	3.760
集聚提升类	180.260	65	35.410	0.006	2.770
一般存续类	158.250	42	17.450	0.036	3.770
搬迁撤并类	138.090	57	10.420	0.001	2.420

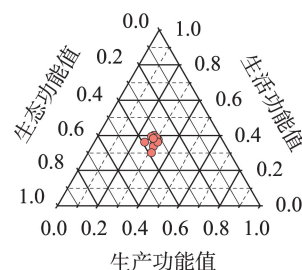


a. 各类农村居民点布局及迁移优化

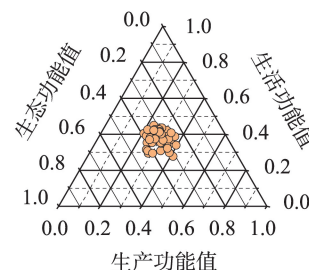


b. 各类农村居民点主导功能识别

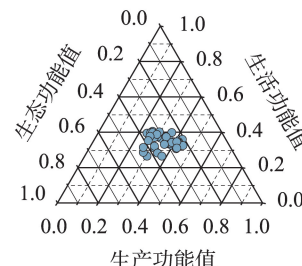
b1. 特色保护类



b2. 集聚提升类



b3. 一般存续类



b4. 城郊融合类

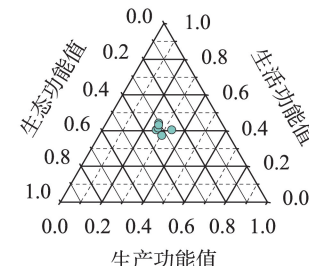


图8 农村居民点主导功能识别及布局优化

Figure 8 Identification of dominant function and layout optimization of rural settlements

是教育、医疗和卫生等的建设,提高居民点的生活功能,提高村民日常生活便利度,同时注重生态环境保护和满足村民生态服务需求。

#### (4)一般存续类

可镇属于一般存续类的农村居民点共42个,面积为158.250 hm<sup>2</sup>,全镇各村均有分布且数量较多。该类农村居民点三生总体功能值中等,三生功能基本协调,生产功能和生活功能主导型居民点较多,生态功能主导型居民点较少。对于生产和生活功能主导型居民点,今后在建设过程中应做到生态保护为主,开发为辅,严格控制农村居民点用地规模无序扩张,在切实保护生态环境的前提下,通过内部挖潜及整治,盘活村庄内部大量存量空间,提升土地集约节约利用水平,改善村容村貌。对于生态功能主导型居民点,应注重基础设施共享建设,为农牧业生产和销售创造更优良的条件,为村民日常生活需求的满足提高便利度。

#### (5)搬迁撤并类

可镇属于搬迁撤并类的农村居民点共57个,面积为138.090 hm<sup>2</sup>,主要分布在大水圪洞村、福如东村和天力木图村。这类居民点三生总体功能值低,且三生功能协调性为濒临失调,由于基础设施与公

共服务建设属中长期投资,长远来看,对此类农村居民点进行投资会造成资源浪费。因此,本文将这类居民点的布局优化策略确定为整体搬迁,为便于行政管理,将其搬迁至同一行政村内部集聚提升类居民点。具体搬迁方案如下:对于只有一个集聚提升类农村居民点的行政村,可在尊重村民意愿的前提下,将需搬迁的农村居民点迁移至该集聚提升类居民点;对于有两个及以上集聚提升类居民点的行政村,为了降低农户搬迁后的环境陌生感及提高其与迁入地融合程度,本文借助社会网络分析,测算居民点间的人口流动联系强度,将每个行政村内的联系强度分为“强-弱”两个级别,将“强”联系的集聚提升类农村居民点确定为该搬迁撤并类农村居民点的首选迁移目的地(图8)。

## 5 结论与讨论

### 5.1 结论

本文从生产功能、生活功能、生态功能3个维度入手,遵循“评价-分类-优化”的思路,对农村居民点的三生总体功能值和协调性进行评价,基于二者组合特征识别不同的优化类型,借助三角模型和联系强度提出不同类型居民点的优化策略及搬迁撤并类居民点的布局优化建议。主要研究结论如下:

2022年11月

(1)农村居民点三生总体功能值中低水平数量和面积占比高,空间分异显著。总体功能值高的农村居民点有41个,面积为171.68 hm<sup>2</sup>,紧靠建制镇分布;总体功能值中等的农村居民点有82个,面积为227.81 hm<sup>2</sup>,在镇域范围内均有分布;总体功能值低的农村居民点有57个,面积为138.06 hm<sup>2</sup>,主要分布于远离中心城区的地区。

(2)农村居民点三生功能协调性以基本协调为主,空间分布呈现以建制镇为中心向四周圈层式递减的特征。高度协调的居民点占14.19%,集中分布在建制镇周边;基本协调的居民点占60.12%,分布零散且广泛;濒临失调的居民点占25.69%,主要分布在远离建制镇的地区。三生总体功能值及其协调性水平的空间分布存在相似性,说明建制镇对农村居民点起到辐射带动作用。

(3)农村居民点布局优化类型包括城郊融合类、特色保护类、集聚提升类、一般存续类和搬迁撤并类,城郊融合类和特色保护类多以生活功能为主导,集聚提升类和一般存续类兼具生产、生活、生态功能主导型居民点,搬迁撤并类不具备主导功能。针对不同类型农村居民点提出差异化优化策略。城郊融合类农村居民点应在交通、公共服务设施、市场和产业方面逐步与中心城镇接轨,做好被纳入城镇建设用地的准备;集聚提升类农村居民点需进一步完善公共服务设施,同时注重对生态环境的保护;特色保护类农村居民点发展与保护并举,逐步改变村民生活方式,提高人居环境质量;一般存续类居民点应着重进行土地价值挖潜,提高土地集约节约利用水平;搬迁撤并类农村居民点不适宜村民居住,三生功能及其协调性差,依据社会网络分析中的联系强度,将其迁移至同一行政村内与其联系强度最高的集聚提升类农村居民点。

## 5.2 讨论

农村居民点是由土地、产业、自然资源等相对固定要素和人、社会资金等流动要素不断组合配置而形成的综合地域系统。农村居民点布局优化是整合农业发展资源,促进城市资本技术下乡,助力乡村土地价值显化和实现城乡融合发展的抓手与平台。在“人”与“地”的交织作用和村民生产、生活、生态需求的推动下,农村居民点的功能朝着异

质化和多元化演变。在村民长期生产生活过程中,人们总是倾向于选择“生产便利、生活宜居、生态稳定”的地方聚集定居,农村居民点的三生功能在此过程中应运而生,总体功能值的大小及功能间的协调性成为衡量农村居民点乃至乡村发展优劣的标尺。农村居民点同时具备良好的生产、生活、生态功能时,村民能够享有更大的经济效益、社会效益和生态效益,最有利于实现乡村振兴。因此,本文遵循“评价-分类-优化”的逻辑,对经济欠发达的农牧交错区农村居民点的三生总体功能值及协调性进行评价,根据两者的组合特征划分不同优化类型的农村居民点,以打破单一评价三生总体功能值局限性;通过识别不同类型居民点主导功能和测度人口流动联系强度,提出具有针对性的居民点优化策略,丰富了农村居民点布局优化的研究视角,延伸了多功能乡村理论的实践运用,为村庄规划中农村居民点的布局提供理论和技术支撑。

本文基于三生功能及其协调性探讨了农村居民点的布局优化策略,但农村居民点的发展是一个渐变的动态过程,不排除某一类型农村居民点在某一发展阶段具备转变为另一类型农村居民点的可能,因此,如何科学把握农村居民点的时空演变规律并预测其转型周期以准确把握关键节点、顺利实现其转型重构,有待进一步研究。

## 参考文献(References):

- [1] 马小娥,白永平,纪学朋,等.干旱区内陆河流域农村居民点空间格局及分异[J].水土保持研究,2018,25(2): 281-287. [Ma X E, Bai Y P, Ji X P, et al. Spatial pattern and difference of rural settlements in the inland river basin of arid region[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(2): 281-287.]
- [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] 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.]

- [4] 乔伟峰, 戈大专, 高金龙, 等. 江苏省乡村地域功能与振兴路径选择研究[J]. 地理研究, 2019, 38(3): 522-534. [Qiao W F, Ge D Z, Gao J L, et al. Detecting the pathways towards rural vitalization from the perspective of territorial functions in Jiangsu Province[J]. Geographical Research, 2019, 38(3): 522-534.]
- [5] 黄雪菲, 黄文芳. 国别间多功能农业发展评价指标体系构建[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(5): 176-179. [Huang X F, Huang W F. Establishment of national multifunctional agriculture evaluation index system[J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(5): 176-179.]
- [6] 周国华, 戴柳燕, 贺艳华, 等. 论乡村多功能演化与乡村聚落转型[J]. 农业工程学报, 2020, 36(19): 242-251. [Zhou G H, Dai L Y, He Y H, et al. Rural multifunctional evolution and rural settlements transformation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(19): 242-251.]
- [7] Huang J, Tichit M, Poulot M, et al. Comparative review of multifunctionality and ecosystem services in sustainable agriculture[J]. Journal of Environmental Management, 2015, 149: 138-147.
- [8] Romstad E. Multifunctional rural land management: Economics and policies[J]. Journal of Agricultural Economics, 2010, 61(1): 202-204.
- [9] 房艳刚, 刘继生. 基于多功能理论的中国乡村发展多元化探讨: 超越“现代化”发展范式[J]. 地理学报, 2015, 70(2): 257-270. [Fang Y G, Liu J S. Diversified agriculture and rural development in China based on multifunction theory: Beyond modernization paradigm[J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(2): 257-270.]
- [10] 王颖, 刘学良, 魏旭红, 等. 区域空间规划的方法和实践初探: 从“三生空间”到“三区三线”[J]. 城市规划学刊, 2018, (4): 65-74. [Wang Y, Liu X L, Wei X H, et al. The method and practice of regional spatial planning from “Three Basic Spaces” to “Three-zones and Three-lines”[J]. Urban Planning Forum, 2018, (4): 65-74.]
- [11] 王检萍, 余敦, 孙聪康, 等. 国土空间规划背景下村域“三生”空间划定与实证研究[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(11): 265-275. [Wang J P, Yu D, Sun C K, et al. The demarcation and empirical research on “production-living-ecological” space in village area under background of land space planning[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2021, 42(11): 265-275.]
- [12] 李晓青, 刘旺彤, 谢亚文, 等. 多规合一背景下村域三生空间划定与实证研究[J]. 经济地理, 2019, 39(10): 146-152. [Li X Q, Liu W T, Xie Y W, et al. The delineation and empirical study of production-living-ecological space in village under the background of multiple planning integration[J]. Economic Geography, 2019, 39(10): 146-152.]
- [13] 杨清可, 段学军, 王磊, 等. 基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应: 以长江三角洲核心区为例[J]. 地理科学, 2018, 38(1): 97-106. [Yang Q K, Duan X J, Wang L, et al. Land use transformation based on ecological-production-living spaces and associated eco-environment effects: A case study in the Yangtze River Delta[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(1): 97-106.]
- [14] 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.]
- [15] 王成, 唐宁. 重庆市乡村三生空间功能耦合协调的时空特征与格局演化[J]. 地理研究, 2018, 37(6): 1100-1114. [Wang C, Tang N. Spatio-temporal characteristics and evolution of rural production-living-ecological space function coupling coordination in Chongqing Municipality[J]. Geographical Research, 2018, 37(6): 1100-1114.]
- [16] 翟羽娟, 张艳红, 姜琦刚, 等. 吉林省西部农牧交错区“三生空间”时空演变[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2022, 52(3): 1016-1026. [Zhai Y J, Zhang Y H, Jiang Q G, et al. Spatial-temporal evolution pattern of “Production-Living-Ecological Space” in agro-pastoral ecotone of western Jilin Province[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2022, 52(3): 1016-1026.]
- [17] 杨俊, 郭丽兰, 李争. 基于空间功能值的矿粮复合区三生空间重构[J]. 农业工程学报, 2018, 34(24): 247-255. [Yang J, Guo L L, Li Z. Reconstruction of living, production and ecological space based on spatial functional value in mine-grain mixed zone[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(24): 247-255.]
- [18] 李明慧, 周启刚, 孟浩斌, 等. 基于最小累积阻力模型的三峡库区重庆段生态安全格局构建[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(8): 1916-1926. [Li M H, Zhou Q G, Meng H B, et al. Ecological security layout planning of Chongqing Section in the three gorges reservoir area based on the model of minimum cumulative coefficient[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021, 30(8): 1916-1926.]
- [19] 赵旭, 汤峰, 张蓬涛, 等. 基于CLUE-S模型的县域生产-生活-生态空间冲突动态模拟及特征分析[J]. 生态学报, 2019, 39(16): 5897-5908. [Zhao X, Tang F, Zhang P T, et al. Dynamic simulation and characteristic analysis of county production-living-ecological spatial conflicts based on CLUE-S model[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(16): 5897-5908.]
- [20] 高慧慧, 王征强, 王涛, 等. 三生空间协调度的中泉镇农村居民点布局优化[J]. 测绘科学, 2021, 46(3): 176-182. [Gao H H, Wang Z Q, Wang T, et al. Optimizing the layout of rural settlements in Zhongquan Town under the coordination of three living spaces[J]. Science of Surveying and Mapping, 2021, 46(3): 176-182.]



2022年11月

- [21] 李强, 苏迎庆, 冯珍珍, 等. 汾河流域三生空间功能耦合协调研究[J]. 中国水土保持科学, 2021, 19(5): 115–125. [Li Q, Su Y Q, Feng Z Z, et al. Study on production–living–ecological space function coupling coordination in Fen River basin[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2021, 19(5): 115–125.]
- [22] 张雪松, 徐梓津. 少数民族聚集区“三生空间”功能耦合协调度时空演变及与人类活动强度关系: 以贵州省少数民族自治州为例[J]. 水土保持研究, 2021, 28(6): 268–273. [Zhang X S, Xu Z J. Spatial temporal evolution of functional coupling coordination degree of production–living–ecological space and its relationship with human activity intensity in ethnic minority areas: Taking minority autonomous prefecture of Guizhou as an example[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(6): 268–273.]
- [23] 杨春梅, 徐小峰, 张豪, 等. 基于三生空间功能的上海市农村居民点特征演变及优化研究[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(10): 2392–2404. [Yang C M, Xu X F, Zhang H, et al. Evolution and optimization features of rural residential areas based on the functions of production–living–ecological spaces in Shanghai[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021, 30(10): 2392–2404.]
- [24] 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.]
- [25] 邹亚锋, 吕昌河, 周玉, 等. 规划调控下的农村居民点整治潜力测算研究[J]. 资源科学, 2016, 38(7): 1266–1274. [Zou Y F, Lv C H, Zhou Y, et al. Estimation of the consolidation potential of rural residential land based on planning regulation[J]. Resources Science, 2016, 38(7): 1266–1274.]
- [26] Zhu F K, Zhang F R, Li C, et al. Functional transition of the rural settlement: Analysis of land–use differentiation in a transect of Beijing, China[J]. Habitat International, 2014, 41: 262–271.
- [27] 龙花楼, 屠爽爽, 戈大专. 新型城镇化对扶贫开发的影响与应对研究[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(3): 309–319. [Long H L, Tu S S, Ge D Z. Effects of new–type urbanization on poverty alleviation and development and corresponding countermeasures[J]. Bulletin of Chinese Academy of Science, 2016, 31(3): 309–319.]
- [28] 马雯秋, 何新, 姜广辉, 等. 基于土地功能的农村居民点内部用地结构分类[J]. 农业工程学报, 2018, 34(4): 269–277. [Ma W Q, He X, Jiang G H, et al. Land use internal structure classification of rural settlements based on land use function[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(4): 269–277.]
- [29] 程宪波, 陶宇, 欧维新. 江苏省乡村三生功能耦合协调时空变化特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(1): 222–233. [Cheng X B, Tao Y, Ou W X. Spatio–temporal characteristics and evolutions of rural production–living–ecological function and coupling coordination in Jiangsu[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2022, 31(1): 222–233.]
- [30] 田亚亚, 姜广辉, 何新, 等. 北京市平谷区农村居民点内部用地结构差异分析[J]. 农业工程学报, 2019, 35(17): 263–273. [Tian Y Y, Jiang G H, He X, et al. Internal land use structure difference analysis of rural settlements in Pinggu District, Beijing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(17): 263–273.]
- [31] 曲衍波, 姜广辉, 商冉, 等. [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2017, 53(3): 475–486. [Qu Y B, Jiang G H, Shang R, et al. Typical village domain models of rural residential land consolidation based on the external and internal characteristics of the complex system [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2017, 53(3): 475–486.]
- [32] 康孝岩, 王艳慧, 段福洲. 单一景观空间分布指数及其适用性评价[J]. 生态学报, 2015, 35(5): 1311–1320. [Kang X Y, Wang Y H, Duan F Z. Spatial distribution index and its applicability evaluation for single–type landscape[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(5): 1311–1320.]
- [33] 文博, 刘友兆, 夏敏. 基于景观安全格局的农村居民点用地布局优化[J]. 农业工程学报, 2014, 30(8): 181–191. [Wen B, Liu Y Z, Xia M. Layout optimization of rural residential land based on theory of landscape security pattern[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(8): 181–191.]
- [34] 邹亚锋, 刘耀林, 孔雪松, 等. 加权Voronoi图在农村居民点布局优化中的应用研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2012, 37(5): 560–563. [Zou Y F, Liu Y L, Kong X S, et al. Optimization of rural residential land based on weighted–voronoi diagram[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2012, 37(5): 560–563.]
- [35] 刘继来, 刘彦随, 李裕瑞. 中国“三生空间”分类评价与时空格局分析[J]. 地理学报, 2017, 72(7): 1290–1304. [Liu J L, Liu Y S, Li Y R. Classification evaluation and spatial–temporal analysis of “production–living–ecological” spaces in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(7): 1290–1304.]
- [36] 李伟松, 李江凤, 姚尧, 等. 三生空间重构视角下的镇域农村居民点整治分区: 以湖北省荆门市沙洋县官当镇为例[J]. 地域研究与开发, 2016, 35(1): 139–143. [Li W S, Li J F, Yao Y, et al. Consolidation division of rural residential areas based on reconstruction of production, living and ecology space: A case study of Guandang Town of Shayang County in Jingzhou City of Hubei Province[J]. Areal Research and Development, 2016, 35(1): 139–143.]
- [37] 张云路, 李雄, 孙松林. 基于“三生”空间协调的乡村空间适宜性评价与优化: 以雄安新区北沙口乡为例[J]. 城市发展研究,

- 2019, 26(1): 116–124. [Zhang Y L, Li X, Sun S L. Evaluation and optimization of rural space suitability based on “the production, living and ecological space coordination”: Take Beishakou Township, the Xiongan new area as an example[J]. Urban Development Studies, 2019, 26(1): 116–124.]
- [38] 张鹏, 李世峰, 刘瑶瑶. 基于生态适宜性分析的平原煤矿县生态空间优化[J]. 农业工程学报, 2019, 35(19): 274–282. [Zhang P, Li S F, Liu Y Y. Ecological space optimization of plain coal mine county based on ecological suitability analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(19): 274–282.]
- [39] 赵宏波, 魏甲晨, 孙东琪, 等. 大城市内部“生产–生活–生态空间”多尺度耦合协调度: 以郑州市为例[J]. 资源科学, 2021, 43(5): 944–953. [Zhao H B, Wei J C, Sun D Q, et al. Multi-scale analysis on the coupling coordination degree of production–living–ecological spaces in cities: A case study of Zhengzhou City[J]. Resources Science, 2021, 43(5): 944–953.]
- [40] 时鹏, 余劲. 风险预期、市民化感知及农户认知对易地扶贫搬迁农户宅基地退出的影响[J]. 资源科学, 2021, 43(7): 1387–1402. [Shi P, Yu J. Impact of risk expectation, citizenization perception, and farmers’ cognition on the relocated rural households’ homestead withdrawal[J]. Resources Science, 2021, 43(7): 1387–1402.]
- [41] 范业婷, 金晓斌, 项晓敏, 等. 苏南地区耕地多功能评价与空间特征分析[J]. 资源科学, 2018, 40(5): 980–992. [Fan Y T, Jin X B, Xiang X M, et al. Evaluation and spatial characteristics of arable land multifunction in southern Jiangsu[J]. Resources Science, 2018, 40(5): 980–992.]
- [42] 杨子生, 杨诗琴, 杨人懿, 等. 基于利用视角的土地资源分类方法探讨[J]. 资源科学, 2021, 43(11): 2173–2191. [Yang Z S, Yang S Q, Yang R Y, et al. Classification method of land resources based on land use perspective[J]. Resources Science, 2021, 43(11): 2173–2191.]
- [43] 张玉臻, 陈阳, 王洁, 等. 黄河流域“三生”功能协调性测度及其差异性优化调控[J]. 农业工程学报, 2021, 37(12): 251–261. [Zhang Y Z, Chen Y, Wang J, et al. Coordinate degree and differential optimizing “production–living–ecological” function in the Yellow River Basin[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(12): 251–261.]
- [44] 唐秀美, 潘瑜春, 刘玉, 等. 基于四象限法的县域高标准基本农田建设布局与模式[J]. 农业工程学报, 2014, 30(13): 238–246. [Tang X M, Pan Y C, Liu Y, et al. Layout and mode partition of high–standard basic farmland construction at county level based on four–quadrant method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(13): 238–246.]
- [45] 李熙, 薛翔宇. 基于波士顿矩阵的夜光遥感电力消费估算方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2018, 43(12): 1994–2002. [Li X, Xue X Y. Estimation method of nighttime light images’ electric power consumption based on the Boston matrix[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2018, 43(12): 1994–2002.]
- [46] Soil S S. Soil Survey Manual[M]. Washington: United States Government Printing Office, 1951.
- [47] 姚岚, 吴次芳, 吕添贵, 等. 基于三角模型的喀斯特地区土地利用系统健康评价[J]. 农业工程学报, 2015, 31(14): 246–254. [Yao L, Wu C F, Lv T G, et al. Health assessment of land use system on karst region based on triangle model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(14): 246–254.]
- [48] 祝培甜, 赵中秋, 陈勇, 等. 基于三角模型的土地生态安全动态评价: 以西安市为例[J]. 水土保持研究, 2016, 23(1): 244–248. [Zhu P T, Zhao Z Q, Chen Y, et al. Dynamic assessment of land ecologic safety based on triangle model: A case study of Xi’an City [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(1): 244–248.]
- [49] Tian Y S, Kong X S, Liu Y L, et al. Restructuring rural settlements based on an analysis of inter–village social connections: A case in Hubei Province, Central China[J]. Habitat International, 2016, 57: 121–131.

# Spatial layout optimization of rural settlements based on production–living–ecological functions and coordination

ZOU Yafeng<sup>1,2</sup>, RAO Yufei<sup>1</sup>, LUO Yiting<sup>2</sup>, GU Xiangxiang<sup>2</sup>, LI Xiaru<sup>2</sup>, LV Changhe<sup>3</sup>

(1. College of Environment and Safety Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China; 2. College of Public Administration, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China; 3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** Revealing the level of production- living- ecological functions and the coordination among functions can effectively guide the differentiated development of rural areas. Based on the theory of production-living-ecological functions, this study took Kekeyiligeng Town in Wuchuan County, Inner Mongolia as an example, comprehensively evaluated the overall function value of rural settlements from the three dimensions of production function, living function, and ecological function, and applied the coupling and coordination degree model to quantitatively measure the coordination of production-living-ecological functions of rural settlements. With the help of the general matrix model and related research, the optimization types of rural settlements were identified. The layout optimization strategy of rural settlements was put forward with the help of the triangle model and social network analysis. The results show that: (1) The spatial distribution of the overall values of production- living- ecological functions in Kekeyiligeng Town shows a decreasing trend from south to north. The rural settlements with high, medium, and low overall function values account for 31.94%, 42.38%, and 25.68%, respectively. (2) The coordination of production-living-ecological functions of rural settlements is good, with basically coordinated rural settlements as the main type, which accounts for 60.12% of the total area of rural settlements. The spatial distribution shows the characteristics of decreasing from the center of the town to the periphery. (3) The rural settlements are divided into suburban integration type, characteristic protection type, agglomeration and upgrading type, maintaining status quo type, and relocation type. The number of agglomeration and upgrading settlements is 65, with an area of 180.26 hm<sup>2</sup>. These settlements are mainly located around the central town and near the traffic trunk lines. This study provides a reference for improving the coordinated development of production- living- ecological functions and promoting the differentiated layout optimization of rural settlements.

**Key words:** production-living-ecological functions; rural settlements; layout optimization; general matrix model; triangle model; social network analysis; Wuchuan County, Inner Mongolia