

基于生态适宜性的唐县城乡居民点用地优化研究

彭雪丽, 徐磊, 徐维艺, 阚瑶川, 张长春

(河北农业大学 国土资源学院, 河北 保定 071000)

摘要:为促进城乡建设与生态保护协调发展,实现唐县城乡居民点用地合理优化,利用最小累积阻力模型获取生态安全保护分区,运用 GeoSOS-FLUS 模型预测城乡居民点用地变化,分析未来城乡居民点演变与生态安全格局的互动关系,并从生态保护与建设角度探寻县域城乡居民点生态适宜性空间特征,结合 ACO 模型进行了唐县城乡居民点空间布局优化。结果表明:(1)唐县整体生态安全值偏低,呈西北低、东南高的空间分异特征;(2)在自然发展情景下,2027 年唐县城乡居民点用地总面积增加 6.67 km²,城乡居民点空间扩张集中在低生态安全保护区和较低生态安全保护区,未来将对唐县生态安全逐渐产生威胁;(3)城乡居民点生态适宜性分区可划分为高度适宜区、较适宜区、中等适宜区、较不适宜区和不适宜区,分别占唐县总面积的 2.83%,15.39%,17.02%,64.76%;优化后,城乡居民点呈现出向适宜性较高区域迁移的趋势,大部分呈规模集聚分布,城乡居民点布局总体上趋于紧凑。从生态保护与建设角度优化城乡居民点空间布局,更符合生态文明建设和乡村振兴战略背景下城乡居民点的发展要求,可为未来唐县城乡居民点的规划发展提供科学参考。

关键词:城乡居民点生态适宜性;空间布局优化;GeoSOS-FLUS 模型;ACO 模型;唐县

中图分类号:F301.23

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)02-0398-08

Research on Optimization of Urban-Rural Residential Land in Tang County Based on Ecological Suitability

PENG Xueli, XU Lei, XU Weiyl, KAN Yaochuan, ZHANG Changchun

(College of Land and Resources, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)

Abstract: In order to promote the coordinated development of urban and rural construction and ecological protection, and realize the rational optimization of urban-rural residential land use in Tang County, we used the least cumulative resistance model to obtain ecological security protection zones, and used the GeoSOS-FLUS model to predict the urban-rural residential land use change, analyzed the interactive relationship between the evolution of urban-rural residential land and the pattern of ecological security in the future, and explored the spatial characteristics of ecological suitability of urban-rural residential land in the county from the perspective of ecological protection and construction, optimized the spatial layout of urban-rural residential land in Tang County by combining the ACO model. The results show that: (1) the overall ecological security value of Tang County is on the low point, showing the characteristics of spatial differentiation between low in the northwest and high in the southeast; (2) in the natural development scenario, the total area of urban-rural residential land in Tang County will increase by 6.67 km² by 2027, and the spatial expansion of urban-rural residential land is concentrated in low ecological security protection areas and lower ecological security protection areas, which will gradually threaten the ecological security of Tang County in the future; (3) the ecological suitability zoning of urban-rural residential land can be divided into highly suitable areas, more suitable areas, medium suitable areas, less suitable areas and unsuitable areas, accounting for 2.83%, 15.39%, 17.02% and 64.76% of the total area of Tang County, respectively; after optimization, the urban-rural resi-

收稿日期:2021-02-10

修回日期:2021-03-11

资助项目:河北省社会科学资助项目“乡村振兴背景下京津冀城市群乡村地域空间重构——功能转型、驱动机制及优化路径”(HB19YJ021)

第一作者:彭雪丽(1995—),女,山东莘县人,硕士研究生,研究方向为土地资源规划与利用。E-mail:1723050260@qq.com

通信作者:张长春(1970—),男,河北高碑店人,硕士,教授,主要从事土地制度与政策研究。E-mail:changchun_zhang@hebau.edu.cn

dential land will show a tendency to migrate to areas with higher suitability, most of the urban-rural residential land will show large-scale agglomeration distribution, and the overall layout of urban-rural residential land will tend to be compact. Optimizing the spatial layout of urban-rural residential land from the perspective of ecological protection and construction is more in line with the development requirements of urban-rural residential land under the background of ecological civilization construction and rural revitalization strategies, and can provide a scientific reference for the future planning and development of urban-rural residential land in Tang County.

Keywords: ecological suitability of urban-rural residential land; spatial layout optimization; GeoSOS-FLUS model; ACO model; Tang County

随着十九大“乡村振兴”战略的提出,乡村地域面临着新的发展机遇和挑战,而探讨乡村地域发展规律和居民点布局优化是实现乡村发展转型的前提与基础^[1]。近年来,随着我国城镇化进程的加快,城乡发展建设与生态环境保护之间的矛盾日益突出,同时城乡居民点空间布局出现扩张无序、布局“空心化”等问题,如何把握城乡居民点发展规律,合理优化城乡居民点布局,保护生态环境不受破坏是居民点发展研究的关键问题^[2]。因此,在城乡一体化进程加快背景下,迫切需要合理预测未来城乡居民点演变趋势,协调城乡建设与生态保护间的矛盾,从而实现城乡居民点空间布局优化。

近年来,我国关于居民点空间布局的研究较多,主要包括居民点空间分布特征^[3]、居民点演变及其影响因素^[4-5]、居民点布局优化与重构等^[6-7]方面;研究对象涵盖山区^[8]、丘陵^[9]、平原^[10]和盆地等^[11]多种地形。在居民点布局优化与重构方面,大部分学者通过构建评价指标体系,评价居民点布局适宜性^[12]、发展潜力^[13]、综合影响力等^[14],划分居民点的发展类型,并提出对应的优化路径。部分学者从居民点间的空间相互影响角度出发,利用引力模型测算居民点间的相互作用值,结合场强模型、结节性指数评价^[15]、潜能模型^[16]、复杂网络等^[17]方法,对居民点进行类型划分和布局优化;还有学者通过加权 Voronoi 图^[13,18],或结合扩展断裂点模型^[14]划分中心居民点的影响范围,确定需迁移居民点的集聚方向,并提出重构优化的建议。除此之外,也有一些学者将 GIS 空间分析方法与蚁群算法^[19]、遗传算法等^[20]数学模型相结合,从不同角度对居民点进行分析,进而提出居民点整治和优化方案。综上所述,已有研究大多是以农村居民点为研究对象,根据居民点的不同特点划分为不同的优化类型,而以城乡居民点用地为研究对象,从协调城乡居民点发展与生态环境保护的角度进行城乡居民点布局优化的研究较少;同时,居民点空间特征研究大多都是静态分析,缺乏时空演变特征的

动态分析,未来居民点演变趋势预测和布局优化的研究也较少。

唐县隶属河北省保定市,地形以山地丘陵为主,主要用地类型为草地,整体用地生态用途显著,在城镇化和工业化加速发展背景下,城乡发展建设与生态环境保护之间的矛盾愈加凸显。因此,科学预测未来城乡居民点演变趋势,从生态保护与建设角度优化唐县城乡居民点空间布局十分必要。本研究以河北省唐县为研究区,利用最小累积阻力模型获取生态安全保护分区,运用 GeoSOS-FLUS 模型进行城乡居民点用地变化预测,分析自然发展情景下城乡居民点演变对生态安全的影响;然后综合考虑城乡居民点自然演变规律和生态保护限制两方面因素,探寻城乡居民点生态适宜性空间特征,并结合 ACO 模型进行唐县城乡居民点空间布局优化,以期对未来唐县城乡居民点的规划发展提供科学参考,实现城乡建设与生态保护协调发展。

1 研究区概况及数据

1.1 研究区概况

唐县隶属河北省保定市($38^{\circ}37'—39^{\circ}09'N$, $114^{\circ}27'—115^{\circ}03'E$),位于河北省中部,全县土地总面积为 $1\,414.31\text{ km}^2$,东与顺平县、望都县相邻,南与定州市毗邻,西接曲阳县和阜平县,北靠涞源县。该县位于太行山北段东麓地区,地形以山地丘陵为主,地势西北高、东南低;河流众多,水源丰富。该县气候属暖温带大陆性季风气候,四季分明,气候温和,年均降水量为 508.10 mm 。截至 2019 年底,唐县下辖 9 个镇和 11 个乡 345 个行政村,总人口 60.50 万人。

1.2 数据来源及预处理

本研究数据主要包括遥感影像数据、DEM 数据、土地利用数据等。其中,遥感影像数据主要包括 2000 年 Landsat 7 ETM 影像、2009 年 Landsat 5 TM 影像和 2018 年 Landsat 8 OLI 影像,空间分辨率为 30 m ,影像轨道编号为 124/33,来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。DEM 数据空间分辨率为 30 m ,来源于地

理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。土地利用数据来源于唐县 2017 年土地利用现状变更调查数据库。社会经济数据主要包括 2000 年、2010 年、2015 年的人口空间化数据和 GDP 空间化数据,来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>)^[21-22]。规划数据来源于《唐县土地利用总体规划(2010—2020 年)》修改方案。

本研究数据预处理主要包括:(1) 结合研究区实际和研究需要,本文将土地利用类型划分为城乡居民点用地、耕地、林地、草地、交通运输用地、水域和未利用地。利用 ENVI 5.1 软件对遥感影像进行辐射定标、大气校正、图像融合等预处理,在 Google Earth 高清影像参考下,采用监督分类,并结合目视解译,解译出唐县 3 期(2000 年、2009 年、2018 年)土地利用现状图,总体分类精度均在 0.9 以上,符合研究要求。(2) 利用 ENVI 5.1 软件,在对唐县 2018 年 Landsat 8 OLI 遥感影像进行预处理的基础上,借助 Band Math 工具计算得到植被覆盖度。(3) 从唐县 2017 年土地利用现状变更调查数据库中提取水域、乡镇、公路和铁路图斑,运用 ArcGIS 10.2 的空间分析模块得到距水域距离、距乡镇距离、距公路距离和距铁路距离。(4) 利用 DEM 数据,通过 ArcGIS 10.2 的 Slope 工具提取得到坡度。(5) 为方便处理数据,本文利用 ArcGIS 10.2 将 2000 年、2010 年、2015 年的人口空间化数据和 GDP 空间化数据重采样至 30 m 空间分辨率。

2 研究方法

2.1 最小累积阻力模型

最小累积阻力模型是指从“源”出发到目的地经过不同类型景观所克服的最小阻力或耗费的最小费用^[23]。其公式如下:

$$MCR=f\min\sum_{j=n}^{i=m}(D_{ij}\times R_i) \tag{1}$$

式中:MCR 为从源扩散到空间某一点的最小累积阻力值; f 为一个未知的正函数,反映空间任一点的最小阻力与其到所有源的距离和阻力面特征的正相关关系; D_{ij} 为某一质点从源 j 到某一景观单元 i 的空间距离; R_i 为景观单元 i 对该质点运动的阻力,阻力值根据景观 i 对质点的阻碍程度确定。在 MCR 模型中,源的选择、阻力面的构建和阻力值的确定是关键。

由于唐县大部分为低山丘陵区,该区域主要用地类型为林地和草地,且河流众多,水资源丰富。因此,本文根据唐县实际情况,并参考相关文献^[24],选择林地(面积大于 2 km²)及水域(水库水面及部分河流)作为生态源地。在此基础上,通过参考已有研究^[24-25],选取土地利用类型、植被覆盖度、距水域距离、距乡镇距离、距公路距离、高程和坡度作为阻力因子,并通过专家打分法^[2],确定各个阻力因子阻力值及权重(表 1)。土地利用类型选取前文解译获得的唐县 2018 年土地利用现状数据。

表 1 阻力因子评价体系

阻力值	土地利用类型	植被覆盖度	距水域距离/m	距乡镇距离/m	距公路距离/m	高程/m	坡度/(°)
1	水域、林地	0.81~1.00	<500	>8000	>8000	>800	>35
2	草地	0.63~0.81	500~1000	6000~8000	6000~8000	600~800	25~35
3	耕地	0.42~0.63	1000~1500	4000~6000	4000~6000	400~600	15~25
4	未利用地	0.24~0.42	1500~2000	2000~4000	2000~4000	200~400	5~15
5	城乡居民点用地、交通运输用地	0~0.24	>2000	<2000	<2000	<200	<5
权重	0.3	0.2	0.06	0.08	0.06	0.15	0.15

2.2 GeoSOS-FLUS 模型

GeoSOS-FLUS 模型是由黎夏团队开发的土地利用变化情景模拟软件,该模型能较好地应用于地理空间模拟和优化,并为决策者提供参考依据^[26]。该模型的原理源自元胞自动机(CA),并在传统元胞自动机的基础上做了较大改进。首先,该模型采用神经网络算法(ANN)从一期土地利用数据与各类驱动力因子中,获取研究区各类土地利用类型的分布适宜性概率;然后通过耦合系统动力学模型(SD)和元胞自动机(CA)模型来提高模型的适用性,其中,在元胞自动机(CA)模型中引入一种自适应惯性竞争机制,这种机制能较好地处理多种土地利用类型在各类驱动力因子共同作用下发生相互转化时的复杂性和不确定

性,因此,GeoSOS-FLUS 模型具有较高的模拟精度^[27],能更灵活准确地模拟未来土地利用变化。

通过分析土地利用变化情况,基于数据的可获取性、相关性和可量化性等原则,本文选取自然区位因子(高程、坡度、距公路距离、距铁路距离、距乡镇距离、距水域距离)和社会经济因子(人口密度、栅格化 GDP)作为驱动力因子,运用 GeoSoS-FLUS 模型,对唐县城乡居民点用地变化进行预测。

2.3 蚁群优化算法(ACO)

蚁群算法是一种仿生优化算法,该模型的特点是能够进行智能搜索、全局优化,在解决多目标优化问题方面具有很大优势,非常适合应用于土地资源空间优化配置中^[28]。ACO 的原理是通过模拟蚂蚁群体

觅食过程,即搜索食物源与巢穴间的最短路径而进行优化求解,构建 ACO 模型的关键是建立蚁群寻优的信息素机制^[29]。本研究利用 ACO 模型进行城乡居民点空间布局优化,蚁群移动概率函数定义如下^[30]:

$$P_{ij}^k(t)=\begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)^\alpha]\cdot[\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum[\tau_x(t)^\alpha]\cdot[\eta_x(t)]^\beta} & x\in\text{允许配置}k\text{类用地} \\ 0 & x\in\text{不允许配置}k\text{类用地} \end{cases}$$

(2)

式中: $P_{ij}^k(t)$ 为第 t 次迭代时蚂蚁选择元胞 (i,j) 作为第 k 类用地类型的概率,这个概率受群体正反馈机制 τ_{ij} 和自身启发式值 η_{ij} 的影响,其中 τ_{ij} 函数和 η_{ij} 函数在 GeoSOS 软件中直接集成。常数 α 和 β 为权重,一般根据信息素强度和启发式值的相对重要程度决定。 $P_{ij}^k(t)=0$ 用来排除某些如自然保护区、基本农田等空间位置上的元胞,即用地类型转换受限制的情景。

蚁群优化算法的目标函数包括两个方面,分别为空间紧凑性和土地利用适宜性。考虑研究区实际情况,本研究将空间紧凑性和土地利用适宜性的权重均设为 0.5,空间优化的总目标函数为:

$$F=0.5f(c)+0.5f(s)$$

(3)

式中: $f(c)$ 为空间紧凑性函数; $f(s)$ 为土地利用适宜性函数。

以上优化过程在 GeoSOS 软件平台中完成,通过反复试验,本文将启发权重、信息权重和挥发系数分别设为 4,2,0.35。空间紧凑性可在软件中直接设置,土地利用适宜性结合城乡居民点生态适宜性评价结果,实现唐县城乡居民点布局优化。

3 结果与分析

3.1 生态安全保护分区

根据前文中阻力面的确定和阻力系数的设定,计算得到生态源地扩张的综合阻力面,并借助 ArcGIS 10.2 中的 Cost-Distance 工具求出生态源地扩张的最小累积阻力面。该阻力值越小,则越需要加强所在区域的生态保护^[24],则越不适宜城乡居民点布局,生态安全值越低。根据栅格数量和栅格像元值之间的关系,将最小累积阻力值重分为 4 类(表 2),最终得到唐县生态安全保护分区图(图 1)。

表 2 唐县生态安全分区结果

生态安全分区	最小累积阻力值	面积/ km ²	面积 占比/%
低生态安全保护区	0~0.1098	769.80	54.43
较低生态安全保护区	0.1098~0.3020	392.23	27.73
中等生态安全保护区	0.3020~0.5608	172.69	12.21
高生态安全保护区	0.5608~1	79.59	5.63

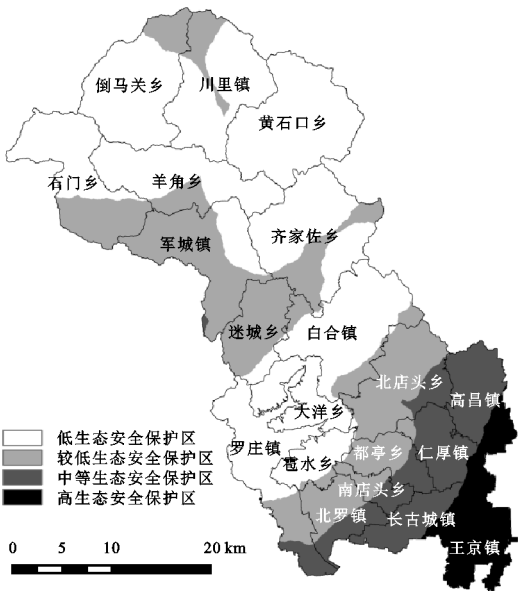


图 1 唐县生态安全保护分区

从整体来看,唐县生态安全值偏低,低生态安全保护区和较低生态安全保护区面积占总区域的 82% 左右,主要分布在西北部的中低山区和中西部的低山丘陵区,该区域的主要用地类型是林地和草地,且分布有西大洋水库和唐河,水资源丰富,使得该区域的土地利用更倾向于生态用途,因此生态安全值较低;而东南部的平原地区,由于地势平坦,交通便利,区位条件优越,经济发展水平高,是城乡建设的主要区域,因此生态安全值较高。低生态安全保护区分布有较多生态源地,需要重点进行生态环境保护,该区域主要分布在唐县西北部和中西部的川里镇、倒马关乡和罗庄镇等乡镇,面积为 769.80 km²,在唐县总面积中占比 54.43%;较低生态安全保护区虽分布有较少生态源地,但大部分为低山丘陵区,位于低生态安全保护区周围,仍需注重加强生态环境保护,该区域主要分布在北店头乡、北罗镇和都亭乡等乡镇,面积为 392.23 km²,在唐县总面积中占比 27.73%;中等生态安全保护区是高生态安全保护区和较低生态安全保护区间的过渡区域,地理位置优越,适合进行城镇开发建设,主要分布在唐县东南部的长古城镇、高昌镇、南店头乡和仁厚镇,面积为 172.69 km²,在唐县总面积中占比 12.21%;高生态安全保护区远离生态源地,不会对生态环境造成严重的影响,主要分布在东南部的王京镇,面积为 79.59 km²,在唐县总面积中占比 5.63%。

3.2 城乡居民点模拟预测

3.2.1 城乡居民点用地变化模拟 以唐县 2000 年土地利用数据为初始年份土地利用数据,输入高程、坡度、距乡镇距离、人口密度、栅格化 GDP 等驱动力因子,在 GeoSOS-FLUS 模型中采用神经网络算法(ANN)计算唐县各个地类的适宜性概率,在此基础

上,模拟自然发展情景下唐县 2009 年土地利用状况。同样,以唐县 2009 年土地利用数据为初始年份土地利用数据,利用 GeoSOS-FLUS 模型模拟得到自然发展情景下唐县 2018 年土地利用状况。

将土地利用模拟图与土地利用现状图进行对比(图 2),以验证模拟精度。本文利用 GeoSOS-FLUS 软

件中的精度验证模块计算 Kappa 系数,分别检验 2009 年、2018 年模拟结果与现状地类的一致性。经计算,2009 年土地利用模拟结果的 Kappa 系数为 0.63,总体精度为 67.86%;2018 年土地利用模拟结果的 Kappa 系数为 0.67,总体精度为 71.44%。模拟结果符合一般预测系统的精度检验需求,可用于未来预测。

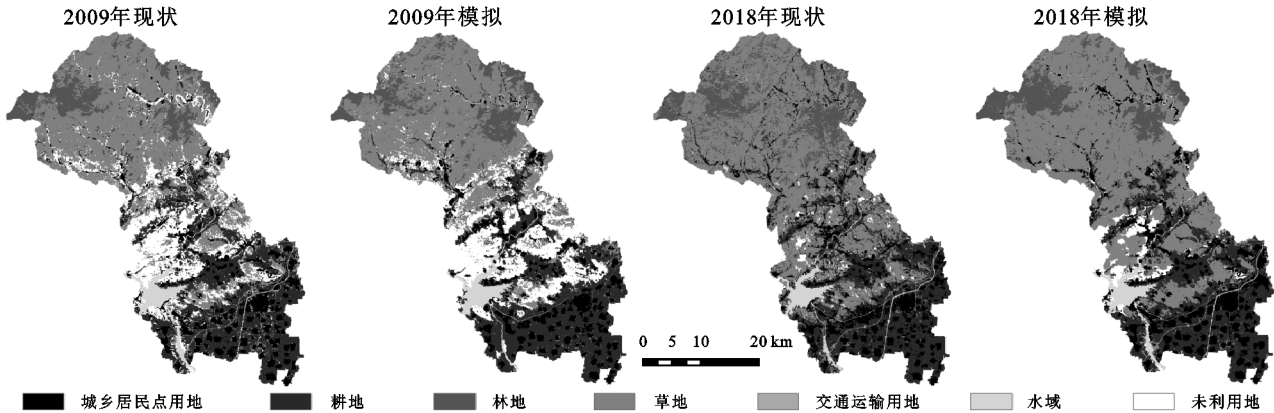


图 2 唐县 2009 年、2018 年土地利用现状与模拟对比

3.2.2 城乡居民点用地变化预测 为进一步了解未来唐县城乡居民点用地变化情况,本文在以上模拟研究的基础上,对唐县城乡居民点用地变化趋势进行预测,以分析未来唐县城乡居民点演变对生态安全的影响。假设唐县按照当前的演变趋势发展,且交通运输用地、水域及驱动因子在未来发展过程中没有发生较大变化。本文以唐县 2018 年土地利用数据为初始年份土地利用数据,利用 GeoSOS-FLUS 模型模拟得到自然发展情景下唐县 2027 年土地利用状况。

依据 2027 年与 2018 年唐县城乡居民点用地格局进行对比分析(图 3,表 3),可以得出:在自然发展情景下,2027 年唐县的城乡居民点用地和林地面积均有所增加,其中林地面积增加较多;草地和未利用地面积均减少,其中草地面积减少最为明显;耕地、交通运输用地和水域面积基本保持不变。经土地利用转移矩阵分析,城乡居民点用地总面积增加 6.67 km²,主要由耕地和草地转化而来。在空间分布上,唐县城乡居民点演变以空间扩张为主,城乡居民点整体分布格局变化不大;城乡居民点空间扩张集中在西北部的中低山区和中西部的低山丘陵区,主要包括北店头乡、白合镇、黄石口乡、军城镇和齐家佐乡等乡镇;以及东南部的部分平原区,主要包括高昌镇和仁厚镇等乡镇。

利用 ArcGIS 10.2 将 2018 年和 2027 年的城乡居民点用地图层与生态安全保护分区图进行叠加(表 4),探究 2027 年不同类型生态安全保护区内城乡居民点演变特征。从面积数量变化来看,位于高生态安全保护区的城乡居民点面积略有下降,减少 0.05 km²;位于其他类型生态安全保护区的城乡居民点面

积均有所增加,其中城乡居民点面积增加较多的区域为低生态安全保护区和较低生态安全保护区,分别为 2.67,2.83 km²,中等生态安全保护区的城乡居民点面积增加 1.22 km²。结合前面的分析,低生态安全保护区和较低生态安全保护区的土地利用以生态用途为主,不适宜城乡居民点布局。而预测结果显示,在自然发展情景下,2027 年唐县城乡居民点空间扩张集中在低生态安全保护区和较低生态安全保护区,未来其空间的不断扩张将对唐县生态安全逐渐产生威胁。

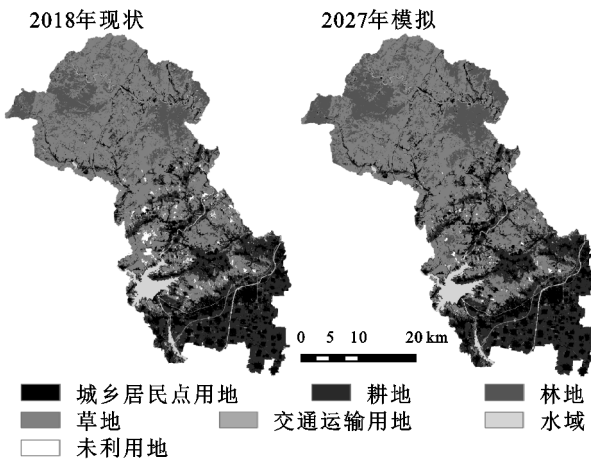


图 3 唐县 2018 年土地利用现状与 2027 年土地利用模拟对比

3.3 城乡居民点生态适宜性空间特征分析

为防止城乡居民点未来扩张对生态安全造成破坏,在唐县未来城乡居民点发展过程中,需考虑生态保护的约束条件限制,从生态保护与建设角度优化未来唐县城乡居民点布局。本文综合考虑城乡居民点自然演变规律和生态保护限制两方面因素,将前文运用 ANN 模型获取的城乡居民点用地适宜性分布概

率和运用 MCR 模型计算得出的最小累积阻力面进行叠加,两者的权重分别设定为 0.6,0.4,通过 ArcGIS 10.2 的 Raster Calculator 模块计算出城乡居民点生态适宜性,并利用 ArcGIS 10.2 的自然间断点法对生态适宜性分值进行重分类(表 5),得到唐县城乡居民点生态适宜性分区图(图 4)。

表 3 唐县 2018 年和 2027 年土地利用类型面积对比

土地利用类型	2018 年		2027 年	
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
城乡居民点用地	197.07	13.94	203.74	14.41
耕地	295.83	20.92	295.67	20.91
林地	167.91	11.87	215.61	15.25
草地	686.88	48.57	643.51	45.50
交通运输用地	4.45	0.31	4.45	0.31
水域	43.63	3.08	43.63	3.08
未利用地	18.54	1.31	7.70	0.54

表 4 唐县 2018 年现状和 2027 年预测城乡居民点在不同生态安全分区内分布统计

生态安全分区	2018 年现状		2027 年预测	
	城乡居民点		城乡居民点	
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
低生态安全保护区	56.71	28.77	59.38	29.14
较低生态安全保护区	63.47	32.21	66.30	32.54
中等生态安全保护区	53.50	27.15	54.72	26.86
高生态安全保护区	23.39	11.87	23.34	11.46

表 5 唐县城乡居民点生态适宜性分区结果

适宜性分区	布局生态适宜性综合分值	面积/km ²	面积占比/%
不适宜区	0~0.0980	640.68	45.30
较不适宜区	0.0980~0.2471	275.20	19.46
中等适宜区	0.2471~0.4196	240.78	17.02
较适宜区	0.4196~0.6235	217.61	15.39
高度适宜区	0.6235~1	40.04	2.83

高度适宜区主要位于东南部的中心县城及各个中心乡镇所在地,面积为 40.04 km²,在唐县总面积中占比 2.83%。该区域交通发达,基础设施完善,人口密度大,经济发展水平高;地处平原地区,且远离林地、水域生态源地,城乡居民点建设不会对生态环境造成严重破坏,生态安全值高,可作为唐县未来城乡居民点布局的重点区域。

较适宜区分布在高度适宜区的周围,主要位于东南部的平原区,面积为 217.61 km²,在唐县总面积中占比 15.39%。该区域耕地分布较多,且地势低平,便于农业耕作生产;交通方便,区位条件较好,社会经济发展良好;地势较平坦,且同样远离林地、水域生态源地,生态安全值较高,可进一步加强该区域的城乡居民点建设,合理引导城乡居民点规模适度扩张。

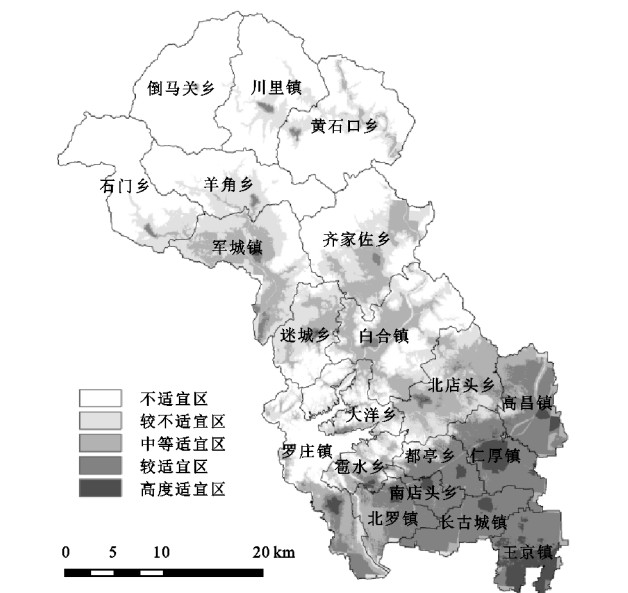


图 4 唐县城乡居民点生态适宜性分区

中等适宜区主要位于中西部的山地丘陵区,面积为 240.78 km²,在唐县总面积中占比 17.02%。该区域耕地资源较少,农业生产条件较差;交通较为便利,社会经济条件略低于较适宜区;地形复杂,距离林地、水域生态源地较近,生态安全值较低,可根据不同城乡居民点情况因地制宜进行整理优化,加强区域内生态环境和基础设施建设。

较不适宜和不适宜区主要位于西北部的中低山地区 and 中西部的西大洋水库区域,面积为 915.88 km²,在唐县总面积中占比 64.76%。该区域耕地极少,农业生产条件差;城乡居民点规模小、布局分散;交通不便,人口稀少,社会经济条件落后;地势陡峭,地质灾害发生率高,且在林地、水域生态源地附近,生态安全值低,不适宜城乡居民点的开发建设,可加强该区域的生态环境保护,对区域内城乡居民点重点治理或搬迁。

3.4 城乡居民点空间布局优化

在城乡居民点生态适宜性空间特征分析的基础上,排除基本农田、河流和公路等不适宜进行城乡居民点布局的区域,城乡居民点用地优化面积与 2027 年预测唐县城乡居民点用地面积保持一致,利用 GeoSOS 软件,通过 ACO 模型进行唐县城乡居民点空间布局优化。利用 ArcGIS 10.2 分别将 2027 年预测和优化的城乡居民点用地图层与城乡居民点生态适宜性分区图进行叠加(图 5),并统计不同类型适宜性区的城乡居民点面积(表 6)。

优化前,分布在高度适宜区、较适宜区和中等适宜区的城乡居民点面积占比为 76.23%,分布在较不适宜区和不适宜区的城乡居民点面积占比为 23.77%,且这些城乡居民点分布散乱,集聚性差。优化后,城乡

居民点主要分布在高度适宜区、较适宜区和中等适宜区,占城乡居民点总面积的 99.05%,而较不适宜区和不宜区的城乡居民点分布较少,仅占城乡居民点总面积的 0.95%。从面积变化来看,优化后,高度适宜区、较适宜区和中等适宜区城乡居民点面积均有不同程度的增加,分别为 4.53,36.97,5 km²;较不适宜区和不宜区的城乡居民点面积均有所下降,分别为 30.58,15.92 km²。从空间分布形态来看,优化后,城乡居民点零星分布减少,破碎化程度降低,大部分呈规模集聚分布,城乡居民点布局总体上趋于紧凑。

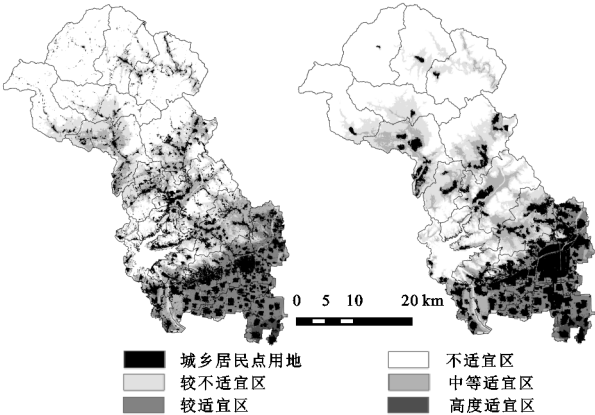


图 5 唐县优化前后城乡居民点分布

表 6 唐县 2027 年预测和 2027 年优化城乡居民点在不同适宜性分区内分布统计

适宜性分区	预测城乡居民点		优化城乡居民点	
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
不宜区	16.00	7.85	0.08	0.04
较不宜区	32.43	15.92	1.85	0.91
中等适宜区	55.60	27.29	60.60	29.74
较适宜区	74.16	36.40	111.13	54.55
高度适宜区	25.55	12.54	30.08	14.76

优化后,城乡居民点呈现出向适宜性较高的区域迁移的趋势,其中较适宜区的城乡居民点面积增加最为明显,主要是因为高度适宜区的城乡居民点本身城镇化程度高,分布聚集,故优化后城乡居民点布局变动不明显;较适宜区地处东南部的平原,有较丰富的耕地资源,社会经济条件较好,生态安全值较高,故优化后该区域城乡居民点面积增加较多,空间规模扩张明显;中等适宜区主要位于中西部的丘陵山区,社会经济条件略低于较适宜区,地形复杂,生态安全值较低,故优化后城乡居民点面积增加较少,空间布局变动较大,分布更加聚集。而较不适宜区和不宜区的城乡居民点大大减少,这是由于这些区域主要位于西北部的中低山地区和中西部的西大洋水库,社会经济条件差,地势陡峭,坡度较大,生态安全值低,不宜进行城乡居民点的开发建设,故优化后该区域有较少城乡居民点分布。

整体来看,优化后的城乡居民点重心分布在东南

部的高度适宜区和较适宜区,未来可进一步加强该区域的城乡居民点基础设施建设,制定相关政策措施,合理引导城乡居民点规模适度扩张,形成围绕县城集聚发展的城乡居民点布局;中等适宜区未来可因地制宜进行整理优化,逐步引导分布零星、规模小的居民点向中心居民点聚集;较不适宜区和不宜区未来可作为重点生态保护区,鼓励引导该区域的城乡居民点向更高适宜区迁移。总的来说,从生态保护与建设角度出发,通过 ACO 模型优化后的唐县城乡居民点空间布局,避免了城乡居民点扩张对生态环境的破坏,更有利于城乡居民点建设与生态安全保护协调发展,城乡居民点的整体生态适宜性明显得到提高,布局更加紧凑,基本实现了唐县城乡居民点布局优化。

4 讨论与结论

(1) 整体上看,唐县生态安全值偏低,呈西北低、东南高的空间分异特征,生态安全值较低的区域主要分布在西北部的中低山区和中西部的低山丘陵区,生态安全值较高的区域主要分布在东南部的平原地区。在自然发展情景下,2027 年唐县的城乡居民点用地总面积增加 6.67 km²,主要由耕地和草地转化而来。在空间分布上,唐县城乡居民点演变以空间扩张为主,整体分布格局变化不大。通过将 2018 年和 2027 年的城乡居民点用地图层与生态安全保护分区图进行叠加,发现 2027 年唐县城乡居民点空间扩张集中在低生态安全保护区和较低生态安全保护区,未来其空间的不断扩张将对唐县生态安全逐渐产生威胁。

(2) 从生态保护与建设角度分析唐县城乡居民点生态适宜性空间特征,并将城乡居民点生态适宜性划分为高度适宜区、较适宜区、中等适宜区、较不适宜和不宜区 5 个区域。高度适宜区主要位于东南部的中心县城及各个中心乡镇所在地,面积为 40.04 km²,在唐县总面积中占比 2.83%。较适宜区分布在高度适宜区的周围,主要位于东南部的平原区,面积为 217.61 km²,在唐县总面积中占比 15.39%。中等适宜区主要位于中西部的山地丘陵区,面积为 240.78 km²,在唐县总面积中占比 17.02%。较不适宜和不宜区主要位于西北部的中低山地区和中西部的西大洋水库区域,面积为 915.88 km²,在唐县总面积中占比 64.76%。

(3) 结合唐县城乡居民点生态适宜性空间特征分析,优化后,城乡居民点呈现出向适宜性较高的区域迁移的趋势,其中较适宜区的城乡居民点面积增加最为明显;较不适宜区和不宜区的城乡居民点大大减少;且城乡居民点零星分布减少,破碎化程度降低,大部分呈规模集聚分布,城乡居民点布局总体上趋于紧凑。总的来说,从生态保护与建设角度出发,通过 ACO 模型优化后的唐县城乡居民点空间布局,更有

利于城乡居民点建设与生态安全保护协调发展,城乡居民点的整体生态适宜性明显得到提高,布局更加紧凑,基本实现了唐县城乡居民点布局优化。

(4) 本文通过预测分析未来城乡居民点演变趋势,从生态保护与建设角度优化城乡居民点空间布局,有利于实现城乡居民点建设与生态安全保护相协调,也可对未来唐县城乡居民点规划发展提供科学参考。但是,受研究数据限制,本文在预测城乡居民点土地利用变化时,选取的社会经济驱动因子较少,以后应探索多源的社会经济数据,并考虑政策因素的影响,以进行更加科学精准的预测;另外,本文仅考虑了自然发展情景下的未来城乡居民点演变趋势,以后可探讨不同情境下的城乡居民点演变趋势预测,同时在具体实施城乡居民点布局优化方案时,还需进一步结合当地的人文历史和村民意愿等方面因素,并考虑未来城乡居民点发展的规模限制。

参考文献:

- [1] 璩路路,李裕瑞,刘彦随.基于村镇空间“物一场”模型的乡村聚落布局优化研究[J].经济地理,2019,39(4):174-181.
- [2] 孟令冉,吴军,董霖红.山丘生态保护区乡村聚落空间分异及格局优化[J].农业工程学报,2017,33(10):278-286.
- [3] 朱倩琼,郑行洋,刘樱,等.广州市农村聚落分类及其空间特征[J].经济地理,2017,37(6):206-214,223.
- [4] 崔欣,王印传,张佰林,等.保定市农村居民点时空格局演变及影响因素[J].水土保持研究,2020,27(5):265-272.
- [5] 杨凯悦,宋永永,薛东前.黄土高原乡村聚落用地时空演变与影响因素[J].资源科学,2020,42(7):1311-1324.
- [6] 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.
- [7] 张贵军,朱永明,臧亮,等.新型城镇化背景下昌黎县农村居民点空间重构评价与分区[J].农业工程学报,2016,32(12):237-246.
- [8] 许建和,柳肃,熊鹰,等.南方山地乡村聚落空间分布及其格局优化调整:以临武县西山瑶族乡为例[J].经济地理,2017,37(10):221-227.
- [9] 陈宗峰,李裕瑞,刘彦随.黄土丘陵沟壑区乡村聚落分布格局特征与类型[J].农业工程学报,2017,33(14):266-274,316.
- [10] 郑文升,姜玉培,罗静,等.平原水乡乡村聚落空间分布规律与格局优化:以湖北公安县为例[J].经济地理,2014,34(11):120-127.
- [11] 周晓芳,周永章,欧阳军.喀斯特高原盆地聚落空间演变:以贵州省红枫湖水系盆地为例[J].地域研究与开发,2012,31(3):145-150.
- [12] 匡垚瑶,杨庆媛,王兆林,等.低山丘陵区城乡结合部农村居民点布局优化:以重庆市渝北区古路镇为例[J].山地学报,2017,35(3):399-411.
- [13] 刘军杰,鄯瑞卿,刘大平,等.基于GIS的乡村聚落空间分布特征与优化模式研究:以吉林省农安县为例[J].土壤通报,2020,51(4):816-823.
- [14] 冯电军,沈陈华.基于扩展断裂点模型的农村居民点整理布局优化[J].农业工程学报,2014,30(8):201-209.
- [15] 周宁,郝晋珉,孟鹏,等.黄淮海平原县域农村居民点布局优化及其整治策略[J].农业工程学报,2015,31(7):256-263.
- [16] 杨立,郝晋珉,王绍磊,等.基于空间相互作用的农村居民点用地空间结构优化[J].农业工程学报,2011,27(10):308-315.
- [17] 倪琳.基于生态风险的山区农村居民点空间格局优化研究[D].河北保定:河北农业大学,2019.
- [18] 李冰清,王占岐,张利国,等.基于集聚发展路径的农村居民点空间重构研究[J].中国人口·资源与环境,2018,28(11):47-55.
- [19] 王尧.基于景观格局和蚁群算法的横山区农村居民点布局优化研究[D].西安:长安大学,2017.
- [20] 周华.城镇化背景下农村居民点用地转型及其调控对策研究[D].南京:南京大学,2015.
- [21] 徐新良.中国人口空间分布公里网格数据集[EB/OL].中国科学院资源环境科学数据中心数据注册与出版系统(<http://www.resdc.cn/DOI>), 2017[2020-11-06].
<https://www.resdc.cn/DOI/DOI.aspx?DOIid=32>.
- [22] 徐新良.中国GDP空间分布公里网格数据集[EB/OL].中国科学院资源环境科学数据中心数据注册与出版系统(<http://www.resdc.cn/DOI>), 2017[2020-11-06].
<https://www.resdc.cn/DOI/doi.aspx?DOIid=33>.
- [23] 王旭熙,彭立,苏春江,等.基于景观生态安全格局的低丘缓坡土地资源开发利用:以四川省泸县为例[J].生态学报,2016,36(12):3646-3654.
- [24] 洪步庭,任平.基于最小累积阻力模型的农村居民点用地生态适宜性评价:以都江堰市为例[J].长江流域资源与环境,2019,28(6):1386-1396.
- [25] 郝月,张娜,杜亚娟,等.基于生境质量的唐县生态安全格局构建[J].应用生态学报,2019,30(3):1015-1024.
- [26] 曹帅,金晓斌,杨绪红,等.耦合MOP与GeoSOS-FLUS模型的县级土地利用结构与布局复合优化[J].自然资源学报,2019,34(6):1171-1185.
- [27] Liu X, Xun L, Xia L, et al. A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects[J]. Landscape & Urban Planning, 2017,168:94-116.
- [28] 赵鑫,宋英强,胡月明,等.基于多源开放数据的城乡居民点空间布局优化[J].广西师范大学学报:自然科学版,2020,38(1):26-40.
- [29] 马世发,艾彬.基于地理模型与优化的城市扩张与生态保护二元空间协调优化[J].生态学报,2015,35(17):5874-5883.
- [30] 谢鹏飞.基于GMDP模型和ACO算法的澜沧县多目标土地利用优化配置研究[D].昆明:云南大学,2016.