

2000—2020年南昌市南昌县“三生”空间演变与土地利用相对冲突

王德岭^{1,2}, 黄丽萍^{1,2}, 陈竹安^{1,2}

(1.东华理工大学 测绘与空间信息工程学院, 江西 南昌 330013;

2.东华理工大学 自然资源部环鄱阳湖区域矿山环境监测与治理重点实验室, 江西 南昌 330013)

摘要: [目的] 探讨江西省南昌市南昌县 2000—2020 年的“三生”空间演变与土地利用相对冲突识别和测度, 为优化国土空间发展格局和实现社会经济可持续发展提供理论和实践参考。[方法] 基于 2000, 2010 和 2020 年 3 期遥感影像和土地利用覆被数据, 以“三生”空间为研究基础, 运用遥感生态指数 (RSEI) 和景观格局指数构建土地利用相对冲突识别测度模型, 通过转移矩阵和 ArcGIS 可视化分析土地利用相对冲突的时空演变格局。[结果] ①2000—2020 年, 由于城市的扩张和人类活动的影响, 南昌县生活—生产空间对外急剧扩张, 生产—生态空间和生态空间面积逐年下降。②南昌县 2000—2020 年遥感生态指数均值下降, 生态环境质量状况整体缓慢下降, 生态环境恶化区域不断扩大。③2000—2020 年, 研究区土地利用绝对冲突总面积持续增加, 2000—2010 年至 2010—2020 年, 土地利用相对冲突总面积整体略有减少。④2000—2020 年, 研究区土地利用绝对冲突失控区域, 主要位于中心城区, 并随着城市化的发展不断向外扩张。2000—2010 年至 2010—2020 年, 土地利用相对冲突的中高冲突区由中心城区向外围转移, 后 10 a 主要位于城市扩张区。[结论] 南昌县“三生”空间演变剧烈, 生态环境质量下降, 土地利用绝对冲突和相对冲突水平不断上升。因此, 应落实严守耕地保护红线、改善生态环境和优化国土空间布局等策略以实现土地利用冲突的优化。

关键词: 土地利用冲突; “三生”空间; 遥感生态指数; 南昌市南昌县

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2024)02-0426-11

中图分类号: F301.2, X826

文献参数: 王德岭, 黄丽萍, 陈竹安. 2000—2020 年南昌市南昌县“三生”空间演变与土地利用相对冲突 [J]. 水土保持通报, 2024, 44(2): 426-436. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2024.02.042; Wang Deling, Huang Liping, Chen Zhu'an. Evolution of productional-living-ecological space and land use relative conflict at Nanchang County of Nanchang City from 2000 to 2020 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44(2): 426-436.

Evolution of Productional-Living-Ecological Space and Land Use Relative Conflict at Nanchang County of Nanchang City from 2000 to 2020

Wang Deling^{1,2}, Huang Liping^{1,2}, Chen Zhu'an^{1,2}

(1. School of Surveying and Geoinformation Engineering, East China University of Technology,

Nanchang, Jiangxi 330013, China; 2. Key Laboratory of Mine Environmental Monitoring and Improving around Poyang Lake of Ministry of Natural Resources, East China University of Technology, Nanchang, Jiangxi 330013, China)

Abstract: [Objective] The spatial evolution of the productional-living-ecological space and the identification and measurement of land use relative conflict at Nanchang County of Nanchang City, Jiangxi Province from 2000 to 2020 were studied in order to provide a theoretical and practical reference for optimizing the pattern of territorial development and to achieve sustainable development of the social economy. [Methods] Based on three periods of remote sensing images and land use and land cover data in 2000, 2010, and 2020, with the

收稿日期: 2023-09-25

修回日期: 2023-10-27

资助项目: 国家自然科学基金项目“人本视角下‘城—绿’空间耦合调控—作用机制—调控模型与优化路径”(52168010); 教育部人文社会科学基金项目(22YJCZH150); 江西省教育厅课题“基于自组织迁移算法(SOMA)的小波阈值遥感图像去噪研究”(GJJ2206614)

第一作者: 王德岭(1997—), 男(汉族), 山东省菏泽市人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用冲突与生态环境保护。Email: wangdeling052097@163.com。

通信作者: 陈竹安(1978—), 男(汉族), 福建省三明市人, 硕士, 副教授, 主要从事测绘技术、土地信息技术和遥感数据处理方面的研究。Email: cza53@qq.com。

productional-living-ecological space as the research basis, the remote sensing ecological index (RSEI) and landscape pattern index were used to construct a land use relative conflict measurement model. The temporal and spatial evolution patterns of land use relative conflict were analyzed by use of a transfer matrix and ArcGIS visualization. [Results] ① From 2000 to 2020, due to urban expansion and the influence of human activities, the living-productional space in Nanchang County expanded sharply, and the area of production-ecological space and ecological space decreased year by year. ② From 2000 to 2020, the mean value of RSEI decreased in Nanchang County, the overall quality of the ecological environment gradually decreased, and there was an ongoing expansion of the ecological environment degradation region. ③ From 2000 to 2020, the total area of land use absolute conflicts continued to increase, and from 2000—2010 to 2010—2020, the total area of land use relative conflicts decreased slightly. ④ From 2000 to 2020, the out-of-control areas of land use absolute conflicts were mainly located in the central urban area, and continuously expanded outward with the development of urbanization. From 2000—2010 to 2010—2020, the medium and high conflict areas of land use relative conflict shifted from the central urban area to the periphery, mostly in urban expansion areas during the last ten years. [Conclusion] In Nanchang County, the productional-living-ecological space has undergone a significant transformation. The quality of the ecological environment has declined. The absolute and relative land use conflicts have grown. Thus, strategies such as closely adhering to the red line of cultivated land protection, improving the ecological environment, and optimizing territorial spatial layout should be put into practice in order to optimize land use conflicts.

Keywords: land use conflict; productional-living-ecological spaces; remote sensing ecological index (RSEI); Nanchang County of Nanchang City

土地利用冲突不仅表现为由于空间资源的稀缺性、功能的外溢性引起的人与人之间的空间资源权益竞争和博弈,还表现为土地过度开发利用与生态环境破坏之间的冲突^[1-2]。城市边缘区是城镇向外扩张的主要区域,在促进地区社会经济发展历程中发挥了重要作用,但无序的土地利用开发等人类活动导致区域生态环境结构失衡、空间资源配置失调,“生产—生活—生态”空间格局遭到破坏,“三生”空间利用的社会经济效益与生态效益矛盾突出^[3-6]。如何在中国城镇化快速扩张背景下识别与优化土地利用冲突问题是实现城市可持续发展和维护国土空间生态安全的研究重点。在党的“十八大”提出“调整空间结构,优化国土空间格局”的背景下,张红旗^[7]、李广东等^[8]基于土地利用功能探讨三生空间识别、演变与优化,随之众多学者以“三生”空间为研究基础开展了国土空间优化、生态系统服务价值评估、土地整治等系列研究。同时,“三生”空间分类体系也为土地利用冲突提供了新的研究视角^[5-6],其中对于冲突区域识别和冲突强度测度是当下国土空间规划和“三生”空间背景下的研究热点。目前,国内外对于土地利用冲突的研究比较完善。相关学者从地理学^[9]、生态学^[10-11]、社会经济学等^[12]不同领域,对土地利用冲突的成因内涵^[4,19-20]、演变特征^[11,13-14]、诊断优化^[5,15-18]、识别测度^[4,19-20]等内容进行了系统的研究,研究尺度多为省市县行政区^[5-6]、城市群^[21]、河流流域^[22]、干旱地

区^[23]、资源型城市等^[24]。在研究方法上,主要有PSR模型^[25]、景观格局指数^[4-6]、适宜性评价^[26-27]等方法。其中,PSR模型可以综合判断研究区整体的土地利用冲突强度,但难以划分冲突等级和确定空间冲突水平。适宜性评价可以判断潜在土地利用冲突,但其评价指标的选取和因子权重赋值存在较大的主观性,且对土地利用冲突的现状欠缺考虑。景观格局指数可以测度冲突的时空强度,但评价指标较少,主要关注城市化发展进程中土地利用空间布局的稳定性和脆弱性。以上研究方法,均对城市化背景下土地利用冲突对生态环境质量的影响效应欠缺考虑。王健^[21]引用生态环境质量指数,基于不同年份的差异比较,从生态响应视角对土地利用冲突变化严重区域进行识别、测度,可以更好地表达土地利用相对冲突(land use relative conflict)水平,但引用的生态环境质量指数,采用专家打分法存在一定的主观性^[28-29]。为此,本研究在借鉴相关学者对土地利用冲突研究的基础上,以南昌县为研究区,引用一种客观赋值的方法,采用遥感生态指数^[30](RSEI)来分析南昌县的生态环境质量状况,以“三生空间”为研究基础,对南昌县的生态环境质量进行动态分析与评价,基于生态环境质量评价成果,融合景观格局指数构建县域土地利用相对冲突测度模型。以期能够科学、合理地分析评价地区土地利用冲突的演变格局和强度水平,为制定区域发展政策、调整地区发展规划、加强生态环境保

护、优化国土空间格局和实现区域可持续发展提供理论和实践参考。

1 概念界定与理论框架

从经济学和社会学角度来看,土地利用冲突本质上是土地利用各主体在某一空间区域内对以土地为基础的自然资源要素进行利益博弈的过程^[1],其本质是人类活动对自然资源的掠夺与竞争所致。但从人

地关系理论来看,土地利用空间冲突还表现为人类活动对自然生态资源的掠夺与开发,进而导致的人类活动与自然环境两个系统之间的冲突,即土地过度开发利用与生态环境破坏之间的冲突^[31-32]。

本文在王健^[20]的研究基础上,引用遥感生态指数^[30]分析南昌县的生态环境质量状况,融合景观格局指数构建县域土地利用相对冲突测度模型。土地利用相对冲突理论框架如图 1 所示。

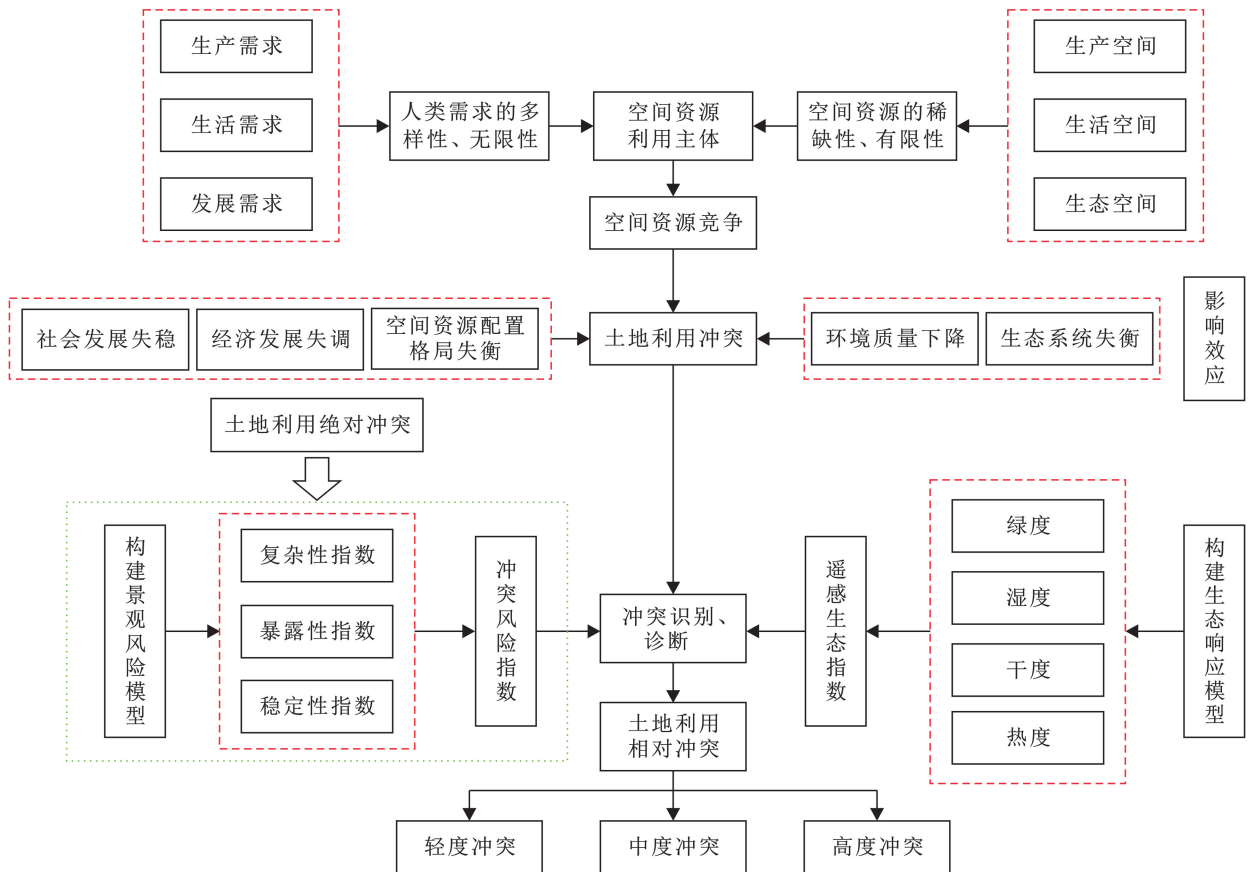


图 1 土地利用相对冲突理论框架

Fig.1 Theoretical framework of land use relative conflict

2 研究区概况与研究方法

2.1 研究区概况

南昌县隶属于江西省南昌市,位于北纬 $28^{\circ}16'$ — $28^{\circ}58'$ 、东经 $115^{\circ}49'$ — $116^{\circ}19'$,赣江、抚河横穿而过,气候湿润,降水充沛,地势平缓。三面环抱南昌市主城区,地区交通发达,是进出南昌市的必经之路。良好的地理区位为南昌县快速的城镇化进程和经济发展提供了地缘优势,2020年,县域常住人口城镇化率 63.10%,南昌县地区生产总值 1 280.35 亿元,连续 11 a 位居全省县域经济第一位,连续多年位列全国百强县行列。但高速发展的经济和城镇化无序扩张也给地区自然环境造成严重破坏,导致生态环境日益

恶化。2020年,南昌县森林覆盖率仅为 10.72%,森林质量整体不高,2016—2020年,南昌县湖泊面积和蓄水容积不断减少,河湖湿地等水系面积减少了 $4\,343.91\text{ hm}^2$,严重影响地区的可持续发展。

2.2 数据来源

选取南昌县 2000、2010 和 2020 年 3 期遥感影像和土地利用等相关数据作为试验数据基础,以“三生”空间用地类型为研究基础,以 $600\text{ m}\times 600\text{ m}$ 的空间网格为评价单元,结合冲突风险指数和遥感生态指数表征南昌县土地利用相对冲突水平。2000—2020 年 3 期土地利用数据来自于中国科学院资源与环境科学数据中心。遥感影像数据来自于美国国家地质调查局,经过分析对比之后,选取 2000 年 9 月 23 日、

2010年8月18日、2020年9月6日的3幅Landsat遥感影像进行试验,其数据影像云量均小于10%,研究区影像质量较好,符合研究精度要求。其他数据来源于《南昌县年鉴》和南昌县人民政府官方网站。

2.3 研究方法

2.3.1 “三生”空间分类体系 参考张红旗^[7]对“三

生”空间划分的研究成果,考虑土地利用的多功能性,强调主要功能,兼顾次要功能,将南昌县土地利用类型划分为“生产—生态空间”“生活—生产空间”“生态空间”和“生态—生产空间”4种类型作为土地利用冲突研究的基础。由此得出的江西省南昌县“三生”空间分类体系详见表1。

表1 “三生”空间分类体系

Table 1 Productional-living-ecological spaces classification

“三生”空间	内涵	对应土地利用类型	划分依据
生产—生态空间	以农业生产功能为主,同时兼具生态功能	水田、旱地	水田、旱地具有食物供给的重要生产功能,同时具有一定的固碳释氧、土壤保持、保护生物多样性等生态功能
生活—生产空间	主要满足人类基本生活和精神需求,同时兼具多样化的生产功能,所含有的经济价值最高	城镇用地、农村居民点、其他建设用地	城乡、工矿、居民点等建设用地具有生活承载、生活保障和文化休闲等生活功能,同时又兼具能源矿产生产、商品与服务产业生产、原材料加工等生产功能
生态空间	提供生态产品和服务,具有调节气候、固碳释氧、保护生物多样性等功能	灌木林、疏林地、高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地、河渠、湖泊、滩地、沼泽地、裸土地、裸岩	生态空间对应的大部分土地类型主要具有生态服务和生态防护两大生态功能,具体包含水源涵养、地下水补给、土壤保持、固碳释氧、防洪蓄水、防风固沙、地质灾害防护等生态功能,少部分地类生态稳定性和恢复力有限,整体生活和生产功能不突出,主要用于保障国土空间生态安全
生态—生产空间	以生态功能为主,并能进行适当的生产活动,提供经济效益	有林地、其他林地、水库坑塘	有林地、其他林地(苗圃、园地、迹地等)和水库坑塘是生态空间的重要组成部分,生态功能完整,生态稳定性和恢复力较高,易受人类活动影响,具备一定的生产功能,但其生态功能强于生产功能

2.3.2 结合遥感生态指数的土地利用相对冲突测度方法

土地利用冲突是人对土地利用变化结果的一种主观衡量,社会—经济—生态效应是土地利用变化的客观结果。土地利用类型的改变既有可能优化土地利用结构、缓解人地冲突、改善生态环境,也有可能导致人地矛盾加剧。而土地利用冲突的产生必然伴随着一系列的负面效应,比如社会经济发展失调、资源配置失衡和生态环境系统失调等问题。本文通过冲突风险指数和遥感生态指数来构建研究区“三生”空间土地利用冲突模型。以冲突风险指数表征土地利用绝对冲突,以对比不同年份之间冲突风险指数上升,遥感生态指数下降来表征生态环境响应下的土地利用相对冲突。其公式定义为:

$$LURC = [(CRI_{t_2} - CRI_{t_1}) > 0] \wedge [(RSEI_{t_2} - RSEI_{t_1}) < 0] \quad (1)$$

$$LURCI = |CRI_{t_2} - CRI_{t_1}| + |RSEI_{t_2} - RSEI_{t_1}| \quad (2)$$

式中:LURC为土地利用相对冲突区域;LURCI为土地利用相对冲突指数;CRI为冲突风险指数,也代表土地利用绝对冲突指数(LUACI);RSEI为遥感生态指数; t_1, t_2 代表某一时间段的起止时间。

2.3.3 冲突风险指数 CRI为冲突风险指数,其由景观格局指数构成,本文视为土地利用绝对冲突指数。

$$CRI = CI + EI + SI \quad (3)$$

式中:CI为空间复杂性指数;EI为土地利用暴露性指数;SI为土地利用稳定性指数。

(1) 空间复杂性主要是由于城镇快速化进程中利益相关者无序地开发利用土地资源,进而导致土地利用效率低下,斑块利用类型日趋复杂,土地利用问题不断加剧。本文选择面积加权平均斑块分形指数(AWMPFD)来测算人类活动干扰下的空间复杂性指数(CI),其表达式为:

$$CI = AWMPFD = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\frac{2 \ln(0.25 P_{ij})}{\ln a_{ij}} \times \frac{a_{ij}}{A} \right] \quad (4)$$

式中: P_{ij} 为斑块的周长; a_{ij} 为斑块的面积; A 为景观中空间单元总面积; m 为研究区域内评价单元总数; n 为景观类型数。

(2) 土地利用脆弱度表示当前土地利用格局中不同土地利用类型受到外界扰动时表现出的本质属性。根据经验值及研究区实际状况,对土地利用空间类型进行脆弱性强度赋值,生活—生产空间、生产—生态空间、生态—生产空间、生态空间分别赋值为4,3,2,1。土地利用暴露性指数(EI)的表达式为:

$$EI = \sum_{i=1}^n F_i \times \frac{a_i}{A} \quad (5)$$

式中: F_i 表示空间单元中景观地类的脆弱性程度;

a_i 表示空间单元内 i 类景观斑块总面积; m 表示空间类型数量。

(3) 土地利用稳定性指数(SI)一般选用景观格局指数中的景观破碎度(PD)进行计算,其表达式为:

$$SI=1-PD \quad (6)$$

$$PD=N_i/A \quad (7)$$

式中: N_i 表示空间单元内 i 类土地类型的数目; PD 为斑块密度。斑块密度的值越大,则表示空间单元的土地利用破碎度越高,抵御外界干扰的能力也越差。

2.3.4 遥感生态指数 生态环境质量评价是衡量一个地区生态环境质量状况变化的有效手段。由徐涵秋^[30]提出的基于绿度、湿度、干度和热度 4 个自然指标的遥感生态指数已被国内外学者所认可并广泛应用于地区生态环境质量评价。其遥感定义为:

$$RSEI=f(NDVI, Wet, LST, NDBSI) \quad (8)$$

式中:NDVI 为归一化植被指数; Wet 为湿度分量; LST 为地表温度; NDBSI 为城市建筑和裸土指数。

NDVI(归一化植被指数)表达式为:

$$IBI=\frac{2\rho_{swir1}/(\rho_{swir1}+\rho_{nir}-[\rho_{nir}/(\rho_{nir}+\rho_{red})+\rho_{green}/(\rho_{green}+\rho_{swir1})])}{2\rho_{swir1}/(\rho_{swir1}+\rho_{nir})+[\rho_{nir}/(\rho_{nir}+\rho_{red})+\rho_{green}/(\rho_{green}+\rho_{swir1})]} \quad (13)$$

$$SI=[(\rho_{swir1}+\rho_{red})-(\rho_{nir}+\rho_{blue})]/[(\rho_{swir1}+\rho_{red})+(\rho_{nir}+\rho_{blue})] \quad (14)$$

式中: ρ_{blue} 、 ρ_{green} 、 ρ_{red} 、 ρ_{nir} 、 ρ_{swir1} 、 ρ_{swir2} 分别为蓝波段、绿波段、红波段、近红外波段、中红外波段 1 和中红外波段 2。

热度指标可用大气校正法从遥感影像中反演的地表温度代表^[33-34],其表达式为:

$$LST=K_2/\ln[K_1/B(T_s)+1] \quad (15)$$

式中: K_1 、 K_2 为常量,其取值可参见遥感数据头文件。

$$B(T_s)=[L_\lambda-L_\uparrow-\tau(1-\varepsilon)L_\downarrow]/\tau\varepsilon \quad (16)$$

式中: L_λ 为热红外波段的辐射亮度值; τ 为热红外波段的大气透过率; ε 为地表比辐射率; L_\uparrow 、 L_\downarrow 、 τ 的取值可参见 NASA 网站。

$$L_\lambda=gain \times DN+bias \quad (17)$$

式中: L_λ 代表 ETM 和 OLI 影像热红外波段像元在传感器处的辐射亮度值; DN 为像元灰度值; gain、bias 分别表示热红外波段的增益值和偏置值。

3 结果与分析

3.1 “三生”空间时空布局与演变分析

由图 2 可见,生产—生态空间和生态空间在南昌县土地利用类型中占据主体地位,但两者面积均呈逐年减小趋势,2000 年所占比例为 89.6%,2020 年比例

$$NDVI=\frac{\rho_{nir}-\rho_{red}}{\rho_{nir}+\rho_{red}} \quad (9)$$

式中: ρ_{red} 、 ρ_{nir} 分别为红波段和近红外波段。

湿度指标以湿度分量为代表,Landsat ETM 和 Landsat OLI 的湿度计算表达式分别为:

$$Wet_{ETM}=K_1\rho_{blue}+K_2\rho_{green}+K_3\rho_{red}+K_4\rho_{nir}+K_5\rho_{swir1}+K_6\rho_{swir2} \quad (10)$$

$$Wet_{OLI}=K_1\rho_{blue}+K_2\rho_{green}+K_3\rho_{red}+K_4\rho_{nir}+K_5\rho_{swir1}+K_6\rho_{swir2} \quad (11)$$

式中: K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 、 K_5 、 K_6 为常量; Landsat ETM 分别为 0.262 6, 0.214 1, 0.092 6, 0.065 6, -0.762 9, -0.538 8; Landsat OLI 分别为 0.151 1, 0.197 3, 0.328 3, 0.340 7, -0.711 7, -0.455 9; ρ_{blue} 、 ρ_{green} 、 ρ_{red} 、 ρ_{nir} 、 ρ_{swir1} 、 ρ_{swir2} 分别为蓝波段、绿波段、红波段、近红外波段、中红外波段 1 和中红外波段 2。

干度指标 NDBSI(城市建筑和裸土指数)其表达式为:

$$NDBSI=(IBI+SI)/2 \quad (12)$$

下降为 83.6%。生活—生产空间主要集中分布于南昌县中西部地区,随着生活—生产空间进一步扩张,生产—生态和生态空间受到不断侵占。

3.2 冲突风险指数演变分析

通过 Fragstats 软件对“三生”空间数据进行网格单元景观格局指标的计算,对构建的冲突风险指数进行可视化分析,表征南昌县 2000, 2010 和 2020 年的土地利用绝对冲突水平。具体结如图 3 所示,南昌县 2000—2020 年冲突风险均值分别为 0.423 5, 0.428 1 和 0.437 1, 对应标准差分别为 0.166 7, 0.175 4 和 0.177 4, 空间单元冲突风险水平和差异强度均呈不断上升趋势。2000 年,冲突风险以可控(稳定可控和基本可控)为主,其中可控区域占南昌县总面积比重为 70.84%;失控区域(基本失控和严重失控)比例为 29.16, 分布较为分散。2010 年,可控区域比例下降为 67.98%,失控区域占比提高至 32.02%,其中严重失控区域面积为 155.33 km²,基本失控区域面积为 425.34 km²,且集中分布于南昌县中心城区和中西部地区。2020 年,可控区域范围持续减少,失控区域比例进一步提高至 34.63%,其中严重失控面积为 189.21 km²,基本失控面积为 438.83 km²,且失控区域从中心城区不断向外扩张至中部的麻丘镇和昌东镇,空间集聚特征愈发显著。

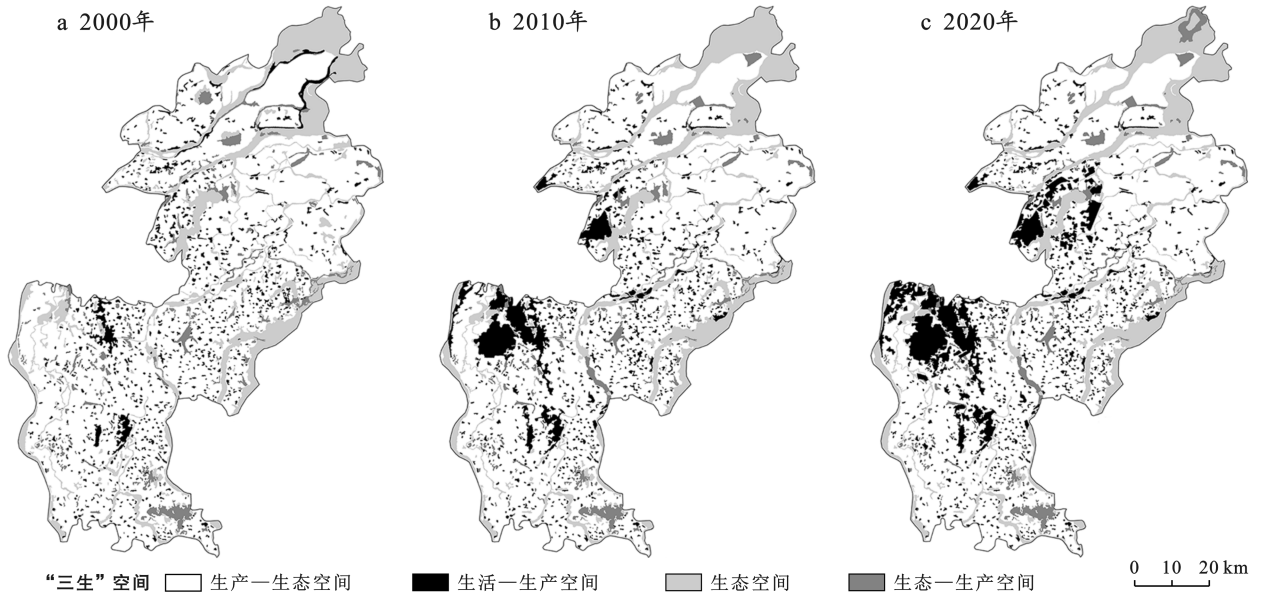


图 2 2000—2020 年南昌县“三生”空间演变特征

Fig.2 Spatial patterns of production-living-ecological space at Nanchang County from 2000 to 2020

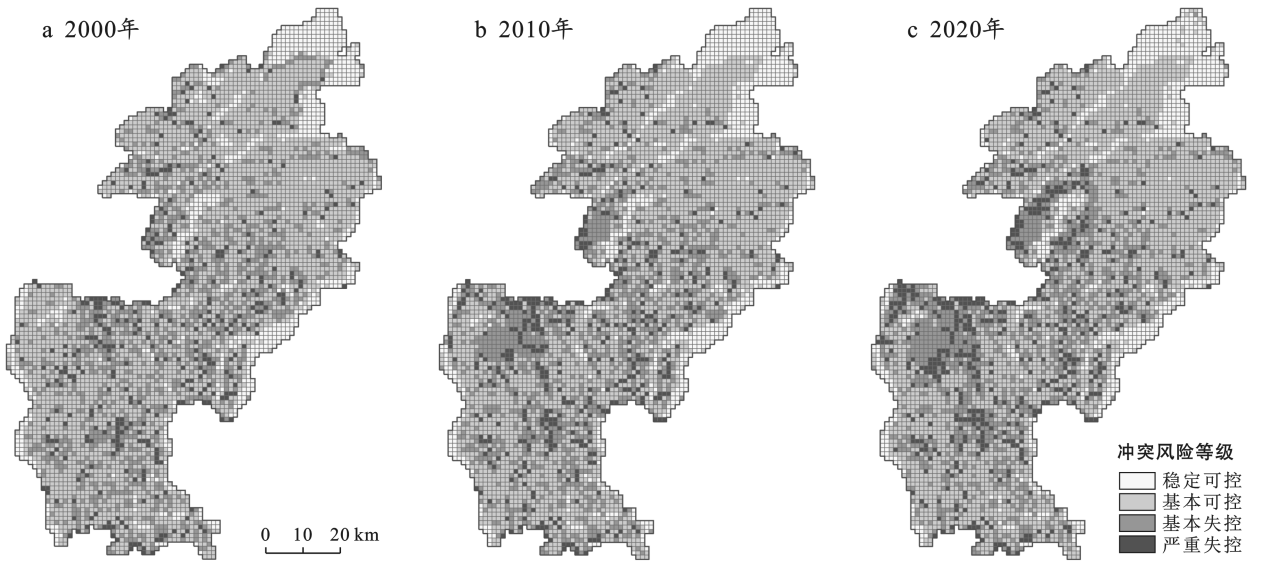


图 3 2000—2020 年南昌县冲突风险指数等级

Fig.3 Conflict risk index level of Nanchang County from 2000 to 2020

3.3 生态环境质量演变分析

运用 ENVI5.3 软件,对绿度、湿度、干度、热度 4 个指标进行主成分分析,计算南昌县各年份的主成分特征值和贡献率,具体结果如表 2 所示。试验结果显示,南昌县 2000,2010 和 2020 年遥感生态指数第一主成分(PC₁)的特征值分别为 0.250 2,0.195 3 和 0.318 9,对应的贡献率分别为 78.51%,75.13 和 86.1%,第一主成分的贡献率最大,均在 75%以上。表明 PC₁ 包含了绝大部分的遥感指标合成信息,可以用于遥感生态指数的计算,反映研究区生态环境质量状况。其中 2010 年 PC₁ 中绿度、湿度、干度、热度 4

个指标的特征向量呈现出两负两正的特征,表明该年南昌县的生态条件与 PC₁ 值成反比,为方便数据结果分析对比,对 2010 年的 PC₁ 值做取反处理,使 PC₁ 值的大小与表征的生态环境质量成正比关系。

采用等间距分级法把生态遥感指数划分为:0 ≤ RSEI < 0.2, 0.2 ≤ RSEI < 0.4, 0.4 ≤ RSEI < 0.6, 0.6 ≤ RSEI < 0.8, 0.8 ≤ RSEI ≤ 1 共 5 个等级,对应生态环境质量差、较差、中等、良好、优秀 5 类等级。统计结果如表 3 所示,经过标准化处理后,2000,2010 和 2020 年 RSEI 的均值分别为 0.660 7,0.641 和 0.626 8,其中 2000—2010 年和 2010—2020 年 RSEI 均值的下降幅

度分别为 2.98% 和 2.22%，表明南昌县 2000—2020 年的生态环境质量呈现出缓慢下降的趋势。

表 2 南昌县 2000—2020 年 RSEI 各指标主成分分析

Table 2 Principal component (PC) analysis of RSEI indicators of Nanchang County from 2000 to 2020

年份	指标	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄
2000	NDVI	0.507 7	0.142 0	-0.849 6	-0.013 7
	WET	0.588 8	0.017 1	0.342 9	0.731 7
	NDBSI	-0.352 1	0.739 8	-0.341 5	0.460 6
	LST	-0.521 1	0.657 5	-0.209 6	0.502 2
	特征值	0.250 2	0.048 1	0.017 0	0.003 5
	特征值贡献率/%	0.785 1	0.150 8	0.053 2	0.010 9
	2010	NDVI	-0.465 4	-0.332 9	-0.818 8
WET		-0.596 6	0.117 3	0.332 5	0.721 0
NDBSI		0.380 2	0.678 3	0.467 9	0.420 0
LST		0.532 0	-0.644 5	-0.009 1	0.549 2
特征值		0.195 3	0.045 3	0.015 9	0.003 4
特征值贡献率/%		0.751 3	0.174 5	0.061 3	0.012 9
2020		NDVI	0.451 4	0.219 3	0.864 8
	WET	0.557 4	-0.038 6	0.293 0	0.775 9
	NDBSI	-0.476 5	-0.630 6	0.401 6	0.462 6
	LST	-0.508 4	0.743 5	0.070 3	0.428 7
	特征值	0.318 9	0.026 6	0.023 5	0.001 4
	特征值贡献率/%	0.861 0	0.071 8	0.063 5	0.003 7

表 3 南昌县冲突风险指数和遥感生态指数统计

Table 3 Conflict risk index and RSEI of Nanchang County from 2000 to 2020

年份	冲突风险指数		遥感生态指数	
	平均值	标准差	平均值	标准差
2000	0.423 5	0.166 7	0.660 7	0.236 5
2010	0.428 1	0.175 4	0.641 0	0.200 7
2020	0.437 1	0.177 4	0.626 8	0.256 2

试验结果显示：①2000 年南昌县生态环境质量总体较好，生态环境差和较差区域主要呈线状分布特征，集中于中心城区（小蓝经开区中部、银三角中西部）和南部地区（向塘镇中部、黄马乡中北部和莲塘镇）。②随着地区经济的快速发展，2010 年生态环境恶化特征与地理区位理论中城市演化特征相契合，以南昌市主城区为依靠，南昌县中心城区为扩张中心，生态环境质量下降区域呈向四周扩散趋势，主要集中于中心城区（小蓝经济开发区、银三角和莲塘镇）及其西部（东新乡、冈上镇）、北部（昌东镇）和南部（向塘镇、黄马乡）。③2010—2020 年，南昌县城镇化扩张的速度依然在加快，其生态环境质量恶化区域进一步扩大，呈现出集中连片的分布特征。主要分布为南昌县中心城区（东新乡、冈上镇、八一乡、武阳镇）及其北部（麻丘镇、昌东镇）两大片区。RSEI 具体分布如图 4 所示。

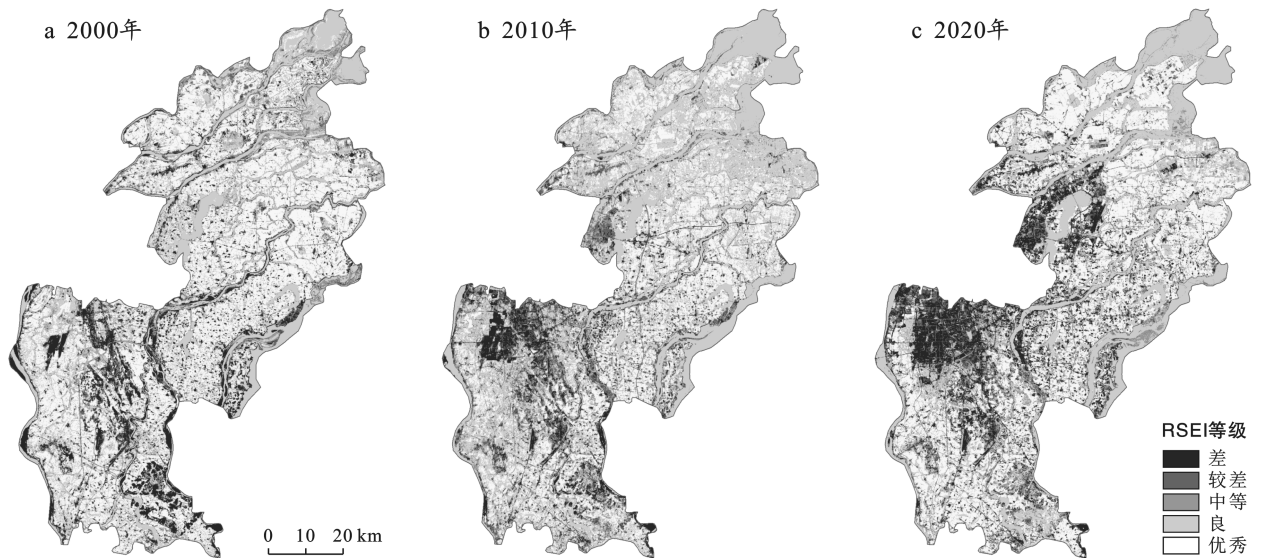


图 4 2000—2020 年南昌县 RSEI 等级

Fig.4 RSEI level of Nanchang County from 2000 to 2020

3.4 土地利用相对冲突时空演变分析

通过公式(3)和(9)计算分别得到 2000, 2010 和 2020 年的冲突风险指数和遥感生态指数，依据公式(1)–(2)并归一化之后得到 2000—2010 年和 2010—2020 年两个时间段的土地利用相对冲突区域和冲突

强度。土地利用相对冲突结果统计如表 4 所示：①2000—2010 年和 2010—2020 年，非冲突区面积占南昌县空间单元总面积的比重均维持在 75% 以上，为维护南昌县“三生”空间协调发展、缓解土地利用冲突发挥了重要作用。②2000—2010 年和 2010—

2020 年土地利用相对冲突区域的强度均值为 0.137 6 和 0.188 1, 标准差为 0.149 4, 0.195 5。土地利用相对冲突区域总面积略有减少, 但冲突等级由低冲突向中高冲突水平转移, 冲突强度呈显著上升趋势。③2000—2010 年和 2010—2020 年, 冲突区域均以轻度冲突为主, 但轻度冲突占南昌县总面积的比重由 13.85% 下降至 10.18%; 中度冲突区面积增加 15.6 km², 同比上升 13.46%, 面积占南昌县总面积比重由 6.39% 提高

至 7.25%; 严重冲突区面积增加 28.76 km², 同比上升 56.49%, 面积占南昌县总面积比重由 2.81% 提升至 4.39%。

结合“三生”空间时空演变格局, 对比发现, 随着南昌县城镇化进程, 土地利用相对冲突多发生于城乡接合区, 该地区亦是土地利用覆被变化最为剧烈的区域, 主要表现为生活—生产空间侵占生产—生态空间, 耕地转移为城镇建设用地。

表 4 2000—2020 年南昌县土地利用相对冲突转移矩阵

Table 4 Transfer matrix of land use relative conflict in Nanchang County from 2000 to 2020

项目	2020 年					
	非冲突区/ km ²	轻度冲突/ km ²	中度冲突/ km ²	严重冲突/ km ²	总计/ km ²	占南昌县总 面积的比重/%
2000 年 非冲突区/km ²	1 095.480 2	146.988 9	99.570 1	53.692 3	1 395.731 5	76.95
轻度冲突/km ²	207.092 9	22.302 4	12.516 6	9.233 8	251.145 8	13.85
中度冲突/km ²	79.936 5	11.344 1	11.801	12.864 5	115.946 1	6.39
重度冲突/km ²	35.434 4	3.937 7	7.661 4	3.872 1	50.905 6	2.81
总计/km ²	1 417.944	184.573 2	131.549	79.662 7	1 813.728 9	100.00
占南昌县总面积的比重/%	78.18	10.18	7.25	4.39	100.00	—

运用 ArcGIS 10.5 对南昌县土地利用相对冲突时空格局进行可视化, 通过自然间断法将空间冲突水平划分为 3 个等级: $0 < LURCI \leq 0.1$ 为低度冲突、 $0.1 < LURCI \leq 0.3$ 为中度冲突、 $0.3 < LURCI \leq 1$ 为高度冲突。土地利用相对冲突等级如图 5 所示, 在土地利用相对冲突空间分布上, 2000—2010 年, 低冲突区分布较为广泛, 无明显空间分异特征。中度冲突区主要分布于八一乡、东新乡、小蓝经济开发区、向塘镇中部和昌东镇南部地区。高度冲突区分布较为集中, 主要位于莲塘镇、小蓝经济开发区、东新乡北部和昌东镇南部地区。2000—2010 年, 南昌县土地利用相对冲突区域主要位于南昌县中心城区, 主要受政策、规划和交通布局等人为因素的影响, 导致冲突风险指数上升和遥感生态指数下降。具体分析: ①地缘优势, 以莲塘—向塘镇为发展轴的南昌县中心城区处于南昌大都市区和昌抚(南昌、抚州)城市发展轴的关键节点。②南昌县中心城区受政策规划的倾斜, 一直是支撑南昌市社会发展的重要区域。③南昌县中心城区交通发达, 设有向塘镇铁路货运站点, 京九、沪昆铁路、G105、G320 国道等交通干线横贯中心城区, 是连接南昌至长三角、珠三角地区的主要线路。总而言之, 2000—2010 年, 随着地理区位、交通规划因素的相互影响, 南昌县社会经济快速发展, 中心城区范围从莲塘镇扩大到小蓝经开区和银三角管委会, 导致该地区生产—生态空间、生态空间转移为生活—生产空间, 这是该地区土地利用相对冲突变化的直接

原因。2010—2020 年, 冲突主体仍以轻度冲突为主, 但是中高冲突区域显著增加, 冲突强度上升。中度冲突区主要集中分布于东新乡、八一乡、富山乡、向塘镇和昌东镇地区。高度冲突区主要集中分布于东新乡、小蓝经开区、富山乡、向塘镇、昌东镇和麻丘镇地区。在相对冲突分布的空间格局上, 南昌县中高度冲突区向外围转移, 与中心城区的进一步扩张相关。其次, 麻丘镇和昌东镇中高冲突强度表现尤为显著, 空间集聚特征显著。南昌县土地利用相对冲突区域的转移, 主要受政策、规划等人为因素的影响。其中, 中心城区在地理位置和交通布局的影响下, 城市发展边界进一步向外扩张, 由莲塘镇、小蓝经开区和银三角管委会扩张到东新乡、富山乡和向塘镇地区; 麻丘、昌东两镇受政策规划影响, 于 2003 年划入南昌市高新技术产业区, 2010—2020 年发展迅速。随着经济的不断发展, 两大区域生产—生态空间、生态空间向生活—生产空间转移, 生态环境质量状况下降, 冲突风险指数上升, 导致土地利用相对冲突水平提高。而南昌县原有中心城区(莲塘镇、小蓝经开区和银三角地区)城市化发展趋向协调, 冲突风险指数基本不变, 生态环境状况维持稳定, 因而土地利用相对冲突水平有所下降。

3.5 土地利用冲突优化策略建议

土地利用冲突现象在社会经济发展进程中是普遍存在的。根据南昌县“三生”空间布局、生态环境质量和土地利用冲突分布, 结果显示: 南昌县土地利

用冲突主要表现为生活—生产空间与生产—生态空间的冲突,即建设用地与农用地之间的冲突;其次表现为生活—生产空间与生态空间的冲突。针对上述问题,结合南昌县社会经济发展实际状况,区域国土空间发展规划和土地利用冲突分布等,提出以下优化策略。

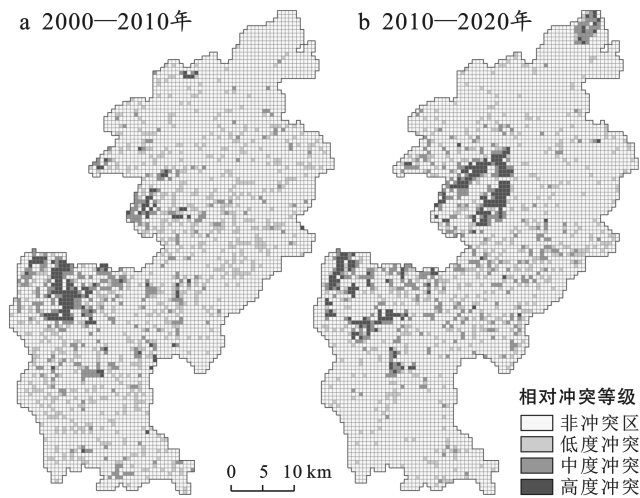


图 5 2000—2020 年南昌县土地利用相对冲突等级

Fig.5 Land use relative conflict index level of Nanchang County from 2000 to 2020

(1) 优化“三生”空间土地资源配,严守耕地保护红线,提高生产—生态空间经济活力。确保耕地占补平衡,结合地区实际情况划定基本农田保护红线,保障以水田、旱地为主的生产—生态空间布局稳定。针对南昌县冲突水平较低的农业发展区,提高耕地质量,加强高标准农田整治建设,完善排灌体系,坚持“宜耕则耕,鼓励多元化农业发展”的原则。如临近鄱阳湖的北部地区鼓励农用地承包流转,实现农业规模化、集约化经营;临近南昌主城区的南部地区,鼓励发展现代都市农业。

(2) 坚持“两山”发展理念,提升城市生态质量。加强城市生态环境保护与治理,统筹城市公园、河流和城郊绿地等生态空间资源配置,建议生态空间与生活—生产空间用地穿插布局,提高生态空间景观连通性,优化城区景观格局;明确生态系统服务的供需关系,优化供需匹配,合理配置自然资源,提高城市生态系统服务效益,构建人地和谐的城市宜居空间。

(3) 优化城乡土地利用结构与布局,坚持节约集约用地。整合南昌县中心城区与各乡镇之间用地布局,严控城镇开发边界扩张,限制城镇建设用地增量,促进新增建设用地与产业结构优化相协调,推进旧城改造,盘活建设用地存量,提高生活—生产空间土地利用效率。

4 讨论与结论

4.1 讨论

周国华等^[1]采用景观格局指数从整体上显示特定年份的冲突区域和冲突水平程度,本文视为一种绝对冲突,但其与其他方法(PSR 模型^[25]、适宜性评价^[27])均未深入探讨城市化背景下土地利用冲突对生态环境的影响效应。王健等^[20]基于不同年份的差异比较,结合生态环境质量指数表征土地利用的空间冲突水平,本文视为一种相对冲突。在周国华^[1]、王健^[20]的研究基础上,本文将客观评价生态环境质量状况的遥感生态指数融合冲突风险指数,实现对南昌县土地利用绝对冲突和相对冲突区域与冲突水平的动态识别与测度。在研究结果上,土地利用绝对冲突的结果与周国华等^[1]的研究结果较为一致,土地利用冲突范围主要集中在中心城区;而土地利用相对冲突结果显示,2000—2010 年中心城区为中高度冲突,2010—2020 年却转变为低度冲突,原因在于采用遥感生态环境指数测算的 2010—2020 年中心城区生态环境质量等级基本稳定,与王健等^[20]研究结果有所不同,但遥感生态指数相对于专家打分法更为客观。本研究存在的不足之处:①为保持原有数据精度,遥感生态指数在 ArcGIS 中进行聚合分析时,输出网格的大小只能是 30 m 分辨率的倍数,常用的 500 m 网格无法进行聚合分析,因此采用 600 m 的网格作为评价单元;②遥感生态指数无法表现水体的生态环境质量状况,文中选择研究区遥感生态指数的均值代表水体的生态环境质量。③本文结合南昌县“三生”空间时空演变结果、政策与相关规划进行理论分析,并以此提出优化策略建议,未深入研究南昌县土地利用绝对冲突和相对冲突的影响因素与优化布局策略,有待进一步研究。

4.2 结论

(1) 2000—2020 年,南昌县“三生”空间演变剧烈,生态环境质量下降。生活—生产空间侵占生产—生态空间和生态空间,对外急剧扩张,生态环境质量也随之变差,差与较差范围不断向外扩张。

(2) 2000—2020 年,南昌县土地利用绝对冲突和相对冲突水平呈不断上升趋势。2000—2020 年土地利用绝对冲突面积不断增加;2000 年—2010 年至 2010 年—2020 年,土地利用相对冲突区域总面积略有减少,但冲突等级由低冲突向中高冲突水平转移,冲突强度呈显著上升趋势。

(3) 2000—2020 年,土地利用绝对冲突失控区域,主要位于中心城区,随着城市化的发展不断向外扩张,冲突区域随时间变化呈现出“点—线—面”逐步

集聚的变化特征。2000—2010年和2010—2020年,土地利用相对冲突区域以轻度冲突为主,中高度冲突区由中心城区向外围转移,相对冲突主要分布在城市对外扩张地区。

参考文献 (References)

- [1] 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[J].地理科学进展,2012,31(6):717-723.
Zhou Guohua, Peng Jiajie. The evolution characteristics and influence effect of spatial conflict: A case study of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration [J]. Progress in Geography, 2012,31(6):717-723.
- [2] 于伯华,吕昌河.土地利用冲突分析:概念与方法[J].地理科学进展,2006,25(3):106-115.
Yu Bohua, Lv Changhe. The progress and prospect of land use conflicts [J]. Progress in Geography, 2006,25(3):106-115.
- [3] 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[J].中国土地科学,2015,29(2):21-29.
Zhou De, Xu Jianchun, Wang Li. Process of land use conflict research in China during the past fifteen years [J]. China Land Sciences, 2015,29(2):21-29.
- [4] 彭佳捷,周国华,唐承丽,等.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[J].自然资源学报,2012,27(9):1507-1519.
Peng Jiajie, Zhou Guohua, Tang Chengli, et al. The analysis of spatial conflict measurement in fast urbanization region based on ecological security: A case study of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration [J]. Journal of Natural Resources, 2012,27(9):1507-1519.
- [5] 陈竹安,冯祥瑞,洪志强,等.南昌市土地利用的空间冲突风险评估及分区优化研究:基于“三生空间”视角[J].世界地理研究,2021,30(3):533-545.
Chen Zhu'an, Feng Xiangrui, Hong Zhiqiang, et al. Research on spatial conflict calculation and zoning optimization of land use in Nanchang City from the perspective of “three living spaces” [J]. World Regional Studies, 2021,30(3):533-545.
- [6] 廖李红,戴文远,陈娟,等.平潭岛快速城市化进程中三生空间冲突分析[J].资源科学,2017,39(10):1823-1833.
Liao Lihong, Dai Wenyuan, Chen Juan, et al. Spatial conflict between ecological-production-living spaces on Pingtan Island during rapid urbanization [J]. Resources Science, 2017,39(10):1823-1833.
- [7] 张红旗,许尔琪,朱会义.中国“三生用地”分类及其空间格局[J].资源科学,2015,37(7):1332-1338.
Zhang Hongqi, Xu Erqi, Zhu Huiyi. An ecological-living-industrial land classification system and its spatial distribution in China [J]. Resources Science, 2015,37(7):1332-1338.
- [8] 李广东,方创琳.城市生态—生产—生活空间功能定量识别与分析[J].地理学报,2016,71(1):49-65.
Li Guangdong, Fang Chuanglin. Quantitative function identification and analysis of urban ecological-production-living spaces [J]. Acta Geographica Sinica, 2016,71(1):49-65.
- [9] 贺艳华,唐承丽,周国华,等.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[J].自然资源学报,2014,29(10):1660-1674.
He Yanhua, Tang Chengli, Zhou Guohua, et al. The analysis of spatial conflict measurement in fast urbanization region from the perspective of geography: A case study of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration [J]. Journal of Natural Resources, 2014,29(10):1660-1674.
- [10] 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[J].自然资源学报,2015,30(8):1304-1318.
Wang Haiying, Qin Fen, Zhang Xinchang. The scenario analysis on urban ecological land spatial conflict and ecological security hidden danger in Guangzhou [J]. Journal of Natural Resources, 2015,30(8):1304-1318.
- [11] 吴蒙,周冯琦,程进.基于生态系统服务的快速城市化地区空间冲突测度及时空演变特征[J].中国人口·资源与环境,2021,31(5):12-20.
Wu Meng, Zhou Fengqi, Cheng Jin. Spatial conflict measurement in rapid urbanization areas from the perspective of ecosystem services [J]. China Population, Resources and Environment, 2021,31(5):12-20.
- [12] 唐凯,周国华.基于经济学视角的空间冲突形成原因及其风险测度:以长株潭城市群为例[J].湖南师范大学自然科学学报,2013,36(3):90-94.
Tang Kai, Zhou Guohua. Analysis of spatial conflict measurement based on the perspective of economics: A case study of Changzhutan Areas [J]. Journal of Natural Science of Hunan Normal University, 2013,36(3):90-94.
- [13] 张潇,谷人旭.土地利用冲突的时空格局刻画与多情景模拟研究:以长江三角洲城市群为例[J].地理研究,2022,41(5):1311-1326.
Zhang Xiao, Gu Renxu. Spatio-temporal pattern and multi-scenario simulation of land use conflict: A case study of the Yangtze River delta urban agglomeration [J]. Geographical Research, 2022,41(5):1311-1326.
- [14] 鲍 Wenkai, Yang Yuanyuan, Zou Lilin. How to reconcile land use conflicts in mega urban agglomeration: A scenario-based study in the Beijing-Tianjin-Hebei

- Region, China [J]. *Journal of Environmental Management*, 2021, 296.
- [15] Ma Wenqiu, Jiang Guanghui, Chen Yunhao, et al. How feasible is regional integration for reconciling land use conflicts across the urban-rural interface? Evidence from Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region in China [J]. *Land Use Policy*, 2020, 92(C):104433.
- [16] Chen Liting, Cai Haisheng. Study on land use conflict identification and territorial spatial zoning control in Rao River basin, Jiangxi Province, China [J]. *Ecological Indicators*, 2022, 145.
- [17] 杨永芳, 朱连奇. 土地利用冲突的理论及诊断方法[J]. *资源科学*, 2012, 34(6):1134-1141.
Yang Yongfang, Zhu Lianqi. The theory and diagnostic methods of land use conflicts [J]. *Resources Science*, 2012, 34(6):1134-1141.
- [18] 王越, 李佩泽, 李炫颖, 等. 基于演化博弈的土地利用冲突缓解机制研究: 以沈抚新区为例[J]. *中国土地科学*, 2021, 35(12):87-97.
Wang Yue, Li Peize, Li Wenying, et al. Mitigation mechanism of land use conflicts based on evolutionary game: A case study of Shenfu New area [J]. *China Land Science*, 2021, 35(12):87-97.
- [19] Zhao Yanru, Zhao Xiaomin, Huang Xinyi, et al. Identifying a period of spatial land use conflicts and their driving forces in the Pearl River Delta [J]. *Sustainability*, 2022, 15(1).
- [20] 王健, 刘欣雨. 基于“风险—效应”的土地利用空间冲突识别与测度[J]. *农业工程学报*, 2022, 38(12):291-300.
Wang Jian, Liu Xinyu. Recognizing and measuring spatial conflict of land use via “risk-effect” [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022, 38(12):291-300.
- [21] 邱国强, 牛潜, 吴振华, 等. 苏锡常城市群土地利用冲突空间测度及异质性分析[J]. *水土保持研究*, 2022, 29(4):400-406, 414.
Qiu Guoqiang, Niu Qian, Wu Zhenhua, et al. Spatial evaluate and heterogeneity analysis of land use conflict in Su-Xi-Chang urban agglomeration [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2022, 29(4):400-406, 414.
- [22] 蒙吉军, 江颂, 拉巴卓玛, 等. 基于景观格局的黑河中游土地利用冲突时空分析[J]. *地理科学*, 2020, 40(9):1553-1562.
Meng Jijun, Jiang Song, Labazhuoma, et al. The spatial and temporal analysis of land use conflict in the middle reaches of the Heihe River based on landscape pattern [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(9):1553-1562.
- [23] 吕思雨, 张金燕, 毋兆鹏. 精河县绿洲土地利用及其空间冲突研究[J]. *生态与农村环境学报*, 2022, 38(4):428-436.
- Lv Siyu, Zhang Jinyan, Wu Zhaopeng. Study on the spatial conflict of land use in Jinghe County oasis [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2022, 38(4):428-436.
- [24] 田若颖, 陈勇, 周皓, 等. 生态安全格局视角下矿业城市土地利用空间冲突识别[J]. *矿业研究与开发*, 2020, 40(6):153-159.
Tian Ruoying, Chen Yong, Zhou Hao, et al. Land use space conflict recognition in mining cities from the perspective of ecological security pattern [J]. *Mining Research and Development*, 2020, 40(6):153-159.
- [25] 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[J]. *地理科学进展*, 2012, 31(11):1552-1560.
Yang Yongfang, An Qian, Zhu Lianqi. Diagnosis based on the PSR model of rural land-use conflicts intensity [J]. *Progress in Geography*, 2012, 31(11):1552-1560.
- [26] 王秋兵, 郑刘平, 边振兴, 等. 沈北新区潜在土地利用冲突识别及其应用[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(15):185-192.
Wang Qiubing, Zheng Liuping, Bian Zhenxing, et al. Potential land use conflict identification and its application in Shenbei New District [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(15):185-192.
- [27] 王检萍, 余敦, 卢一乾, 等. 基于“三生”适宜性的县域土地利用冲突识别与分析[J]. *自然资源学报*, 2021, 36(5):1238-1251.
Wang Jianping, Yu Dun, Lu Yiqian, et al. Recognition and analysis of land use conflicts at county level based on “Production-Living-Ecological” suitability [J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(5):1238-1251.
- [28] 李晓文, 方创琳, 黄金川, 等. 西北干旱区城市土地利用变化及其区域生态环境效应: 以甘肃河西地区为例[J]. *第四纪研究*, 2003, 23(3):280-290.
Li Xiaowen, Fang Chuanglin, Huang Jinchuan, et al. The urban land use transformations and associated effects on eco-environment in Northwest China arid region: A case study in Hexi region, Ganau Province [J]. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(3):280-290.
- [29] 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 Qingke, Duan Xuejun, Wang Lei, 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.

- 径研究[J].资源科学,2011,33(11):2204-2211.
- Li Fei, Dong Suocheng. Pollution from livestock and poultry and its resource strategy in West China [J]. Resources Science, 2011,33(11):2204-2211.
- [18] 韩琴,孙才志,邹玮.1998-2012年中国省际灰水足迹效率测度与驱动模式分析[J].资源科学,2016,38(6):1179-1191.
- Han Qin, Sun Caizhi, Zou Wei. Grey water footprint efficiency measure and its driving pattern analysis on provincial scale in China from 1988 to 2012 [J]. Resources Science, 2016,38(6):1179-1191.
- [19] 宋金昭,胡湘湘,王晓平,等.黄河流域新型城镇化、产业结构升级与绿色经济效率的时空耦合研究[J].软科学,2022,36(10):101-108.
- Song Jinzhao, Hu Xiangxiang, Wang Xiaoping, et al. Research on the time-space coupling of new urbanization, industrial structure upgrading and green economic efficiency in the Yellow River [J]. Soft Science, 2022, 36(10):101-108.
- [20] 汪克亮,刘悦,史利娟,等.长江经济带工业绿色水资源效率的时空分异与影响因素:基于EBM-Tobit模型的两阶段分析[J].资源科学,2017,39(8):1522-1534.
- Wang Keliang, Liu Yue, Shi Lijuan, et al. Yangtze River Economic Zone spatial and temporal disparities in industrial green water resource efficiency and influencing factors based on two-step analysis of EBM-Tobit model [J]. Resources Science, 2017,39(8):1522-1534.
- [21] 陈岩,童国平,王蕾.淮河流域农业灰水足迹效率的时空分布与驱动模式[J].水资源保护,2020,36(6):60-66,85.
- Chen Yan, Tong Guoping, Wang Lei. Spatial-temporal distribution and driving models of agricultural grey water footprint efficiency in the Huai River basin [J]. Water Resources Protection, 2020,36(6):60-66,85.
- [22] 孙付华,杨一帆,沈菊琴,等.基于水足迹-LMDI模型的江苏省水资源利用与经济发展的脱钩关系研究[J].江苏社会科学,2020(6):233-240.
- Sun Fuhua, Yang Yifan, Shen Juqin, et al. Study on the decoupling relationship between water resources utilization and economic development in Jiangsu province based on water footprint-LMDI model [J]. Jiangsu Social Sciences, 2020(6):233-240.
- [23] 孙才志,阎晓东.基于MRIO的中国省区和产业灰水足迹测算及转移分析[J].地理科学进展,2020,39(2):207-218.
- Sun Caizhi, Yan Xiaodong. Measurement and transfer analysis of grey water footprint of Chinese provinces and industries based on a multi-regional input-output model [J]. Progress in Geography, 2020,39(2):207-218.
- [24] 邓远建,超博.灰水足迹视角下我国省域农业生态效率及其影响因素[J].中国农业科学,2022,55(24):4879-4894.
- Deng Yuanjian, Chao Bo. Provincial agricultural ecological efficiency and its influencing factors in China from the perspective of grey water footprint [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022,55(24):4879-4894.
- ~~~~~
- (上接第436页)
- [30] 徐涵秋.区域生态环境变化的遥感评价指数[J].中国环境科学,2013,33(5):889-897.
- Xu Hanqiu. A remote sensing index for assessment of regional ecological changes [J]. China Environmental Science, 2013,33(5):889-897.
- [31] 吴传钧.论地理学的研究核心:人地关系地域系统[J].经济地理,1991,11(3):1-6.
- Wu Chuanjun. The core of study of geography: Man-land relationship areal system [J]. Economic Geography, 1991,11(3):1-6.
- [32] 邹利林,刘彦随,王永生.中国土地利用冲突研究进展[J].地理科学进展,2020,39(2):298-309.
- Zou Lilin, Liu Yansui, Wang Yongsheng. Research progress and prospect of land-use conflicts in China [J]. Progress in Geography, 2020,39(2):298-309.
- [33] 张文强,孙从建,李新功.晋西南黄土高原区植被覆盖度变化及其生态效应评估[J].自然资源学报,2019,34(8):1748-1758.
- Zhang Wenqiang, Sun Congjian, Li Xingong. Vegetation cover change and ecological effect assessment in the Loess Plateau of Southwest Shanxi Province based on remote sensing image [J]. Journal of Natural Resources, 2019,34(8):1748-1758.
- [34] 杨永健.基于遥感生态指数的生态质量变化分析:以福建为例[D].陕西 西安:长安大学,2019.
- Yang Yongjian. Ecological quality assessment based on remote sensing ecological index: A case study of Fujian Province [D]. Xi'an, Shaanxi: Chang'an University, 2019.