

DOI: 10.5846/stxb201901070059

赵旭, 汤峰, 张蓬涛, 胡波洋, 徐磊. 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. 生态学报, 2019, 39(16): - .
Zhao X, Tang F, Zhang P T, Hu B Y, Xu L. Dynamic simulation and characteristic analysis of county production-living - ecological spatial conflicts based on CLUE-S model. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(16): - .

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

赵旭¹, 汤峰², 张蓬涛^{1,3,*}, 胡波洋¹, 徐磊^{1,3}

1 河北农业大学国土资源学院, 保定 071001

2 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083

3 河北省农田生态环境重点实验室, 保定 071001

摘要:随着经济、社会发展速度不断加快,多功能空间之间的竞争不断增强,国土空间的协调与稳定受到严重影响。因此,模拟生产、生活和生态空间(简称“三生”空间)冲突格局,并分析其演变特征,对于科学利用国土空间,实现区域发展格局优化有着重要意义。文章以昌黎县为研究区,以 2005 和 2015 年土地利用现状数据为基础,采用 CLUE-S 模型预测研究区 2025 年土地利用格局;基于土地利用主导功能和次要功能将国土空间划分为生活生产空间、生产生态空间、生态生产空间及生态空间,依据景观生态指数构建空间冲突测度模型,测算昌黎县 2005—2025 年三期“三生”空间冲突变化趋势。结果表明:①2005—2025 年昌黎县以生产生态空间为主。2015 年末,生活生产空间、生产生态空间大量占用生态生产空间和生态空间,尤其是河流附近,空间转换更加显著;到 2025 年,各空间类型转变较少,但生活生产空间转入量仍相对较大。②2005—2025 年昌黎县空间冲突水平呈上升趋势,到 2025 年,空间冲突逐渐以较强空间冲突为主。这主要是由于生产生态空间、生活生产空间不断向外扩张。随着城镇化、产业发展速度的加快,生活生产空间、生产生态空间向外扩张强度逐渐增大,生态生产空间、生态空间将面临威胁。

关键词:三生空间;CLUE-S 模型;空间冲突;景观生态指数;昌黎县

Dynamic simulation and characteristic analysis of county production-living - ecological spatial conflicts based on CLUE-S model

ZHAO Xu¹, TANG Feng², ZHANG Pengtao^{1,3,*}, HU Boyang¹, XU Lei^{1,3}

1 College of Land and Resources, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China

2 College of Land Science and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China

3 Key Lab for Farmland Eco-Environment of Hebei Province, Baoding 071001, China

Abstract: With the acceleration of economic and social development, competition among multi-functional spaces is continuously enhanced, and coordination and stability of territorial space are seriously affected. Therefore, it is of great significance to simulate the spatial conflict pattern of production-living-ecological spaces and analyse its evolutionary characteristics for scientific utilization of territorial space and optimization of regional development patterns. In this paper, Changli County is taken as the research area. Based on the data of land use status for two years (2005, 2015), CLUE-S model is used to predict the land use patterns in the research area in 2025. Based on the leading and secondary functions of land use, the territorial space is divided into living-production space, production-ecological space, ecological-production space, and ecological space. Based on the landscape ecological index, a spatial conflict measurement model is constructed

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0503700);河北农业大学引进人才科研专项基金项目(YJ201807)

收稿日期:2018-01-07; 网络出版日期:2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangpt@hebau.edu.cn

to estimate the changing trend of the production-living-ecological spatial conflict in Changli County from 2005 to 2025. The results show that: (1) From 2005 to 2025, the territorial space of Changli County is dominated by production-ecological space. At the end of 2015, the living-production space and the production-ecological space occupy a large amount of ecological-production space and ecological space, especially near the river. By 2025, there will be fewer changes in each spatial type, but the amount of living-production space will still be relatively large. (2) From 2005 to 2025, the level of spatial conflict in Changli County will be on the rise, and by 2025, spatial conflict will gradually be dominated by strong spatial conflict. This is due to the production-ecological space and the living-production space expanding outward ceaselessly. With the acceleration of urbanization and industrial development, the outward expansion of the living-production space and the production-ecological space will gradually increase, and the ecological-production space and the ecological space will face threats.

Key Words: production-living-ecological spaces; CLUE-S model; spatial conflict; landscape ecological index; Changli County

近年来,城镇化、产业化进程不断加快,人们利用空间资源的强度逐渐加大,不同利用主体在空间利用方面的矛盾增加,国土空间格局受到严重影响。“三生”空间是生产空间、生活空间、生态空间的概称,是国土空间格局的重新划分。随着空间利用矛盾不断加大,区域“三生”空间比例关系逐渐失衡,仅单一空间的优势突出已不能满足人们日益增长的美好生活需要。2012—2017 年间中央城市工作会议、“十三五”规划、十九大报告等提出“生产-生活-生态”空间协调发展,如何缓解“三生”空间冲突就成为亟需解决的重要问题之一。

空间冲突是指不同利益群体之间对空间资源利用方式、数量等方面的不和谐,以及空间资源利用与环境方面的矛盾状态^[1-3],是土地利用冲突内涵的丰富与延伸,源于空间资源的数量有限性及功能的多宜性^[4,5]。早在 18 世纪土地利用冲突研究就已开始,其主要是土地经济增值、人类需求、土地制度等之间的冲突问题^[6]。二十世纪六、七十年代,现代意义上的土地利用冲突研究开始出现^[2]。随着研究的深入,学者们在研究视角方面不断丰富,包括土地利益相关者视角^[7]、生态安全视角^[4,8]、地理学视角^[9]、社会经济发展和人口增长视角^[10]、非合作博弈视角^[11]等;在研究尺度上,集中在城市群、省、市等宏观区域^[4,8-15]或矿区等特殊区域^[7,16];在研究内容上,主要分析了在土地利用主体^[7]、规划^[6]、制度^[17-18]等方面的矛盾问题;在评价方法上,采用了参与式调查法^[7]、空间叠置法^[6]、景观格局分析法^[4,8-9]、PSR 模型^[13,19]及其扩展模型 PSIR、DSR、PASIR、DPSIR^[1-2]、耦合协调度方法^[15]、适宜性评价^[20-21]、行动者网络分析方法^[22]等定性或定量方法。尽管学者们不断加深土地利用冲突方面的探索,但是仍存在一定的不足。在研究尺度上,对县域、乡镇等中、小尺度研究较少;在研究内容上,针对空间利用冲突的分析较少,且现有空间利用冲突多集中在景观地类空间上,“三生”空间利用冲突的探索鲜少出现;在时间尺度选择上,主要是集中在现状研究,预测冲突格局变化的研究很少。

基于此,本文以昌黎县为例,采用 CLUE-S 模型预测县域 2025 年土地利用格局;基于土地利用主导功能和次要功能划分“三生”空间,分析县域“三生”空间格局变化情况;以网格为评价单元,采用景观生态指数构建空间冲突测度模型,评价县域“三生”空间现状冲突水平,以及未来 2025 年空间冲突强度,实现空间冲突预警,为昌黎县缓解“三生”空间冲突、制定县域国土空间优化配置政策提供支撑和依据,为区域社会经济发展与生态环境保护关系的协调与管理,以及中、小尺度国土空间统筹和可持续管理提供参考。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

昌黎县隶属于河北省秦皇岛市,位于河北省东北部,是首批沿海对外开放县。县域地势由西北山地丘陵向东南山麓平原倾斜;东临渤海,北枕碣石;东西最长 44km,南北最宽 47.5km,总面积为 998km²;属暖温带半湿润季风性气候;水系主要由滦河、饮马河、七里河 3 条主要水系组成。截止到 2015 年末,昌黎县下辖 11 个

镇、5 个乡、1 个区和 1 个国有林场,共 418 个行政村,总人口 56.18 万;城镇化率为 39.54%,城镇化进程已进入加速阶段。至 2015 年,全县生产总值完成 206.81 亿元,较 2014 年增长 10.5%,一二三产业产值占比为 28.29:37.33:34.39,产业发展良好。昌黎县立足京津冀协同发展,打造商贸物流中心,经济快速发展,但土地利用强度增加,空间格局受到严重影响。

1.2 数据来源与处理

本文所利用数据主要包括 2005 年 Landsat ETM 影像和 2015 年 Landsat OLI 影像,空间分辨率为 30m,成像时间为 8 月和 9 月,每期 2 景,条带号/行编号分别为 121/33 和 122/32,来源于地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>)。结合研究区实际土地利用状况,依据《土地利用现状分类》(GBT21010—2017),将土地利用类型划分为耕地、园地、林地、建设用地、未利用地和水域。在充分利用土地利用现状数据图等辅助图件的基础上,对两期遥感影像进行定义投影、几何校正、融合、镶嵌、裁剪、判读解译等处理工作,获得土地利用现状图,并建立混淆矩阵验证解译精度,均在 80% 以上,符合研究需要。此外,研究所需数据还包括 DEM 数据,来源于地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>);社会经济数据来源于《昌黎县统计年鉴》。

1.3 研究方法

1.3.1 CLUE-S 模型及参数设置

CLUE-S 模型是由 Peter Verburg^[23]团队在 CLUE 模型的基础上改进而来,是一个较好的模拟全局土地利用变化的模型。这一模型包括非空间分析模块和空间分配模块。非空间分析模块用于计算目标年研究区各地类的需求数量,需要借助外部模型或方法计算得到,本研究采用 Markov 模型预测获得^[24]。空间分配模块是在输入土地需求参数的基础上,依据驱动因子的空间分布特征,对栅格单元的地类归属进行分配迭代,进而实现各年份地类的时空模拟。其迭代方程为:

$$TPROP_{i,u} = P_{i,u} + ELAS_u + ITER_u \quad (1)$$

式中: $TPROP_{i,u}$ 为土地利用类型 u 在 i 栅格内的分布总概率; $P_{i,u}$ 为研究单元 i 对 u 的适宜性概率,本文运用 Logistic 回归模型计算^[25]; $ELAS_u$ 为 u 的转换弹性系数; $ITER_u$ 是 u 的迭代变量。

空间模拟的相关参数设置如下:(1)驱动因子选取:通过初步分析土地利用动态变化情况,基于数据的可获取性、可量化性、相关性等原则,本文选取的驱动因子有:区位因子(距铁路、一级道路、二级道路、河流、城镇、农村居民点距离,其中一级道路指国道和省道,二级道路包括县道和乡道),借助 ArcGIS10.2 中欧氏距离工具获取各区位因子;社会经济因子(人口密度、人均纯收入、农业从业人员所占比重、城镇化水平、人均农业产值),以乡(村)行政区划为单位进行统计并空间栅格化。(2)限制区域范围:区域约束范围为昌黎县域,限制区域为风景名胜(碣石山风景区)。(3)土地利用类型转换弹性及规则:根据研究区土地利用特点,经过多次模拟调试设定耕地、园地、林地、建设用地、水域用地、未利用地转换弹性系数分别为 0.5、0.7、0.7、0.8、0.9、0.5。依据 2005—2015 年土地利用转移矩阵确定土地利用类型间的转换规则如表 1。(4)地类需求文件:利用 Markov 模型和线性内插方法获得 2016—2025 年各年份的土地利用数据。

表 1 土地利用类型转换规则

Table 1 Land use type conversion rules

| 转换规则 Conversion rules | 耕地 Cultivated land | 园地 Garden land | 林地 Forest land | 建设用地 Land for construction | 水域用地 Water | 未利用地 Unused land |
|----------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|---------------|---------------------|
| 耕地 Cultivated land | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 园地 Garden land | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 林地 Forest land | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 建设用地 Land for construction | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 水域用地 Water | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 未利用地 Unused land | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |

行表示转出地类,列表示转入地类,1 表示两种用地类型之间可以转换,0 表示不可以转换

1.3.2 “三生”空间分类

科学准确地划分空间类型是“三生”空间冲突研究顺利进行的基础。土地具有功能多宜性特点,为更全面地描述土地利用功能空间,本文参考已有文献中“三生”用地空间划分结果^[28-31],依据空间主导功能和次要功能,将土地利用空间划分为生活生产空间、生产生态空间、生态生产空间及生态空间。

其中,生活生产空间是指可以提供生活功能或提供除农业生产以外的生产功能的用地空间。这一空间主要是指用于居住生活和二、三产业生产的建设用地,包括城镇及村庄居民点用地、工矿用地等。这类用地基本由建筑物和构筑物覆盖,没有较为明确的空间界线,因此统一归为生活生产空间。

生产生态空间是指以农业生产为主,并可提供生态功能的用地空间,包括耕地和园地。这两类用地以提供农产品为主,并可以提供侵蚀控制、气体调节等生态功能,因此归为生产生态空间。

生态生产空间指具有重要的生态功能,并可以从事一定的农业生产的用地空间,包括林地和水域用地。这类用地空间可以起到防风固沙、涵养水源、固碳释氧、净化环境等作用^[27],同时也具有一定的生产功能,如木材生产、渔业养殖。因此,将林地、水域归为生态生产空间。

生态空间是指以提供生态产品或生态服务为主体功能的空间。参考张红旗^[27]、于莉^[28]、徐健^[32]、邓红兵^[33]等对未利用地的空间划分结果,结合昌黎县未利用地以其他草地为主要类型的实际,将未利用地归为生态空间。

1.3.3 “三生”空间冲突测度模型构建及分区

(1) 空间冲突测度模型构建

在空间冲突测度指数构建方面,廖李红^[3]、彭佳捷^[4,8]等基于生态学理论,从空间复杂性、脆弱性及稳定性角度构建景观生态指数;贺艳华^[9]等则基于地理学理论,从空间类型、空间格局、空间过程三个角度构建空间冲突测度模型。前后两个观点对比,前者能更好地表达空间冲突结果所引起的空间类型的转化和景观环境的变化,并且数据更易获得;后者更倾向于分析空间结构比例失衡、类型组合不当等方面的问题,数据获取难度较大。因此,本文采用基于生态学理论的景观生态指数评价区域“三生”空间利用冲突强度。

①空间复杂性表达 空间复杂性程度利用空间外部压力指数(SPI)表示。在经济社会快速发展进程中,人们对土地开发、利用增加,斑块形状趋向复杂,空间利用矛盾加剧。因此,采用面积加权平均拼块分形指数(AWMPFD)测算空间外部压力。其反映了邻域斑块对测度斑块的干扰程度,体现了人类活动对空间格局的影响程度,数值越高,表示斑块承受的外部压力越大。计算公式如下:

$$AWMPFD = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{2\ln(0.25P_{ij})}{\ln a_{ij}} \times \frac{a_{ij}}{A} \quad (2)$$

式中, P_{ij} 表示第*i*类空间类型第*j*个斑块的周长; a_{ij} 表示第*i*类空间类型第*j*个斑块面积; A 表示空间单元面积。

②空间脆弱性表达 空间脆弱性采用空间脆弱性指数(SFI)测算。这一指数反映了空间斑块抵抗外界压力的能力,抵抗能力越弱,越易受外界影响,空间冲突水平越高。“三生”空间是对景观地类空间的重新划分,空间内部景观抗压能力的强弱直接影响空间脆弱状况。因此,从生态学角度出发,利用空间内部各类景观的脆弱度测算空间脆弱性指数。参考相关文献^[3-9,34],对各景观地类脆弱度赋值:建设用地-1,林地-2,耕地-3,园地-4,水域-5,未利用地-6。计算公式如下:

$$SFI = \sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^r f_{is} \times \frac{a_{is}}{A} \quad (3)$$

式中, f_{is} 表示第*i*空间类型中第*s*种景观地类的景观脆弱度; a_{is} 表示第*i*空间类型中第*s*种景观地类的景观斑块面积; A 表示空间单元面积; m 表示空间类型数量; n 表示斑块数量; r 表示景观地类种类。

③空间稳定性表达 空间稳定状况采用空间风险指数(SRI)测算。空间形态越破碎,空间风险越大,稳定性越差,空间冲突强度越高,故以景观破碎化指数度量空间风险程度。计算公式如下:

$$SRI = \frac{PD - PD_{\min}}{PD_{\max} - PD_{\min}} \quad (4)$$

式中, PD 表示景观破碎度, PD_{\min} 、 PD_{\max} 分别表示它的最小值和最大值。 $PD = n/APD = \frac{n}{A}$, A 表示空间单元面积; n 表示空间单元斑块数量。

最终, 空间冲突综合指数 (SCCI) 以上述三类指数总和表示。

$$SCCI = SPI + SFI + SRI \quad (5)$$

(2) 空间冲突评价单元划分

本文以网格作为评价单元。考虑到研究尺度、研究范围、数据类型、数据量、空间斑块状况等, 对比不同大小网格单元 (包括 $800\text{m} \times 800\text{m}$ 、 $900\text{m} \times 900\text{m}$ 、 $1000\text{m} \times 1000\text{m}$ 、 $1200\text{m} \times 1200\text{m}$), 发现 $1000\text{m} \times 1000\text{m}$ 大小的网格可以较好的表达空间冲突分布特征, 且数据量较为合适。因此, 选择 $1000\text{m} \times 1000\text{m}$ 网格对研究区进行划分, 共划分 1116 个空间单元。其中, 对研究区边界未布满整个单元面积的斑块按一个完整的单元面积参与计算, 以此计算各空间单元内的上述指数, 定量评价空间冲突水平。将空间冲突指数值标准化到 0—1 间, 并根据研究区冲突指数累计频率分布直方图, 采用等间距法将冲突等级划分为弱空间冲突 [0.0, 0.2)、较弱空间冲突 [0.2, 0.4)、中等空间冲突 [0.4, 0.6)、较强空间冲突 [0.6, 0.8)、强空间冲突 [0.8, 1.0]。

2 结果与分析

2.1 2005—2025 年土地利用变化分析

依据 1.3.1 参数调试结果, 以 2005 年土地利用数据为基础, 模拟 2015 年土地利用状况, 进行模型精度检验, 主要分为两方面, 一是使用 Pontius 等^[23] 提出的 ROC 方法对 Logistic 回归结果进行检验; 二是利用 Kappa 系数检验 2015 年模拟结果与现状地类的一致性。结果显示 ROC 值均大于 0.7, 表明所选驱动因子对各地类的解释能力较好; 计算得到 2015 年土地利用格局的总体精度为 87%, 说明 CLUE-S 模型模拟效果理想, 可用于预测昌黎县 2025 年土地利用格局。最终得到昌黎县 2005—2025 年三期土地利用类型布局图, 见图 1-a、图 1-b、图 1-d。

2005—2015 年, 昌黎县土地利用类型以耕地为主, 遍布县域; 建设用地在碣石山南麓形成明显的集聚区, 县域西北—西南地区逐渐呈条带状分布, 尤其是西北部地区建设用地团块面积逐渐增大; 2005 年, 园地主要分布在县域西北部、东北部 (碣石山) 及东南地区, 2015 年受城镇化发展影响, 建设用地及耕地“侵蚀作用”显著, 西北及东南地区园地面积显著减少, 大量转化为耕地及建设用地, 园地主要集中分布在东北部碣石山山麓; 林地集中分布在碣石山及西南—南部水域附近, 未利用地主要分布在县域中部河流周边地区, 到 2015 年, 县域西南—南部地区的水域及林地、中部地区的未利用地大量转化为耕地及建设用地, 尤其是未利用地转换数量极为显著。

与 2015 年相比 (见图 1、表 2), 2025 年模拟结果中建设用地数量显著增加, 碣石山南麓建设用地集聚区对周边地类侵蚀加剧, 并且对外辐射发展趋势逐渐凸显; 东北部建设用地团块分布面积增加, 趋向面状分布。结合县域行政单位布局, 建设用地布局逐渐形成以昌黎镇—朱各庄镇—荒佃庄镇为中心的带状布局。其他地类面积较 2015 年均有所减少, 其中耕地、园地面积减少数量最多, 主要是受城镇扩张影响。

2.2 “三生空间”时空变化分析

2.2.1 “三生”空间格局分析

从“三生”空间分布角度来看 (图 2), 2005、2015 和 2025 年均以生产生态空间为主, 呈集中连片分布; 生活生产空间呈团块状分布, 且以昌黎镇为中心形成明显的集聚, 2005—2025 年随着昌黎县城镇化发展速度的加快, 生活生产空间逐渐向周边地域空间扩张; 生态生产空间主要分布于县域东北部以及西部和南部的县域边界地带, 由于生产生态空间侵占, 空间格局呈现萎缩趋势; 生态空间零星散分布, 斑块面积较小, 特别是

2005—2015 年生态空间被生产生态空间和生活生产空间大量占用,空间面积显著减少。

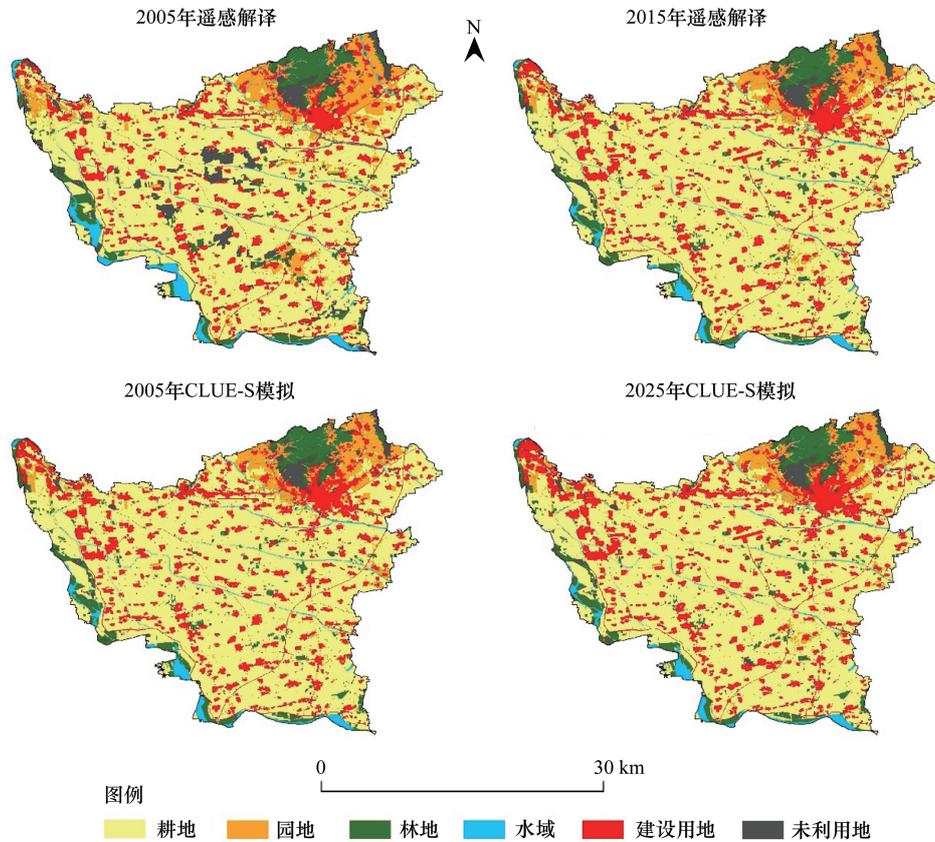


图 1 昌黎县 2005—2025 年土地利用分布图

Fig.1 Remote sensing interpretation diagram and CLUE-S simulation diagram from 2005 to 2025 in Changli County

表 2 昌黎县 2005—2025 年地类面积统计

Table 2 Land area statistics of Changli County from 2005 to 2025

| | 2005 年 Area in 2005/ hm ² | 2015 年 Area in 2015/ hm ² | 2025 年 Area in 2025/ hm ² | 2005—2015 年 增加值 Quantity of area increase from 2005 to 2015/ hm ² | 2015—2025 年 增加值 Quantity of area increase from 2005 to 2015/ hm ² |
|----------------------------|--|--|--|---|---|
| 耕地 Cultivated land | 60421.75 | 65997.09 | 65048.28 | 5575.34 | -948.81 |
| 园地 Garden land | 9251.39 | 6049.06 | 5827.22 | -3202.33 | -221.84 |
| 林地 Forest land | 14950.71 | 16816.12 | 18109.80 | 1865.41 | 1293.68 |
| 建设用地 Land for construction | 6274.48 | 6518.22 | 6442.25 | 243.74 | -75.97 |
| 水域用地 Water | 3315.72 | 2233.87 | 2214.32 | -1081.85 | -19.55 |
| 未利用地 Unused land | 5583.08 | 2182.77 | 2155.25 | -3400.31 | -27.52 |
| 合计 Total | 99797.13 | 99797.13 | 99797.13 | | |

从数量结构来看(图 3),2005—2025 年生产生态空间占比最高,超过昌黎县国土总面积的 69%;其次是生活生产空间和生态生产空间,两者面积总占比维持在 24%—28%之间;生态空间面积最少,不足总面积的 6%。并且,四类空间呈现出“一升二降一波动”的特点:生活生产空间面积呈上升趋势,空间面积比重由 2005 年的 14.98%增加到 2015 年的 16.85%,到 2025 年达到 18.15%;生态生产空间和生态空间面积呈下降趋势,面积比重分别从 2005 年的 9.61%和 5.59%减少到 2015 年的 8.77%和 2.19%,到 2025 年分别减少到 8.67%和 2.

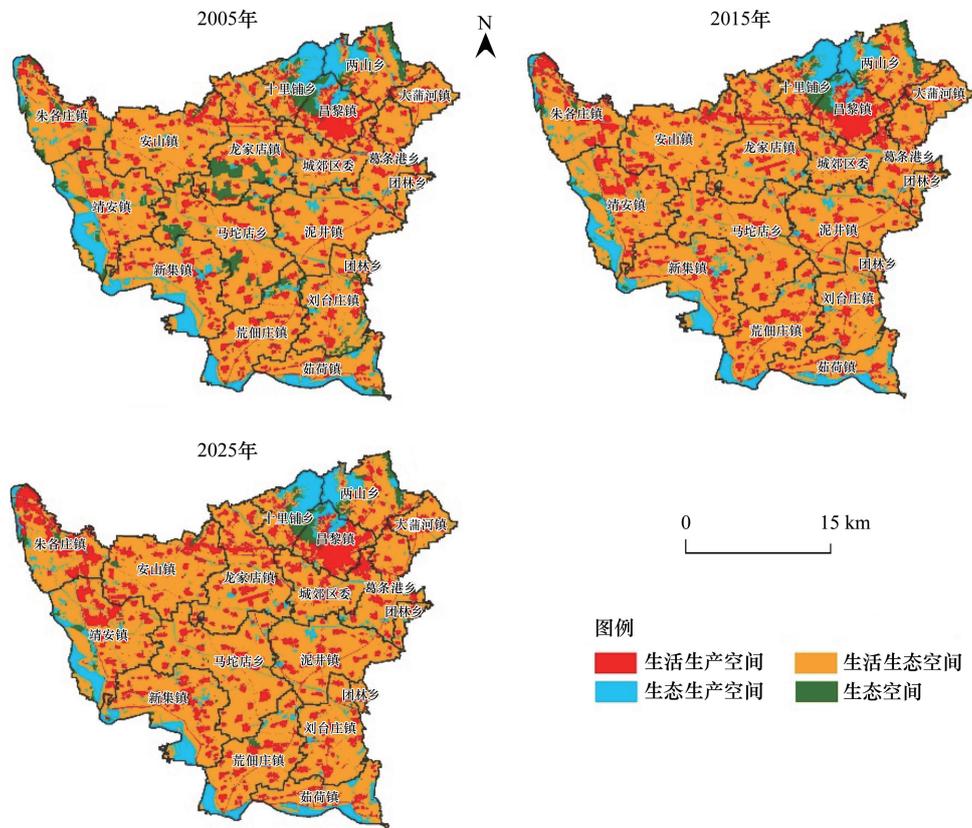


图2 昌黎县 2005—2025 年“三生”空间格局分布

Fig.2 Spatial distribution of production-living-ecological space from 2005 to 2025 in Changli County

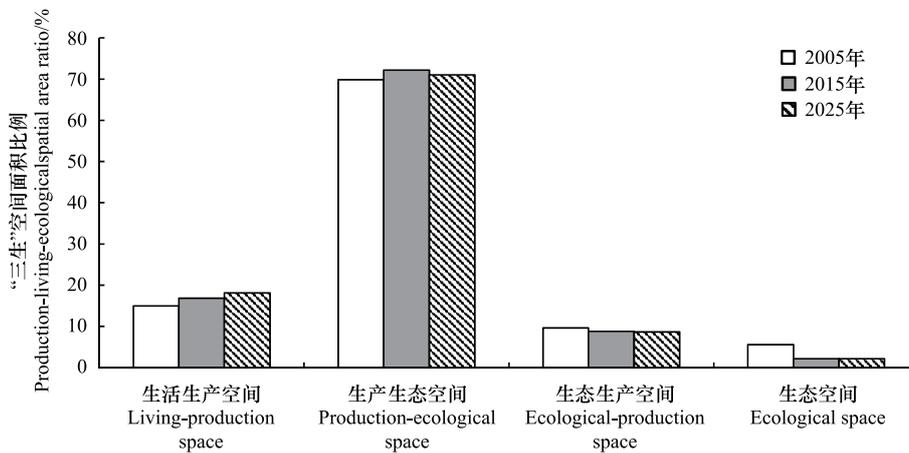


图3 昌黎县 2005—2025 年“三生”空间类型面积变化

Fig.3 The area changes of production-living-ecological space from 2005 to 2025 in Changli County

16%;生产生态空间面积呈波动变化特点,表现为先增长后小幅度下降趋势。

2.2.2 “三生”空间转移矩阵分析

县域“三生”空间转移矩阵(表3)表明 2005—2015 年四类空间均有不同程度的转出量和转入量,发生转移的土地占县域总面积的 11%。其中,生态空间和生产生态空间转换最为突出,前者向后者的转出量达 3301.91hm²,超过空间总输出量的 80%;后者以转入为主,转入量达 5925.34hm²,由生态空间转入面积超过转入总量的一半。其他两类空间变化相对较小,其中生态生产空间以转出为主,净转出 838.72hm²;生活生产空间以

转入为主,净转入 1866.77hm²。

表3 昌黎县 2005—2015 年“三生”空间转移矩阵

Table 3 The transfer matrix of production-living-ecological space from 2005 to 2015 in Changli County

| | | 生活生产空间 Living-production space | | 生产生态空间 Production-ecological space | | 生态生产空间 Ecological-Production space | | 生态空间 Ecological space | | 2005 年转出 Transfer area in 2005 |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------|---------------------------------------|-----------|---------------------------------------|-----------|--------------------------|-----------|-----------------------------------|
| | | 面积/ hm ² | 转入 率/% | 面积/ hm ² | 转入 率/% | 面积/ hm ² | 转入 率/% | 面积/ hm ² | 转入 率/% | |
| 生活生产空间 | 面积/hm ² | 13635.71 | | 1176.28 | 19.85 | 118.38 | 12.00 | 31.34 | 8.35 | 1326.00 |
| Living-production space | 转出率/% | | | 88.71 | | 8.93 | | 2.36 | | 100.00 |
| 生产生态空间 | 面积/hm ² | 2659.54 | 83.30 | 66173.76 | | 672.36 | 68.17 | 218.69 | 58.28 | 3550.59 |
| Production-ecological space | 转出率/% | 74.90 | | | | 18.94 | | 6.16 | | 100.00 |
| 生态生产空间 | 面积/hm ² | 252.68 | 7.91 | 1447.15 | 24.42 | 7772.19 | | 125.22 | 33.37 | 1825.05 |
| Ecological-Production space | 转出率/% | 13.85 | | 79.29 | | | | 6.86 | | 100.00 |
| 生态空间 | 面积/hm ² | 280.55 | 8.79 | 3301.91 | 55.73 | 195.59 | 19.83 | 1809.13 | | 3778.05 |
| Ecological space | 转出率/% | 7.43 | | 87.39 | | 5.18 | | | | 100.00 |
| 2015 年转入 | Transfer area in 2015 | 3192.77 | 100.00 | 5925.34 | 100.00 | 986.33 | 100.00 | 375.25 | 100.00 | 10479.69 |

2015—2025 年发生转移的土地共有 1964.64hm²(表 4),与 2005—2015 年相比,各空间类型转变较少。这一阶段生产生态空间和生活生产空间转换数量较大,前者以转出为主,转为生活生产空间面积达 1380.53hm²,超过总输出面积的 90%;生活生产空间转入量最大,净增加 1294.64hm²;生态生产空间和生态空间变化相对较小,且均以转出为主,分别净转出 95.59hm²和 27.54hm²。

表4 昌黎县 2015—2025 年“三生”空间转移矩阵

Table 4 The transfer matrix of production-living-ecological space from 2015 to 2025 in Changli County

| | | 生活生产空间 Living-production space | | 生产生态空间 Production-ecological space | | 生态生产空间 Ecological-Production space | | 生态空间 Ecological space | | 2005 年转出 Transfer area in 2005 |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------|---------------------------------------|-----------|---------------------------------------|-----------|--------------------------|-----------|-----------------------------------|
| | | 面积/ hm ² | 转入 率/% | 面积/ hm ² | 转入 率/% | 面积/ hm ² | 转入 率/% | 面积/ hm ² | 转入 率/% | |
| 生活生产空间 | 面积/hm ² | 16623.13 | | 196.11 | 59.55 | 6.21 | 14.62 | 3.03 | 3.26 | 205.35 |
| Living-production space | 转出率/% | | | 95.50 | | 3.02 | | 1.48 | | 100.00 |
| 生产生态空间 | 面积/hm ² | 1380.53 | 92.04 | 70598.26 | | 33.02 | 77.75 | 87.29 | 94.01 | 1500.84 |
| Production-ecological space | 转出率/% | 91.98 | | | | 2.20 | | 5.82 | | 100.00 |
| 生态生产空间 | 面积/hm ² | 57.19 | 3.81 | 78.34 | 23.79 | 8620.46 | | 2.53 | 2.73 | 138.06 |
| Ecological-Production space | 转出率/% | 41.43 | | 56.74 | | | | 1.83 | | 100.00 |
| 生态空间 | 面积/hm ² | 62.27 | 4.15 | 54.88 | 16.66 | 3.24 | 7.63 | 2063.99 | | 120.39 |
| Ecological space | 转出率/% | 51.72 | | 45.59 | | 2.69 | | | | 100.00 |
| 2025 年转入 | Transfer area in 2025 | 1499.99 | 100.00 | 329.33 | 100.00 | 42.47 | 100.00 | 92.85 | 100.00 | 1964.64 |

总体来看,2005—2025 年昌黎县“三生”空间主要是由生态空间、生态生产空间向生活生产空间和生产生态空间转换。昌黎县人口不断增长、城镇化加速推进,土地资源需求增加,为满足人口增长对粮食的需求和经济建设活动扩张的需要,大量的未利用地、林地和水域用地被开发为耕地和建设用地,尤其是河流附近(滦河、刘坨沟、贾河等)的生态用地及生态生产用地大量减少,生态容纳空间及生态环境修复空间受到严重挤压,这将影响县域产业持续、健康发展。

2.3 “三生”空间冲突变化分析

利用 1.3.3 冲突测度模型,测算昌黎县 2005、2015 和 2025 年“三生”空间冲突综合指数(见表 5、图 4),结果表明:

2005 年,昌黎县空间冲突以中等及中等以下冲突水平为主,空间冲突单元占比为 68.19%。其中,弱空间冲突主要分布于县域边界位置,较弱空间冲突单元呈团块状均匀分布,主要是由于空间单元内部地类相对单一,尤其是较弱空间冲突,网格单元内部地类主要是耕地,景观地类脆弱性较小,空间脆弱性指数较低,空间冲突水平相对较低;中等空间冲突单元零散分布于各乡镇,主要受空间斑块的稳定性和脆弱度影响,空间冲突水平相对较高;较强空间冲突集中分布于县域东北部,强空间冲突单元集中分布于昌黎镇及朱各庄镇,结合县域三生空间分布图来看,这两类空间冲突单元主要出现在县域生活生产空间附近,受城镇化发展影响较大,空间斑块破碎度及其形状复杂性相对其他空间单元更为突出,空间冲突强度较高。

表 5 昌黎县“三生”空间冲突综合指数表

Table 5 Comprehensive index table of production-living-ecological spatial conflicts in Changli County

| 冲突类型 Conflict types | 冲突分级 Conflict classification | 冲突空间单元数量 Number of conflicting space units | | | 冲突单元占比 The proportion of conflicting units in the total/% | | |
|------------------------------------|---------------------------------|---|--------|--------|--|--------|--------|
| | | 2005 年 | 2015 年 | 2025 年 | 2005 年 | 2015 年 | 2025 年 |
| 弱空间冲突 Weaker spatial conflict | 0—0.2 | 104 | 76 | 74 | 9.32 | 6.81 | 6.63 |
| 较弱空间冲突 Weak spatial conflict | 0.2—0.4 | 372 | 233 | 135 | 33.33 | 20.88 | 12.10 |
| 中等空间冲突 Medium spatial conflict | 0.4—0.6 | 285 | 309 | 295 | 25.54 | 27.69 | 26.43 |
| 较强空间冲突 Strong spatial conflict | 0.6—0.8 | 277 | 713 | 489 | 24.82 | 37.01 | 43.82 |
| 强空间冲突 Stronger spatial conflict | 0.8—1.0 | 78 | 85 | 123 | 6.99 | 7.62 | 11.02 |
| 合计 Total | | 1116 | 1116 | 1116 | 100 | 100 | 100 |

2015 年县域空间冲突水平显著增强,以较强空间冲突为主,空间单元数量占比为 37.01%,集中分布于县域东北部十里铺乡、城郊区委、昌黎镇、两山乡等,南部的刘台庄镇和荒佃庄镇,以及西部的朱各庄镇。这一冲突格局与上述 2.1 建设用地格局发展趋势一致,主要受县域“龙型工业带”影响,村庄、工矿等建设用地不断向外扩张,致使空间复杂性提高,空间冲突水平增强。与其他几类空间冲突相比,强空间冲突单元数量未发生明显变化,在昌黎镇及朱各庄镇附近集聚强度相对较高;在城郊区委附近,空间冲突强度由强空间冲突水平转为较强空间冲突水平,主要是由于空间地类的转换,评价单元内的空间类型较为单一,冲突强度降低。

与 2015 年对比,2025 年县域强空间冲突单元数量增加 44.71%,较强冲突增加 18.40%,中等、较弱及弱冲突单元数量减少,其中较弱冲突单元数量减少最多,减少 42.06%,县域整体空间冲突强度提高。从空间冲突布局来看,县域空间冲突类型仍以较强空间冲突为主,呈面状分布;强空间冲突单元仍集中分布于昌黎镇及朱各庄镇,在两山乡、刘台庄镇、荒佃庄镇冲突单元数量变化较为明显,尤其是在两山乡区域,冲突单元数量变化相对显著。结合县域“三生”空间变化结果,这一冲突格局变化主要是由于城镇、村庄等生活生产空间向外扩张,空间外部压力增大,空间冲突强度提高。中等空间冲突单元呈团块状分布于县域空间,尤其是在安山镇、新集镇、龙家店镇、泥井镇分布较为集中。弱、较弱空间冲突单元则主要是分布在县域边界地区。

总体来看,2005—2025 年昌黎县空间冲突水平呈上升趋势,中等及中等以上冲突单元占比逐渐增加,研究区冲突水平逐渐以较强冲突为主。强空间冲突单元在昌黎镇、朱各庄镇显著集聚,集中分布在生活生产空间附近,随着时间的推移,集聚程度不断提高;较强空间冲突分布呈面状发展趋势,并集中分布在朱各庄镇、昌黎镇、荒佃庄镇、刘台庄镇。这两类空间冲突格局变化主要是受城镇化、产业化快速发展影响,生产生态空间、生活生产空间不断向外扩张,空间斑块破碎度、复杂性提高,导致空间冲突水平提高。尤其是滦河、刘坨沟、贾河、西沙河附近,林地、水域等生态类用地被大量占用,冲突水平逐渐增强。昌黎县已培育形成“五条龙型工业带”,基本覆盖全县域,工业基础雄厚,尤其是京津冀一体化发展更为昌黎县产业发展带来更大机遇,生活

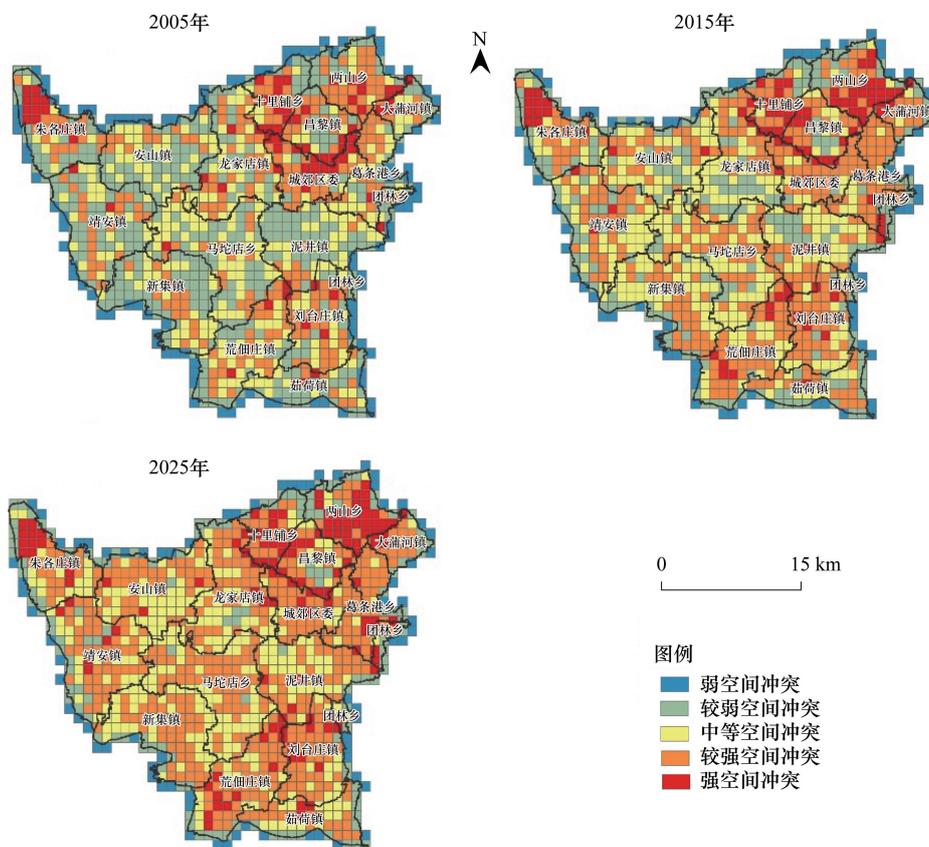


图4 昌黎县“三生”空间冲突布局

Fig.4 Conflict layout of production-living-ecological space in Changli County

生产空间、生产生态空间转换将更加“活跃”,生态生产空间、生态空间将面临威胁。

2.4 对策与建议

2005—2025年,昌黎县生活生产空间、生产生态空间面积呈增长趋势,生态生产空间、生态空间被大量占用,尤其是生态空间减少幅度最为突出,不利于资源、环境与经济的协调发展。因此,未来应采取综合措施协调“三生”空间关系,做好冲突预警工作,缓解空间冲突,优化“三生”空间布局。

(1)通过规划手段合理确定城镇、村庄发展布局,避免建设用地无序扩张。可以通过城镇建设用地内部挖潜或是建设用地增减挂钩项目,提高存量建设用地的利用强度,减少对非建设用地的占用,引导土地利用方式向生态环境友好型方向发展。此外,应积极发展县域特色产业,促进产业结构的调整和升级,以产业发展带动城镇、乡村的建设用地集聚,优化建设用地布局。

(2)大力开展生态修复工作,特别是对于生态空间侵占严重的滦河、贾河等流域,应重点开展生态恢复治理工作。采用“人工物质迁移系统+多级表流湿地+人工水草+生态边坡+景观节点”的组合工艺方案对饮马河和贾河河水及河道生态环境进行治理与修复,着重提高河流水质。综合运用工程措施与生物措施治理滦河流域生态系统,恢复流域的天然特性。推广控源减排及有机肥资源综合利用、流域测土配方施肥技术,防控农业污染。加强河道治理,通过河道清污、拦污、控污提高河流水质。

(3)重点保护林地、未利用地等生态类用地,在保障粮食安全的前提下开展退耕还林,大力推进造林绿化工作,提高生态环境质量和生境斑块的适宜性。由于昌黎县生态空间及生态生产空间较少且不连片,主要集中在县域北部的碣石山风景区和西南部的滦河沿线地带,可以通过构建生态廊道提高生态空间的连通性,扩大生物种群的活动范围,进而提高昌黎县生物多样性和生态环境质量的整体提升。

3 结论与讨论

本文以昌黎县为研究区,采用 CLUE-S 模型预测研究区 2025 年的土地利用格局,依据景观生态指数构建空间冲突指数模型,评价县域 2005 年、2015 年及 2025 年“三生”空间利用冲突强度,主要得出以下结论:

(1)2005—2025 年昌黎县“三生”空间以生产生态空间为主,其次是生活生产空间。随着时间的推移,生活生产空间面积呈现不断上升的趋势,生态生产空间和生态空间面积呈现不断下降的趋势,生产生态空间面积呈现波动变化的特点。从四类空间的空间面积转换情况来看,生产生态空间、生活生产空间变化较其他两类空间变化更为“活跃”。尤其是滦河、贾河等河流附近,受经济发展影响,林地、未利用地等生态类用地被大量占用,空间转换强度比较大。

(2)2005—2025 年,昌黎县县域空间冲突水平整体呈上升趋势,空间冲突水平逐渐以较强冲突为主。强空间冲突单元在昌黎镇、朱各庄镇显著集聚,集中分布在生活生产空间附近;较强空间冲突呈面状发展趋势,2025 年以朱各庄镇、昌黎镇、荒佃庄镇、刘台庄镇为中心形成空间集聚。主要是由于生产生态空间、生活生产空间不断向外扩张,空间斑块破碎度、复杂性提高,导致空间冲突水平提高。随着产业发展速度的加快,生活生产空间、生产生态空间转换将更加“活跃”,生态生产空间、生态空间将面临威胁。

(3)本文基于 CLUE-S 模拟预测结果,分析县域 2005—2025 年“三生”空间冲突格局演变特征,空间冲突格局变化显著,表明 CLUE-S 模型可以较好地模拟和预测昌黎县土地利用格局动态变化过程。但本文未进行空间冲突格局的优化模拟。如何将空间冲突评价结果应用于空间优化模拟中,是今后努力研究的重要方向。

参考文献 (References):

- [1] 于伯华,吕昌河. 土地利用冲突分析:概念与方法. 地理科学进展, 2006, 25(3): 106-115.
- [2] 杨永芳,朱连奇. 土地利用冲突的理论及诊断方法. 资源科学, 2012, 34(6): 1134-1141.
- [3] 廖李红,戴文远,陈娟,黄万里,江方奇,胡秋风. 平潭岛快速城市化进程中三生空间冲突分析. 资源科学, 2017, 39(10): 1823-1833.
- [4] 周国华,彭佳捷. 空间冲突的演变特征及影响效应——以长株潭城市群为例. 地理科学进展, 2012, 31(6): 717-723.
- [5] 周德,徐建春,王莉. 近 15 年来中国土地利用冲突研究进展与展望. 中国土地科学, 2015, 29(2): 21-29.
- [6] Carpenter S L, Kennedy W J D. Environmental conflict management: new ways to solve problems. Mountain Research and Development, 1981, 1(1): 65-70.
- [7] 宋振江,李争,杨俊. 矿粮复合区土地利用冲突强度测算研究——以江西省德兴铜矿和永平铜矿污染区域为例. 中国农业资源与区划, 2018, 39(3): 78-85, 200-200.
- [8] 彭佳捷,周国华,唐承丽,贺艳华. 基于生态安全的快速城市化地区空间冲突测度——以长株潭城市群为例. 自然资源学报, 2012, 27(9): 1507-1519.
- [9] 贺艳华,唐承丽,周国华,何胜,邱永红,石亮,张浩中. 基于地理学视角的快速城市化地区空间冲突测度——以长株潭城市群地区为例. 自然资源学报, 2014, 29(10): 1660-1674.
- [10] 叶丽芳. 土地利用冲突分析与诊断研究[D]. 南京:南京农业大学, 2010.
- [11] 阮松涛,吴克宁. 城镇化进程中土地利用冲突及其缓解机制研究——基于非合作博弈的视角. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(S2): 388-392.
- [12] 周德,徐建春,王莉. 环杭州湾城市群土地利用的空间冲突与复杂性. 地理研究, 2015, 34(9): 1630-1642.
- [13] 赵杰,罗志军,赵越,曹丽萍,冉凤维,江春燕. 基于改进灰靶模型的区域土地利用冲突强度诊断——以南昌市为例. 江西农业大学学报, 2017, 39(6): 1256-1263.
- [14] 冉娜,金晓斌,范业婷,项晓敏,刘晶,周寅康,沈春竹. 基于土地利用冲突识别与协调的“三线”划定方法研究——以常州市金坛区为例. 资源科学, 2018, 40(2): 284-298.
- [15] 王海鹰,秦奋,张新长. 广州市城市生态用地空间冲突与生态安全隐患情景分析. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1304-1318.
- [16] 冯宇,毕如田,王瑾,吕春娟,张迁迁. 流域矿业开采引发的土地利用空间冲突及优化配置. 中国土地科学, 2016, 30(11): 32-40.
- [17] 马学广,王爱民,闫小培. 城市空间重构进程中的土地利用冲突研究——以广州市为例. 人文地理, 2010, 25(3): 72-77.
- [18] Kalabamu F T. Land tenure reforms and persistence of land conflicts in Sub-Saharan Africa-the case of Botswana. Land Use Policy, 2019, 81: 337-345.

- [19] 杨永芳, 安乾, 朱连奇. 基于 PSR 模型的农区土地利用冲突强度的诊断. 地理科学进展, 2012, 31(11): 1552-1560.
- [20] 闵婕, 汪洋, 白茹月, 张杰, 孔祥玉. 基于多目标适宜性的山地城市土地利用潜在冲突研究——以重庆市綦江区为例. 重庆师范大学学报: 自然科学版, 2018, 35(3): 82-89.
- [21] 刘巧芹, 赵华甫, 吴克宁, 于潇, 张清军. 基于用地竞争力的潜在土地利用冲突识别研究——以北京大兴区为例. 资源科学, 2014, 36(8): 1579-1589.
- [22] 王爱民, 马学广, 闫小培. 基于行动者网络的土地利用冲突及其治理机制研究——以广州市海珠区果林保护区为例. 地理科学, 2010, 30(1): 80-85.
- [23] Pontius Jr R G, Schneider L C. Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2001, 85(1/3): 239-248.
- [24] 王芳, 陈芝聪, 谢小平. 太湖流域建设用地与耕地景观时空演变及驱动力. 生态学报, 2018, 38(9): 3300-3310.
- [25] 刘菁华, 李伟峰, 周伟奇, 韩立建, 钱雨果, 郑晓欣. 京津冀城市群景观格局变化机制与预测. 生态学报, 2017, 37(16): 5324-5333.
- [26] 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. 地理学报, 2017, 72(7): 1290-1304.
- [27] 张红旗, 许尔琪, 朱会义. 中国“三生用地”分类及其空间格局. 资源科学, 2015, 37(7): 1332-1338.
- [28] 于莉, 宋安安, 郑宇, 简卿, 张蓬涛. “三生用地”分类及其空间格局分析——以昌黎县为例. 中国农业资源与区划, 2017, 38(2): 89-96.
- [29] 杨清可, 段学军, 王磊, 金志丰. 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. 地理科学, 2018, 38(1): 97-106.
- [30] 金星星, 陆玉麒, 林金煌, 祁新华, 胡国建, 李欣. 闽三角城市群生产-生活-生态时空格局演化与功能测度. 生态学报, 2018, 38(12): 4286-4295.
- [31] 戴文远, 江方奇, 黄万里, 廖李红, 姜坤. 基于“三生空间”的土地利用功能转型及生态服务价值研究——以福州新区为例. 自然资源学报, 2018, 33(12): 2098-2109.
- [32] 徐健, 周寅康, 金晓斌, 易理强. 基于生态保护对土地利用分类系统未利用地的探讨. 资源科学, 2007, 29(2): 137-141.
- [33] 邓红兵, 陈春娣, 刘昕, 吴钢. 区域生态用地的概念及分类. 生态学报, 2009, 29(3): 1519-1524.
- [34] 张龙, 宋戈, 孟飞, 王学伟. 宁安市土地生态脆弱性时空变化分析. 水土保持研究, 2014, 21(2): 133-137, 143-143.