

基于 MCR 模型的村庄“三生空间”格局优化研究

郑 洋¹, 郝润梅¹, 吴晓光², 王 考¹

(1.内蒙古师范大学 地理科学学院, 呼和浩特 010022; 2.内蒙古自治区土地整治中心, 呼和浩特 010020)

摘 要:探究村庄“三生空间”布局的重构与优化,以空间理念研究村庄布局,对推动城乡一体化进程、加快乡村转型及实现乡村振兴具有重要意义。运用 GIS 软件功能和 MCR 模型分析等方法研究内蒙古和林格尔县迭力素村国土空间开发利用的适宜性分区及村域“三生空间”格局优化问题。结果表明:(1)迭力素村空间适宜性以圈层呈现,中心位置建设适宜性最佳,生态适宜性由中心向四周逐渐增强,周边生态适宜性较好。(2)根据 MCR 模型模拟结果将村域国土空间适宜性划分为 5 种类型,分别为:生态保护区、生态优化区、禁止开发区、限制开发区和适宜开发区。(3)基于功能重要性、生态敏感性原则,兼顾土地利用类型和适宜性评价结果,将生态保护区确定为生态空间;将生态优化区、禁止开发区和限制开发区确定为生产空间;将适宜开发区确定为生活空间。(4)结合村庄发展定位及内部要素,提出生态空间重功能、生产空间重规模、生活空间重品质的迭力素村“三生空间”格局优化途径。研究可为村庄规划的编制提供理论依据。

关键词:土地资源管理;“三生”空间;MCR 模型;格局优化;村庄规划

中图分类号:F301.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)05-0362-06

Research on the Spatial Pattern Optimization of Production-Living-Ecological Spaces in Village Based on MCR Model

ZHENG Yang¹, HAO Runmei¹, WU Xiaoguang², WANG Kao¹

(1.School of Geographic Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China; 2.Center of Regional Land Consolidation and Rehabilitation of Inner Mongolia Autonomous, Hohhot 010020, China)

Abstract: Exploring the reconstruction and optimization of the village layout in production-living-ecological spaces and studying the village layout with the spatial concept are of great significance to promote the process of urban-rural integration, accelerate rural transformation and realize rural revitalization. GIS software and MCR model analysis were used to study the suitability zoning of land space development and utilization and the pattern optimization of production-living-ecological spaces in Dielisu village, Helinger County, Inner Mongolia. The results show that: (1) the spatial suitability is presented by ring structure in Dielisu village, the construction suitability is the best in the central part, the ecological suitability gradually enhances from the center to the surrounding, and the surrounding ecological suitability is better; (2) the village spatial suitability is divided into 5 types such as ecological protection zone, ecological optimization zone, prohibited development zone, restricted development zone and appropriate development zone according to the simulation results of MCR model; (3) the ecological reserve is determined as ecological space; the ecological optimization zone, prohibited development zone and restricted development zone are designated as production space; the suitable development zone is identified as living space based on the principles of functional importance, ecological sensitivity and taking into account the evaluation results of land use types and suitability; (4) the optimization approach of production-living-ecological space patterns in Dielisu Village is proposed, which focuses on function in ecological space, scale in production space and quality in living space combining with the development orientation and internal elements of the village. This research can provide a theoretical basis for the compilation of village planning.

收稿日期:2020-09-05

修回日期:2020-10-14

资助项目:土地制度改革项目研究专题“和林格尔县村土地利用规划编制”CT-ZB00131-2015)

第一作者:郑洋(1994—),女,内蒙古乌兰察布人,硕士研究生,研究方向为土地资源开发利用与管理。E-mail:574047056@qq.com

通信作者:郝润梅(1963—)女,陕西府谷人,教授,主要从事土地资源开发利用与管理方向研究。E-mail:haorumei@126.com

Keywords: land resources management; production-living-ecological space; MCR model; structure optimization; village planning

集生活、生产、生态功能于一体的村庄,既是乡村人地关系的核心也是乡村发展的载体^[1],不同的地域风情、历史传承、风俗习惯及社会经济发展条件,形成了独具特色的村庄自然与人文风貌。我国西部多数传统的村庄空间布局是依自然环境特征长期形成,缺少规划引导和约束,规模小、布局分散,土地利用效率低,人居环境体验感差,生态环境提升空间大^[2]。随着城乡一体化进程的加快,促使传统村庄空间布局向多元化方向转变^[3]。近年来,众多学者对村庄空间格局优化进行了积极的探索,如从空间布局视角,研究村庄空间格局的影响因素及其相互关系^[4-7],从村庄类型划分视角,研究村庄内部特征的基础上提出优化建议等^[8-10]。随着“三生空间”理念的深入,村域“三生空间”的研究逐渐成为研究的热点,研究方法也更倾向于定量研究^[11-13],如多因子分析法^[4]、空间分析法^[7]、和实证研究法等^[8]。最小累积阻力模型(minimum Cumulative Resistance,简称 MCR 模型)能够反映各要素的空间转移趋势^[14],多应用于农村居民点布局适宜性分区^[15-16]、生态安全格局的构建及优化^[17-18]及土地适宜性评价等^[19]方面。根据空间适宜性评价划定村庄“三生空间”能够体现村域空间特征,提升“三生空间”协调发展度^[20]。总体来看,当前小尺度、量化研究村庄“三生空间”成果相对较少。

本文以内蒙古和林格尔县迭力素村为例,采用 GIS 软件空间分析功能和 MCR 模型分析方法确定村庄的空间适宜性分区,辅以实地调研与村民参与等方式最终优化确定村域“三生空间”,并结合内外影响因素提出优化建议,以期该村及类似村庄规划编制提供可借鉴的理论与实践依据。

1 研究区概况

迭力素村位于内蒙古呼和浩特市和林格尔县县境西南端,土地总面积 2 129.26 hm²。该村地处土默川平原东南边缘,地势平坦,村域自西北向东南逐渐由平原向丘陵过渡;属中温带半干旱大陆性季风气候。粮食种植是该村的主产业,主要以玉米、土豆及小杂粮等为主,但多风少雨的季节性气候特征对农业生产造成了一定影响。全村户籍人口 801 人,集中分布在 3 个居民点上,和托公路在村域西北部过境,为该村经济发展带来一定便利,村庄内部公共服务及基础设施建设较差,宅基地布局杂乱且闲置现象普遍,空闲地多。人居环境亟待改善,2018 年该村被呼和

浩特市列为“农村人居环境整治”首批试点村。

据 2018 年土地利用现状调查统计结果,农用地占绝对优势,以耕地和林地为主,其中耕地占土地总面积的 48.17%,耕地质量状况良好;林地和草地分布在村域东南丘陵山地上;建设用地基本以农村居民点为主;未利用地相对较少。

2 数据来源与数据处理

2.1 数据来源

本文采用“高分二号”遥感影像解译结果和地理空间数据云 30 m×30 m 的 DEM 数据综合获得研究区土地利用现状数据,采用实地调查和乡、村两级年度统计上报数据获得研究区社会经济相关数据。

2.2 研究方法与数据处理

2.2.1 最小累积阻力模型 最小累积阻力模型最初于 1992 年由荷兰生态学家 Knaapen 所提出,最小累积阻力模型其本质在于由源点抵达目标所在地所需克服的阻力的最小值,体现的是一种可达性^[21]。国内学者修正后多用于农村居民点布局适宜性^[15-16]及生态安全格局构建等^[17-18]研究中,计算公式为:

$$MCR = f \min_{j=n}^{i=m} \sum D_{ij} \times R_i \quad (1)$$

式中:MCR 为最小累积阻力值; D_{ij} 表示物种从源地 j 到土地单元 i 的空间距离; R_i 表示景观单元 i 对某种运动的阻力系数; f 表示的是最小累积阻力与生态过程的正相关关系; $\sum_{j=n}^{i=m}$ 表示源 i 与单元 i 之间穿越所有单元的距离和阻力的累积;min 表示单元 i 对于不同源均取累积阻力的最小值。

本文运用 ArcGIS 10.4 提取迭力素生活和生态源地,借助缓冲区分析(Buffer)、栅格计算器(Map Algebra)及重分类(Reclass)等工具得出最小累积阻力方面。通过计算建设扩张最小累积阻力与生态扩张最小累积阻力的差值,确定阈值划分空间适宜区,进而优化“三生空间”布局^[22]。

$$MCR_{\text{差值}} = MCR_{\text{生态}} - MCR_{\text{建设}} \quad (2)$$

式中: $MCR_{\text{差值}}$ 为生态扩张最小累积阻力与建设扩张最小累积阻力的差值; $MCR_{\text{生态}}$ 为生态扩张最小累积阻力值; $MCR_{\text{建设}}$ 为建设扩张最小累积阻力值。

当 $MCR_{\text{差值}} < 0$, 表示生态用地较建设用地更易扩张,该范围内划为生态空间适宜性较好;当 $MCR_{\text{差值}} > 0$, 表示建设用地较生态用地更易扩张,该范围内划为

生活空间适宜性较好;当 $MCR_{差值}=0$ 时,表示建设与生态适宜性相当,即生态与建设的过渡区。

2.2.2 “源”的提取 MCR 模型中的“源”具有内部均一性和外部扩张能力相似性、要素吸引能力突出性、相对目标重要性等特征,是模型应用的关键^[15,23]。根据模型对“源”选取的要求和研究区实际情况,本文选择 3 个居民点(迭力素、塔克和曹老八窑)作为生活扩张“源”,共计 3 块图斑,总面积为 70.51 hm²,占迭力素村土地面积的 3.28%。其中,迭力素村作为村委会所在地,是人口主要聚集地和活动中心,对各要素集聚较其余居民点而言有着较强的吸引力。选取林地、水域作为生态扩张“源”,共计 46 块图斑,总面积为 296.53 hm²,占迭力素村土地面积的 12.55%。两类“源”分布见图 1。

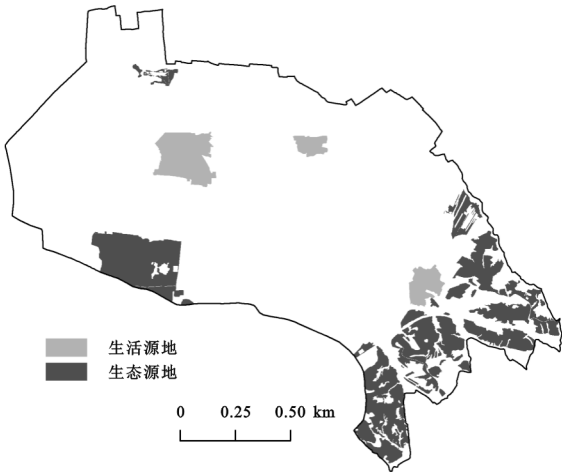


图 1 迭力素村生活源地与生态源地分布

2.2.3 阻力面的构建 从生态效益角度分析,生活用地与生态用地之间存在着竞争关系^[21],这种竞争关系呈现相互抑制、此消彼长的态势。不同要素对生活与生态用地扩张阻力不同,构建同一阻力评价体系

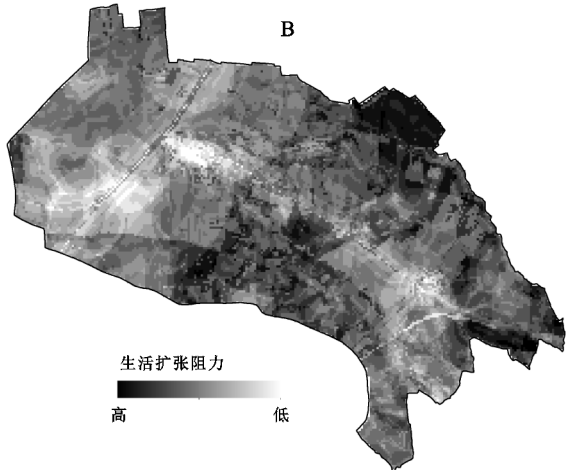
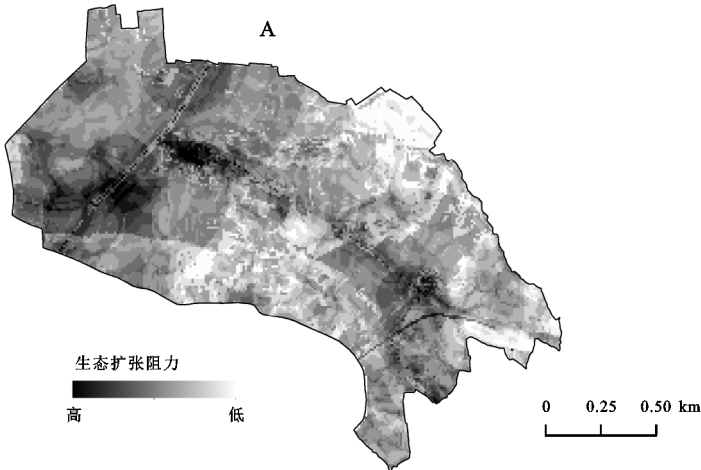


图 2 迭力素村生活与生态用地扩张最小累积阻力面空间布局

2.2.4 最小累积阻力差值计算 根据生活与生态最小累积阻力表面值的计算结果,参照有关学者对空间分区的研

并对两个扩张过程赋予相反分值,可以强化生活与生态用地扩张阻力间的衔接性。本研究从自然环境、区位条件以及土地资源类型等方面选取 4 个阻力因子,参照相关资料文献^[22-23]确定各阻力因子的分级及分值,并采用层次分析法确定权重,详见表 1。

表 1 迭力素村生活扩张阻力因子和生态扩张阻力因子及权重

阻力因子	阻力等级	生活扩张生态扩张		权重
		阻力值	阻力值	
坡度	$\leq 2^{\circ}$	1	4	0.1951
	$2^{\circ} \sim 6^{\circ}$	2	3	
	$6^{\circ} \sim 15^{\circ}$	3	2	
	$\geq 15^{\circ}$	4	1	
距公路距离	≤ 100 m	1	4	0.1684
	100~200 m	2	3	
	200~500 m	3	2	
	≥ 500 m	4	1	
距产业用地距离	≤ 500 m	1	4	0.1236
	500~1000 m	2	3	
	1000~1500 m	3	2	
	≥ 1500 m	4	1	
距基本农田距离	≤ 100 m	4	1	0.2545
	100~200 m	3	2	
	200~500 m	2	3	
	≥ 500 m	1	4	
土地利用类型	林地、水域	4	1	0.2583
	草地	3	2	
	耕地、其他用地	2	3	
	农村居民点	1	4	

运用 ArcGIS 中栅格计算器(Raster Calculator)获得 1 m×1 m 大小栅格单元的生活用地综合扩张阻力面和生态用地综合扩张阻力面,通过成本距离(Cost Rssster)模块得出生活与生态的最小累积阻力面,见图 2。

究成果,以生态、生活扩张的最小来累积阻力差值作为空间分区依据^[22,24]。运用 ArcGIS 中数学分析(Map Alge-

bra)模块计算得出两者的差值,即 $-5\,889.85\leqslant$ 生态与生活最小累积阻力面差值 $\leqslant 4\,180.56$,其中, $MCR_{\text{差值}}\leqslant 0$ 表明生态适应性较强, $MCR_{\text{差值}}\geqslant 0$ 表明建设适宜程度好。

3 结果与分析

3.1 基于 MCR 模型的“三生空间”适宜性评价

3.1.1 最小累积阻力面差值分区 以最小累积阻力面差值计算结果为依据,参照相关文献空间适宜性分区情况^[22,24]及迭力素村庄发展定位,将空间适宜性分区划分为 5 类,分别为生态保护区、生态优化区、禁止开发区、限制开发区和适宜开发区。其中,生态保护区为生态源地集聚区,建设阻力最大,村域生态最佳区;生态优化区中建设阻力值较高,生态服务价值潜力大,能够为生态环境优化提供空间;禁止开发区中生态与建设扩张阻力差值区间均为负值,建设适宜性较差,应避免开展建设活动;限制开发区中建设阻力值显著降低,可适当开展村庄建设,但为控制村庄建设用地规模无序扩张,应尽量减少占用;适宜开发区中建设阻力最小,是优化居民点用地的核心区。各分区差值及面积统计见表 2。

表 2 迭力素村适宜区分区结果

类型	阻力差值区间	面积/hm ²	占比/%
生态保护区	$[-5889.85\sim-3085.88]$	251.91	11.83
生态优化区	$(-3085.88\sim-1585.17]$	573.28	26.93
禁止开发区	$(-1585.17\sim-163.44]$	578.54	27.17
限制开发区	$(-163.44\sim1416.56]$	434.08	20.39
适宜开发区	$(1416.56\sim4180.73]$	291.24	13.68

3.1.2 “三生空间”适宜性分区结果与分析 统计各适宜性分区面积显示,生态保护区面积仅占 11.83%,生态最适宜区偏小,村域生态稳定性易受外界环境影响。生态优化区与禁止开发区面积占比分别为 26.93%和 27.17%,共计 54.10%,总体规模偏大。其中,生态优化区所处最小累积阻力差值区间为负值,说明该范围内生态适宜性高,生态质量提升空间大。禁止开发区面积占比最大且最小累积阻力差值为负值,生态适宜性稍好。限制开发区占比为 20.39%,最小累计阻力差值区间涵盖正、负值,表明该区域内既适宜建设开发又适宜生态保护,但参照生态优先原则,应开展对生态环境有涵养作用的生产作业活动;适宜开发区面积占比为 13.68%,规模偏小且阻力差值区间均为正值,建设适宜性强,是村民生活的主要聚集地。

从空间分布上看,详见图 3,空间适宜性分区表现为圈层分布,生态适宜性由四周向中心逐步减弱。生态保护区分布于村域四周,规模小、分散式分布,南

部区域整体多于北部;生态优化区毗邻生态保护区,空间分布不均匀,倾向于东南侧;禁止开发区呈“闭合”布局,南侧区域稍高于北侧;限制开发区在东南侧有延伸,且有居民点分布于其中;适宜开发区位于迭力素村中心,含两个农村居民点,建设适宜性强。

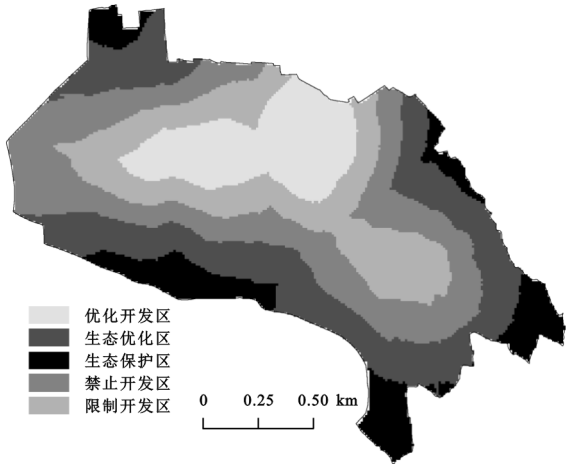


图 3 迭力素村“三生空间”适宜性评价结果

3.2 “三生空间”格局优化

按照空间适宜性、功能主导性重要性及生态敏感性原则,根据 MCR 模型模拟结果,结合村土地利用现状及村庄发展定位,对迭力素“三生空间”格局进行优化,优化结果见图 4,“三生空间”土地利用现状详见表 3。

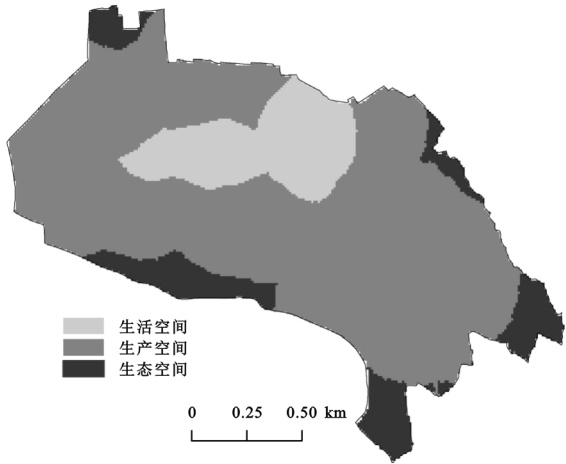


图 4 迭力素村“三生空间”格局优化结果

将生态保护区确定为生态空间,由于生态保护区中对生态涵养作用较强的林地分布范围广、数量大,约占 57.51%,为迭力素村生态最适宜区,因此,生态保护区直接确定为生态空间。

将生态优化区、限制开发区及禁止开发区确定为生产空间。生态优化区是功能交叉区域,生态优化区中林地与耕地数量上占比相近,兼具生态与生产双重功能,同时,迭力素村主要是以农业生产和农业经济为主,因此,生态优化区宜划入生产空间;禁止开发区中耕地数量优势明显占 56.89%,且拥有耕地数量为

各适宜性分区中数量最多,生产功能表现突出,定为生产空间较为合理;限制开发区中虽有农村居民点分布其中,但耕地数量比重大为 70.90%,建设活动开展受限,生产功能为其主导,因此宜划入生产空间。

表 3 迭力素村“三生空间”土地利用现状面积及占比

土地利用 类型	生态空间		生产空间						生活空间	
	生态保护区		生态优化区		禁止开发区		限制开发区		适宜开发区	
	面积/hm ²	占比/%	面积/hm ²	占比/%	面积/hm ²	占比/%	面积/hm ²	占比/%	面积/hm ²	占比/%
耕地	56.62	22.48	182.14	31.77	329.14	56.89	307.77	70.90	149.91	51.47
林地	144.87	57.51	270.59	47.20	166.97	28.86	55.40	12.76	30.54	10.49
草地	3.64	1.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
建设用地	2.87	1.14	11.47	2.00	17.59	3.04	25.63	5.90	59.38	20.39
水域	0.68	0.27	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
其他用地	43.23	17.16	109.03	19.02	64.84	11.21	45.28	10.43	51.41	17.65
合计	251.91	100.00	573.28	100.00	578.54	100.00	434.08	100.00	291.24	100.00

将适宜开发区确定为生活空间。适宜开发区中农村居民点集中分布,各配套设施建设稍良好,是村民生活主要集聚地。且建设用地面积大,建设适宜性强,因此,宜划入生活空间。

3.3 “三生空间”优化路径

迭力素村是典型的传统农业型村庄,远离中心城区,村庄转型动力不足,发展缺少契机,结合迭力素村自然、社会、经济、区位等条件,将“以现代化农业为主,打造集生产生活生态于一体的田园村庄”为其村庄发展定位,空间布局趋于“生态空间功能化,生产空间规模化,生活空间品质化”,实现“生产高效、生活舒适、生态宜居”的目标,推动乡村振兴目标的实现。

3.3.1 生态空间重功能 迭力素村生态适宜区以“散、小”为特征,为有效保护现有生态空间应重视生态用地的保护。依照生态保护区土地利用现状特征分析,林地空间布局上或与耕地相毗邻,或散乱分布于耕地中,易受到外界因素的影响。因此,为防止现有林地规模的不减少,应强化村委会监管职能,保障现有生态性用地规模的不下降,并积极开展宣传教育活动,强化村民对生态重要性的理解,为生态空间的保护奠定基础。

以村域为研究对象时,各空间功能交叉性及多样性更加凸显。适当扩张村域生态用地规模,提高生态功能空间占比,一定程度上有助于村域生态环境的改善。具体做法为:生态优化区中可加强集中成片林的保护;禁止开发区及限制开发区中可增设农田防护林,稳固农田生态系统;适宜开发区中可于房前屋后布设绿植,于道路两侧增设林带,改善村民生活环境。

3.3.2 生产空间重规模 经实地调查结果显示,迭力素村人口结构中老龄人口(男性>60岁,女性>55岁)占比高达 34.98%,而主要劳动力(18~60岁男性)占比仅为 31.88%,表明该村人口老龄化现象严重

且劳动力不足,对农业发展造成限制,耕地未能得到充分利用。因此,生产空间的优化应以整理为主,开展“一个统一、两个差别”的优化路径。

“一个统一”指目标统一,即耕地质量及产能的提升,可依托于政府扶持,开展土地综合整治工程,打破田块空间限制,增加有效耕地面积;布设完善的渠道设施,为灌溉提供便利;修建网格化的田间道路,为机械化作业开展提供条件,整体推动向农业现代化村庄转型。“两个差异”指生态优化区内着重注意现有生态用地规模的不减少,避免以生态用地反补耕地现象的发生;禁止开发区与限制开发区中应以增加耕地产能作为主要目标,以尽量不占或少占生态性用地为管控标准,最大限度的提升耕地利用效率。

3.3.3 生活空间重品质 根据迭力素村空间适宜性分区结果,迭力素和曹老八窑分布于适宜开发区,建设适宜性较好,而塔克位于限制开发区,建设适宜性稍差。因此,迭力素村生活空间优化方向以“归并和挖潜”为主。首先,为提升塔克村民生活质量,应开展整村搬迁工程,将塔克村、迭力素和曹老八窑进行整合,一方面,较大规模的农村居民点有利于各项资源的集中,更适宜于完善的公共服务设施的建设,有利用提升村民生活便利程度。另一方面,单个居民能够避免各项配套基础设施的重复建设,加强资源的高效利用。其次,归并后的农村居民点应以人居环境整治为主,优化宅基地空间布局,合理新修村内道路、扩充绿化用地占比;充分利用地上地下空间,地上加强输电工程建设,地下完善给排水工程建设;充分参考村民意见,加强公共服务设施建设,完善村内各项配套设施。

4 结 论

(1) MCR 模型模拟结果显示,迭力素行政村空间适宜性呈明显的圈层分布,中心圈建设适宜性最佳,生

态适宜性自内向外逐步增强,外层生态适宜性为村域内最佳,空间整体适宜状况符合迭力素村实际情况。

(2) 空间适宜性分区结果显示,迭力素村生态保护区生态状况最佳但规模最小且分布零散;生态优化区与禁止开发区生态适宜性稍好、分布广泛且集中连片;限制开发区介于生态与建设适宜性临界点两侧,整体生态阻力稍高于建设阻力;适宜开发区位于村域中心,建设适宜性强,是村民居住集聚区。

(3) 根据适宜性分区结果及其土地利用现状情况分析,生态保护区中林地为主,生态功能显著,宜划归为生态空间。生态优化区、禁止开发区及限制开发区分布范围大且耕地数量突出、生产功能明显,宜划归为生产空间。适宜开发区内含村委会所在地,各公共服务设施集中且和托路在其西侧贯穿、对外沟通便利,宜划归为生活空间。

(4) 统筹村域内外环境条件,分析现有“三生空间”特征,提出生态空间功能化,强调现有生态用地保护的同时适当提升生态用地整体比重;生产空间规模化,以整理为主线,改良生产环境,推进农业现代化进程;生活空间品质化,强化村庄综合整治,改善村民人居环境,提升村民生活幸福感。

参考文献:

- [1] 杨绪红,吴晓莉,范渊,等.规划引导下利津县村庄分类与整治策略[J].农业机械学报,2020,51(5):232-241,323.
- [2] 唐伟伟.县域村庄用地时空演变特征、模式及影响因素分析[D].郑州:河南大学,2019.
- [3] 贾铠阳,乔伟峰,王亚华,等.乡村振兴背景下村域尺度国土空间规划:认知、职能与构建[J].中国土地科学,2019,33(8):16-23.
- [4] 黄道涵,温锋华,陈慧霞.基于多因子分析的村庄布局优化路径研究[J].中国人口·资源与环境,2016,26(S1):464-468.
- [5] 倪永华,华元春,徐忠国.生产半径对山区村庄布局调整影响的实证分析:以丽水市莲都区利山一东村村为例[J].中国土地科学,2013,27(10):51-56.
- [6] 乐容潮,雷国平,殷嘉迪,等.农村居民点空间分布及影响因素分析:以庆安县为例[J].中国农业大学学报,2017,22(11):173-180.
- [7] 郑先迪,郑华伟,刘友兆.基于 GIS 的农村居民点空间分布及影响因素分析:以盱眙县为例[J].土壤通报,2019,50(3):550-554.
- [8] 杨春德,翟荣新,朱晓伟,等.田柳镇三村村庄布局优化实践[J].中国土地科学,2011,25(12):55-58.
- [9] 李高峰,郝润梅,吴晓光.乡村振兴战略背景下的村庄规划编制类型划分[J].中国国土资源经济,2020,33(8):36-41.
- [10] 石培基,李得发,李巍,等.城乡一体化导向的村庄整治与布局规划[J].中国人口·资源与环境,2013,23(4):147-152.
- [11] 吴清,冯嘉晓,陈刚,等.山岳型乡村旅游地“三生”空间演变及优化:德庆金林水乡的案例实证[J].生态学报,2020,40(16):5560-5570.
- [12] 刘鹏,陈荣蓉,杨朝现,等.基于“三生空间”协调的农村居民点布局优化研究[J].水土保持研究,2017,24(2):283-288.
- [13] 梁肇宏,范建红,雷汝林.基于空间生产的乡村“三生空间”演变及重构策略研究:以顺德杏坛北七乡为例[J].现代城市研究,2020,35(7):17-24.
- [14] 尹发能,王学雷.基于最小累积阻力模型的四湖流域景观生态规划研究[J].华中农业大学学报,2010,29(2):231-235.
- [15] 张颖,徐辉.基于 MCR 模型的农村居民点布局适宜性分区及优化模式研究:以南京市六合区金牛湖街道为例[J].长江流域资源与环境,2014,23(11):1485-1492.
- [16] 肖展春,危小建,文莹,等.基于 MCR 和多因素评价的辽宁省农村居民点调控分区[J].地域研究与开发,2018,37(2):121-127.
- [17] 潘竟虎,刘晓.基于空间主成分和最小累积阻力模型的内陆河景观生态安全评价与格局优化:以张掖市甘州区为例[J].应用生态学报,2015,26(10):3126-3136.
- [18] 田雅楠,张梦晗,许荡飞,等.基于“源—汇”理论的生态型市域景观生态安全格局构建[J].生态学报,2019,39(7):2311-2321.
- [19] 付野,艾东,王数,方一舒.基于反规划和最小累积阻力模型的土地生态适宜性评价:以昆明市为例[J].中国农业大学学报,2019,24(12):136-144.
- [20] 马晓冬,李鑫,胡睿,等.基于乡村多功能评价的城市边缘区“三生”空间划分研究[J].地理科学进展,2019,38(9):1382-1392.
- [21] 魏伟.基于 CLUE-S 和 MCR 模型的石羊河流域土地利用空间优化配置研究[D].兰州:兰州大学,2018.168.
- [22] 刘媛.基于 MCR 模型的志丹县土地利用生态安全格局构建[D].西安:长安大学,2017.
- [23] 李全宝.基于 MCR 与 Markov-CA 模型的城镇增长边界划定研究:以江苏省新沂市为例[J].中国国土资源经济,2019(1):83-88.
- [24] 刘孝富,舒俭民,张林波.最小累积阻力模型在城市土地生态适宜性评价中的应用:以厦门为例[J].生态学报,2010,30(2):421-428.