

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.04.041.

王博, 舒晓波, 廖富强, 等. 基于最佳景观尺度的鄱阳湖区土地利用冲突时空演变及多情景模拟[J]. 水土保持研究, 2024, 31(4): 336-347.

Wang Bo, Shu Xiaobo, Liao Fuqiang, et al. Spatitemporal of Land Use Conflicts and Multi-Scenario Simulation in Poyang Lake Area Based on Optimal Landscape Scale[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(4): 336-347.

基于最佳景观尺度的鄱阳湖区土地利用 冲突时空演变及多情景模拟

王 博¹, 舒晓波^{1,2}, 廖富强^{1,2}, 黎 钰¹, 万智巍³

(1.江西师范大学 地理与环境学院, 南昌 330022; 2.江西师范大学 鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室, 南昌 330022; 3.赣南师范大学 地理与环境工程学院, 江西 赣州 341000)

摘 要: [目的]科学评估区域土地利用冲突水平的时空演化特征, 可为区域土地资源的合理配置发挥重要作用。[方法]基于景观生态风险视角构建土地利用冲突测算模型, 借鉴最佳景观尺度设定方法确定了适宜的分析尺度, 分析了鄱阳湖区 1990—2020 年土地利用冲突的时空演变特征, 并借助 PLUS 模型多情景模拟了 2035 年土地利用冲突空间格局。[结果]鄱阳湖区土地利用冲突的总体空间格局是滨湖区显著高于外围地区, 南部地区总体高于北部地区, 平原地区高于山地和丘陵地区, 河流两侧的冲突值也显著偏高。1990—2005 年城镇地区的冲突变化并不显著, 乡村地域及县域交界区域冲突水平较高, 2005—2020 年冲突水平进一步加剧; 2035 年不同情景下冲突的总体空间格局将延续 2020 年的状态, 但可持续发展情景能有效缓和冲突水平, 实现生态保护和经济发展的平衡发展。[结论]1990—2020 年鄱阳湖区土地利用冲突重心由乡村及县域交界区域向城镇地区转移, 且冲突水平呈不断上升趋势, 未来应坚持可持续发展方式, 有序进行国土空间开发, 注重生态保护和经济发展间的平衡。

关键词: 土地利用冲突; 最佳景观尺度; 多情景模拟; PLUS 模型; 鄱阳湖区

中图分类号: X24; F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)04-0336-12

Spatitemporal of Land Use Conflicts and Multi-Scenario Simulation in Poyang Lake Area Based on Optimal Landscape Scale

Wang Bo¹, Shu Xiaobo^{1,2}, Liao Fuqiang^{1,2}, Li Yu¹, Wan Zhiwei³

(1.School of Geography and Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China; 2.Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research of Education, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China; 3.School of Geography and Environmental Engineering, Gannan Normal University, Ganzhou, Jiangxi 341000, China)

Abstract: [Objective] Assess the spatial and temporal evolution characteristics of regional land use conflict level can play an important role in the rational allocation of regional land resources. [Methods] A land use conflict measurement model was constructed based on the perspective of landscape ecological risk, and the optimal landscape scale setting method was used to set the appropriate analysis scale, analyze the spatial and temporal evolution characteristics of land use conflict in Poyang Lake Area from 1990 to 2020, and simulate the spatial pattern of land use conflict in 2035 with the help of the PLUS model in multiple scenarios. [Results] The overall spatial pattern of land use conflicts in Poyang Lake Area that the lakefront area significantly higher than the peripheral area, the southern area generally higher than the northern area, the plain area higher than the mountainous and hilly areas, and the values of conflicts on both sides of the river also significantly high. 1990—2005 conflict changes in urban areas not significant, the level of conflicts in the

收稿日期: 2023-08-17

修回日期: 2023-10-06

资助项目: 国家自然科学基金“淀粉粒几何形态测量及其在鄱阳湖流域新石器晚期原始农业植物利用多样性研究中的应用”(42267068)

第一作者: 王博(1997—), 男, 江西吉安人, 硕士, 主要研究方向为土地利用与规划。E-mail: 1721042007@qq.com

通信作者: 舒晓波(1965—), 男, 江西南昌人, 教授, 硕士, 主要研究方向为土地利用与规划。E-mail: xiaoboshu@126.com

<http://stbcyj.paperonce.org>

rural areas and the county junction areas higher, and the level of conflicts further aggravated in the period of 2005—2020, the conflicts of different areas in different scenarios simulated with the help of PLUS model. The level of conflict further aggravated in 2005—2020 overall spatial pattern of conflict under different scenarios in 2035 will continue the state in 2020, but the sustainable development scenario can effectively moderate the level of conflict and realize the balanced development of ecological protection and economic development. [Conclusion] From 1990 to 2020, the center of gravity of land use conflicts in the Poyang Lake shifted from rural and county boundary areas to urban areas, and the level of conflicts showed a rising trend. In the future, the sustainable development method, spatial development of the land in an orderly manner, and attention to the balance between ecological protection and economic development.

Keywords: land use conflict; optimal landscape scale; multi-scenario simulation; PLUS model; Poyang Lake Area

随着我国工业化和城镇化的不断推进,对土地资源的需求日益旺盛,由于土地资源的有限性以及人类对土地资源需求的多样性^[1],使得人地关系日益紧张。同时,长期以来,各级政府通过制定城市发展总体规划、土地利用总体规划、环境保护规划等各项规划来配置土地资源^[2],但由于规划的制定部门不同,各部门往往是从自身的职责和目标出发,因而各项规划的目标和原则间缺乏一致性和协调性,使得以上多种规划冲突现象普遍,进一步向下传导导致土地利用冲突现象的产生。土地利用冲突是土地资源利用过程中各利益相关者围绕土地利用方式与结构所产生的人地之间的空间竞争与权益冲突的现象^[3],其本质是一种人地关系不协调的状态。土地利用冲突现象一直存在于人类社会的发展过程中,但在当前我国大力推进生态文明建设、实行最严格的耕地保护制度背景下,冲突现象的发生频率远高于其他时期。土地利用冲突的频发会威胁区域生态系统安全,加大土地空间的承载压力等^[4]。因此,如何识别土地利用冲突剧烈区域,缓解矛盾冲突现象等问题成为学者们的关注焦点。

1977年英国乡村协会组织召开的“城市边缘区学术会”将土地利用中的冲突现象作为会议讨论的重点^[3],此后土地利用冲突研究逐步兴起,而国内相关研究则在2001年以后逐步展开。目前,相关研究主题主要包括冲突区域的识别、时空变化特征分析、影响因素及驱动机制揭示、冲突的调控优化与治理策略等方面。冲突区域的识别主要采用参与式调查法^[5]、压力—状态—响应模型^[6]、多目标适宜性评价法^[7-8]等,而随着遥感技术的发展,基于景观生态风险的土地利用冲突测算法逐步成为冲突区域识别和冲突指数测算的主流方法^[9-10]。冲突的时空变化特征研究主要包括研究区从过去到当前时段的冲突水平演化特征,如蒙古军等^[11]分析了黑河中游1980—2015年土地利用冲突的时空变化特征;邱国强等^[12]研究了1990—2018年苏锡常城市群的土地利用冲突时空变化特征以及空间异质性。引发土地利用冲

突的原因较为复杂,既包括自然环境因素也包含人为原因,受限于研究数据的可获取性、可量化性等因素,使得关于土地利用冲突的影响因素及驱动机制的定量分析研究受到诸多困难。厘清土地利用冲突的成因及驱动机制的目的是对冲突区域进行有效治理和调控,缓和区域人地矛盾。早期,学者们多采用参与式问卷调查或访谈方式了解冲突区域的冲突成因,并根据冲突各方诉求,采用博弈论方法权衡各方利益后制订冲突和解方案^[13],但在实践中该方法仅适用于范围较小的研究区,因此各类宏观层面的空间规划逐渐成为有效引导和弱化区域土地利用冲突的政策工具。

综上,现有研究多关注研究区从过去到当前时段的冲突水平变化,而缺乏对区域土地利用冲突未来演化趋势的动态模拟研究,这将减弱研究对区域未来土地资源管理的参考和借鉴意义。此外,基于景观生态风险的土地利用冲突测算法作为当前冲突指数测算的主流方法,由于景观指数具有较强的空间尺度敏感性,因此在进行景观指数计算前确定好分析尺度尤为关键,而现有研究大多是以土地利用数据的分辨率作为默认分析粒度,鲜有研究在进行测算前对景观格局分析的尺度进行定量探究,这会使得冲突指数测算的精度受到影响。本文以地处水陆过渡地带、人地矛盾较为尖锐的鄱阳湖区为例,基于景观生态风险视角构建土地利用冲突测度模型,探究鄱阳湖区近30年的土地利用冲突时空演变特征,并在国土空间规划大背景下,利用PLUS模型设置不同情景模拟2035年鄱阳湖区土地利用冲突的空间格局,以期为该区域的土地利用管理提供参考。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

鄱阳湖区位于江西省北部,长江中下游南岸(28°10′—29°51′N, 115°23′—117°45′E),是由中国最大的淡水湖鄱阳湖及其滨湖区域共同组成的水陆过渡带区域

(图 1)。其范围包括南昌市区、新建区、进贤县、南昌县,九江市、都昌县、德安县、永修县、湖口县、庐山市、鄱阳县和余干县共 12 个区域^[14],总面积 20 213.48 km²。截至 2020 年底,区域常住人口为 1 103.7 万,国内生产总值为 6 986.4 亿元,分别占江西省的 24.43%,27.21%,是江西省人口最密集、经济最发达的区域。鄱阳湖区地势西北高,东南低,地形以平原和丘陵为主。河流水系发达,修水、赣江、抚河、信江、饶河分别从西部、南部、东部汇入鄱阳湖。该区域农业发达,是江西省的主要粮食生产基地,但是由于区域耕地资源有限,导致围湖造田现象突出;此外,当前鄱阳湖区仍处于快速城镇化阶段,大量农村人口进入城市以及国土空间的无序开发等都给区域内生态环境带来了巨大的压力,人地矛盾较为尖锐,导致土地利用冲突现象频发。

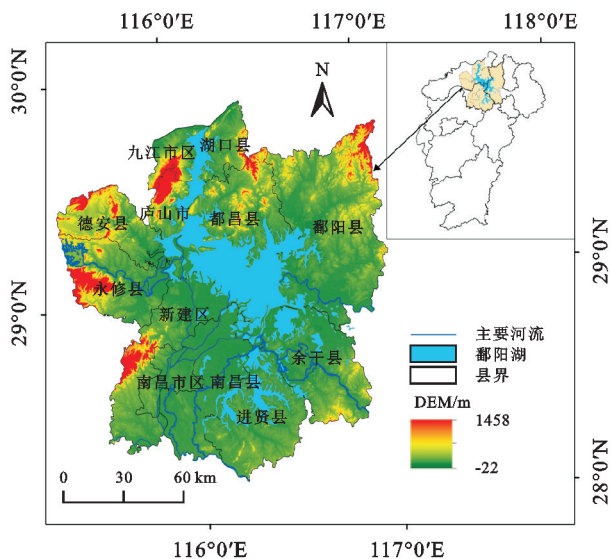


图 1 研究区概况

Fig. 1 Overview map of the study area

1.2 数据来源和处理

本文采用的 1990 年、2005 年、2020 年共 3 期土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.Resdc.cn>),分辨率为 30 m,该数据集基于 Landsat TM/ETM+/OLI 图像,通过人机交互视觉解译制成,总体精度大于 90%^[15],可满足研究需要。利用 ArcGIS 10.2 将土地利用类型重分类为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地共 6 个一级地类。DEM 数据来自地理空间数据云,分辨率为 30 m。

用于土地利用模拟的数据分为社会经济因素、自然因素以及限制转换区,社会经济因素包括人口密度、GDP、到高速公路距离、到铁路距离、到主要公路距离、到二级道路距离、到政府距离,自然因素包括高程、坡度、坡向、气温、土壤类型、降水量、到水域距离,限制转换区数据为鄱阳湖区内的自然保护区。人口密度、GDP、气

温、降水和土壤类型数据均收集自中国科学院资源环境科学与数据中心。道路、铁路数据均来自 OpenStreet-Map,政府驻地通过百度地图坐标拾取系统获取。坡度和坡向数据基于 DEM 数据进行坡度和坡向分析得到。自然保护区数据来自中国自然保护区标本资源共享平台。将所有驱动因素的行列数、空间分辨率统一,并重新投影到 WGS_1984_UTM_Zone_50 N 坐标系。

2 研究方法

2.1 土地利用冲突测算模型

景观是人类资源开发与利用的直接对象,因而景观层面是研究人类活动对环境作用的适宜尺度^[16]。景观生态风险被认为是土地利用冲突的有效指标^[9],土地利用冲突强度的大小可通过区域生态安全风险的高低来反映,一般来说,区域土地利用结构带来的景观生态风险越小,其土地利用冲突水平就越低。本文从景观生态风险评价视角出发,依据风险源-风险受体-风险效应的生态风险评价方法构建土地利用冲突强度测算模型^[10]。风险源主要指外部环境作用给区域可能带来的生态风险压力,选用与土地资源开发利用相关的外部压力因子作为指标。风险受体是指生态系统受到生态风险时的承载体,选用景观脆弱性作为指标,反映风险受体的耐受性。风险效应是指不同的风险受体作用在风险源时所产生的反应,选用土地资源的稳定性作为指标。

土地利用冲突强度 LUCS(Land use conflict strength)可以表征为:

$$LUCS = P + V - S \quad (1)$$

式中:LUCS 为土地利用冲突强度; P 为外部压力; V 为景观脆弱性; S 为景观稳定性指数。

(1) 外部压力(P)。借助景观生态指数中的面积加权平均分维数(AWMPFD)来反映景观斑块的空间复杂性,表征邻域景观对当前景观的干扰和影响程度^[17]。一般来说,分维数越大,该景观斑块边界越复杂,越容易受到邻域景观的干扰,反映土地利用面临的外部风险和压力。面积加权平均分维数的计算方法如下:

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

式中: P_{ij} 为景观类型 i 的第 j 个景观斑块的周长; a_{ij} 为景观类型 i 的第 j 个景观斑块的周长; A 为移动窗口的面积; m 为土地利用类型的数量; n 为景观斑块的数量。

(2) 景观脆弱性(V)。脆弱性反映了景观类型的空间暴露状况^[12]。由于不同土地利用类型脆弱度存在差别,根据鄱阳湖区土地利用变化特点及发展现

状,并借鉴相关研究^[18]对不同景观类型的脆弱度赋值,最终确定建设用地、水域、未利用地、耕地、草地和林地的脆弱度指数分别为6,5,4,3,2,1。脆弱性的计算公式如下:

$$V = \sum F_i \times \frac{a_i}{A} \quad (3)$$

式中: F_i 为不同景观类型的脆弱度赋值; a_i 为各景观类型的面积; A 为移动窗口的面积。

(3) 稳定性(S)。区域景观的破碎程度是土地利用冲突的典型表现之一,景观破碎度越高,其生态系统的稳定性就越差,诱发土地利用冲突的风险就越高^[19]。因此,借助斑块密度(PD)来从负面反映区域生态系统的稳定性。

$$S = 1 - PD \quad PD = \frac{n_i}{A} \quad (4)$$

式中:PD为斑块密度; n_i 为景观类型*i*的景观斑块数量; A 为移动窗口的面积。

为方便后续土地利用冲突指数的测算,利用公式(5)将公式(2)~(4)中的数值线性标准化到(0,1)范围内,公式如下:

$$N = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (5)$$

式中: N 为标准化后的值; X 为公式(2),(3),(4)中的值; X_{\max} 为最大值; X_{\min} 为最小值。

2.2 土地利用冲突分析的最佳尺度设定

本文构建的土地利用冲突测算模型中涉及到景观指数的计算,而景观格局指数具有较强的尺度效应,尺度可分为粒度和幅度,不同的景观粒度和分析幅度会对景观指数计算结果产生较大影响,这会进一步影响到冲突指数测算的精度,因而本文采用最佳景观尺度方法选取适宜研究区的最佳景观粒度和分析幅度。

2.2.1 最佳景观粒度的选取方法 为全面反映鄱阳湖区景观格局特征,本文借鉴张玲玲等^[20]的最佳景观尺度分析方法,在整体景观水平上选取景观面积(TA)、分离度(DIVISION)、最大斑块所占景观面积比例(LPI)、分散指数(SPLIT)、有效格网大小(MESH)、Shannon多样性指数(SHDI)、Shannon均匀度指数(SHEI)、聚集度指数(AI)、面积加权平均斑块分维数(AWMPFD)共9个指数,30 m的粒度大小为起始粒度,300 m为最大粒度,同时以30 m为间隔来对比景观指数的粒度效应,根据粒度响应曲线的变化趋势选取较为合适的粒度分析尺度域,同时结合面积信息损失评价模型来定量判别不同粒度下区域景观总面积的损失情况,最终确定适宜对研究区进行景观格局分析的最佳粒度大小。面积信息损失评价模型的计算公式为:

$$L_i = (A_i - A_{bi}) / A_{bi} \times 100 \quad (6)$$

$$S_i = \sqrt{\sum_{i=1}^n L_i^2 / n} \quad (7)$$

式中: L_i 为面积损失的相对值; A_i 为粒度转换后第*i*类景观的栅格面积; A_{bi} 为粒度转换前第*i*类景观的栅格面积; n 为土地利用类型数量; S_i 为区域土地面积变化指数; S_i 越大,表明粒度变化后,各地类面积变化也越大,地类面积的精度损失也越高。

2.2.2 最佳景观幅度的选取方法 参考已有研究的最佳景观幅度分析方法^[21],并结合鄱阳湖区景观分布实际情况,设置一条西北—东南走向的样带(图2),样带宽度6 km,长度77 km。样带经过了修水、抚河、赣江流域以及新建区、南昌市区、南昌县、永修县等区域,覆盖区域较广,具有较好的典型性和代表性。在样带中心线上以3 km为间距,等间隔均匀布置了25个采样点对不同幅度下移动窗口法计算的景观指数值进行采样,采样点从西北往东南编号依次为样点1,2,...,25。以此来分析景观格局的梯度变化特征,选取景观格局分析的最佳幅度大小。

以2020年土地利用数据为例,选取粒度大小的整数倍作为幅度大小,分别设定600 m,1 200 m,2 400 m,3 000 m,3 600 m共5个幅度大小,从整体景观尺度选取斑块密度(PD)、香浓多样性指数(SHDI)、分离度指数(DIVISION)、最大斑块面积比例(LPI)共4个景观指数。利用Fragstats 4.2软件的移动窗口法进行计算,由于移动窗口法具有边缘效应,设定分析窗口从研究区左上角开始移动,每次移动1个栅格,软件自动计算整个窗口内的景观指数值,然后赋值给该幅度下的中心窗口。

2.3 PLUS模型

PLUS模型是由中国地质大学高性能空间计算智能实验室(HPSCIL)开发的一种土地利用变化模拟模型^[22]。该模型集成了基于用地扩张分析策略和基于多类型随机斑块种子的CA模型,其构造思路为:用地扩张分析策略通过提取两期土地利用数据变化间各类用地扩张的部分,并采用随机森林算法逐一各地类扩张和驱动力的因素进行挖掘,获取各类用地的发展概率,及驱动因素对该时段各类用地扩张的贡献。基于多类型随机斑块种子的CA模型可根据地类预期需求和现有地类数量间的差异通过不断的迭代进行自适应调整,以使地类数量达到预期^[23]。PLUS模型可动态模拟多种土地利用类型的斑块级变化,弥补了已有的CA模型,如CA-Markov,CLUE-S,FLUS等在转化规则挖掘策略和景观动态变化模拟策略两个方面的不足,且已有一些研究证

实^[24],相比于 FLUS,CA-Markov 模型,PLUS 模型具有更高的模拟精度。

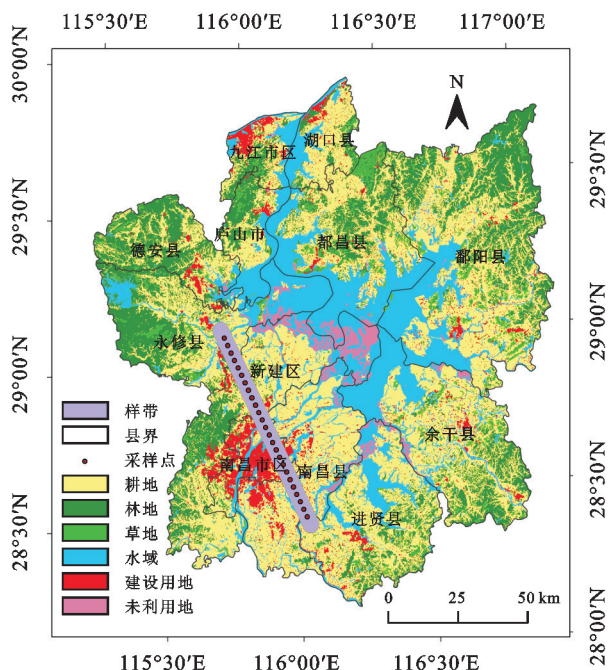


图 2 样带设计和采样点分布

Fig. 2 Sample strip design and distribution of sampling points

本文以鄱阳湖区 1990 年和 2005 年的土地利用数据为基础,模拟 2020 年的土地利用状况,将模拟结果与 2020 年真实土地利用数据进行对比,以验证 PLUS 模型的模拟精度。CARS 模块的模拟参数设置如下:新斑块衰减阈值设为 0.5,斑块膨胀系数设定为 0.3,种子百分比设为 0.02。2020 年的土地利用需求通过 Markov 链预测得到。参考王保盛等^[25]的研究设置各地类的邻域权重(表 1)。精度验证结果显示 Kappa 系数为 0.884,说明 PLUS 模型的模拟精度较高,可用于鄱阳湖区未来土地利用状况的模拟。

表 1 邻域权重设置

Table 1 Weight of neighborhood

土地利用 类型	耕地	林地	草地	水域	建设 用地	未利 用地
邻域权重	0.858	0.403	0.03	0.579	1	0.02

2.4 多情景模拟设置

根据鄱阳湖区的发展实际,设置了 4 种未来发展前景,模拟 2035 年的土地利用状况,从而模拟土地利用冲突的动态演变,分别为:

(1) 线性发展情景(BAU)。基于 2005—2020 年土地利用变化状况及自然、社会经济驱动因素,不考虑政策规划因素的限制,借助 Markov 链预测 2035 年各地类的需求量。该情景假设各地类的未来发展演化不受其他外界因素的干扰,仅按照其历史演化轨迹线性发展。该情景是其他场景的基础。

(2) 耕地保护情景(CLP)。鄱阳湖区是中国主要的粮食生产基地之一,该区域的耕地保护对保障国家粮食安全具有重要作用。此情景下注重对稳定耕地及优质耕地保护,将 3 个年份耕地进行叠加分析,取三年均为耕地的部分作为长期稳定耕地;同时,参考前人研究^[26],提取坡度小于 6°的耕地作为优质耕地,将稳定耕地和优质耕地合并后作为限制转换区。此外,基于线性发展情景,同时参考相关研究^[27],对 Markov 转移概率矩阵进行修正,控制耕地向建设用地转移的概率减少 70%,向草地、水域转移的概率降低 40%,同时未利用地向耕地的转移概率增加 50%,严格落实耕地保护政策。

(3) 经济发展情景(ED)。该情景有助于科学把握保障经济优先发展时区域的土地利用变化,揭示出对国土空间的无序开发的发展模式可能面临的土地利用冲突。参考现有研究^[28],该情景在线性发展情景的基础上,降低建设用地向耕地、水域、林地、草地、未利用地转移的可能性 40%,耕地、林地、草地、水域、未利用地转移到建设用地的概率增加了 40%,10%,20%,10%,50%。

(4) 可持续发展情景(SD):鄱阳湖区是环鄱阳湖生态城市群的重要组成部分,根据《环鄱阳湖生态城市群规划(2015~2030)》,该城市群的目标是探索大湖流域地区的社会经济与自然环境保护协调发展模式,发展定位是国家绿色城镇化先行示范区,因此注重生态保护与社会经济协调发展是鄱阳湖区今后的重要发展目标。此情景加入自然保护区作为限制转换区,同时参考相关研究^[29],控制林地、草地向建设用地转化的概率减少 20%,水域向建设用地转化的概率减少 40%,向耕地转移概率增加 30%,另外耕地向建设用地转化的概率减少 30%,未利用地向建设用地转移概率增加 40%,建设用地转为草地的概率增加 10%。

3 结果与分析

3.1 景观格局指数最佳尺度分析

3.1.1 最佳粒度分析 根据不同粒度下景观指数的计算结果,绘制各景观指数随粒度大小变化的响应曲线(图 3)。由图 3 可知,伴随景观粒度的变化,各景观指数值出现了明显的波动现象。根据景观指数波动的转折情况,统计不同粒度下各景观指数的拐点分布情况,见表 2。从拐点的分布情况来看,大多数景观指数在 30~180 m 的粒度范围内时相对平稳,而在 180~300 m 的粒度区间内会出现较大程度的波动,因而选定 30~180 m 为景观格局分析较为适宜的尺度域。然后计算出该尺度域下各粒度等级的景观面积损失情况(图 4)。可以看到,当景观粒度为

120 m 时,区域景观总面积精度损失最小,而粒度大于 120 m 后,面积精度损失值迅速增大,结合 30~180 m 的适宜尺度域,最终确定 120 m 为对鄱阳湖区进行景观指数分析的最佳粒度大小。

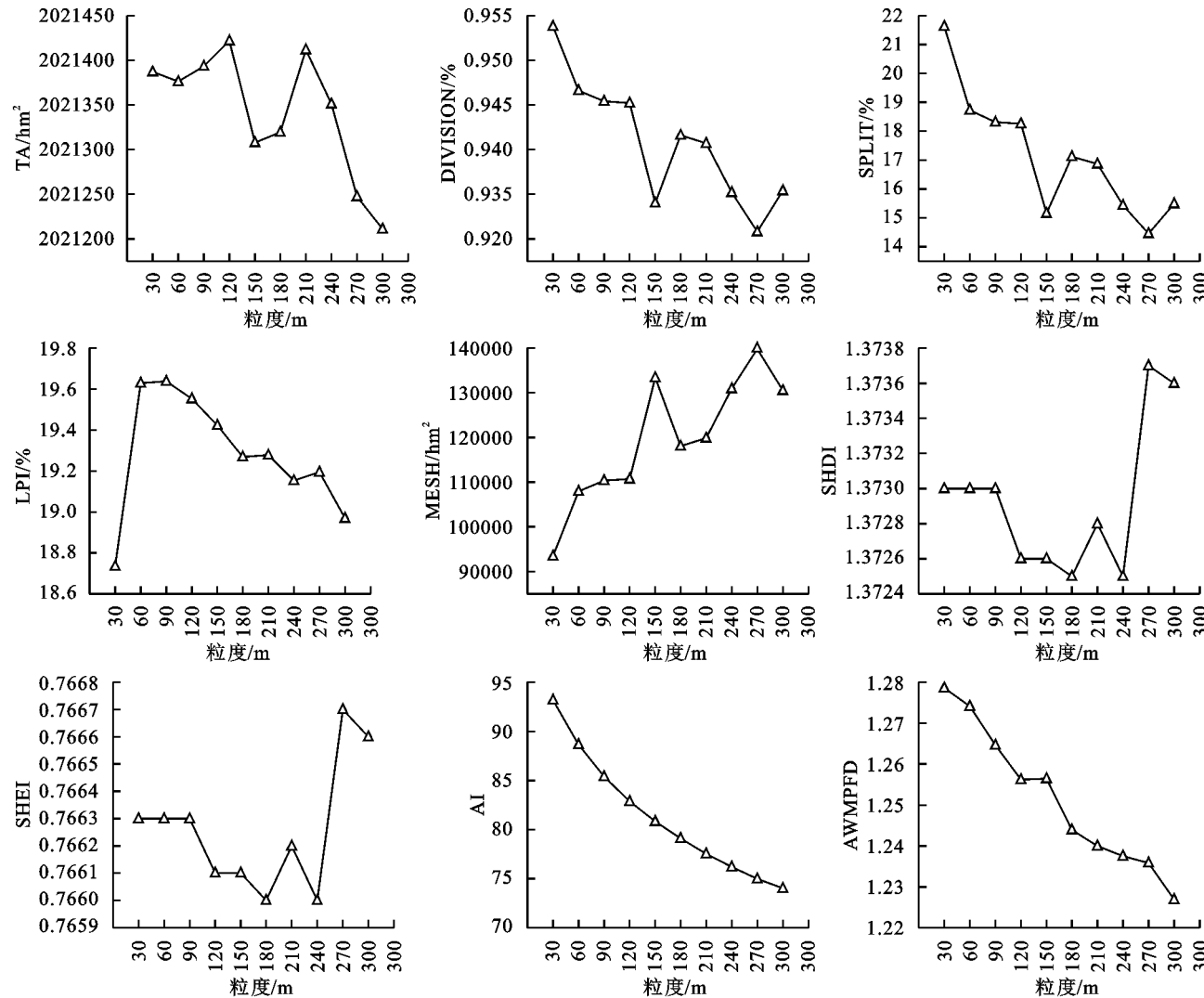


图 3 景观格局指数粒度响应曲线图

Fig. 3 Landscape pattern index particle size response plot

表 2 不同粒度下各景观指数值变化的拐点

Table 2 Inflection points of changes in the values of each landscape index at different grain sizes

景观指数	拐点 (含明显拐点和非明显拐点)	景观指数	拐点 (含明显拐点和非明显拐点)
TA	120 m,150 m,210 m	SHDI	180 m,210 m,270 m
DIVISION	150 m,180 m,270 m	SHEI	180 m,210 m,270 m
SPLIT	150 m,270 m	AI	210 m
LPI	60 m,180 m,240 m	AWMPFD	120 m
MESH	120 m,150 m,180 m		

3.1.2 最佳幅度分析 根据移动窗口法输出的结果,提取样带上 25 个采样点在不同幅度下的景观指数值,结果见图 5。从斑块密度来看,600 m 和 1 200 m 的幅度下 PD 指数在样带上的波动很大,在 3 000 m 的幅度下波动较为平缓;从香浓多样性指数来看,600 m, 1 200 m 和 3 600 m 的幅度下波动均较大,而在 2 400 m 和 3 000 m 的幅度下波动相对较小;从分离度指数来看,600 m 和 1 200 m 的幅度下在样带上的波动较

大,2 400 m,3 000 m 和 3 600 m 幅度下波动相对较小,且这 3 个幅度下的波动趋势逐渐趋同,差异较小,表明随着幅度的增大,分离度指数逐渐趋于稳定;从最大斑块面积比例指数来看,2 400 m 和 3 000 m 的幅度下 LPI 指数波动相对较小,且波动趋势趋同。综合 4 个指数在样带上的变化情况,并结合鄱阳湖区的面积大小,空间分析幅度过大会导致部分景观信息的丢失,幅度过小又难以体现景观的空间差异性和异

质性,最终确定 $3\text{ km} \times 3\text{ km}$ 为最适宜对鄱阳湖区进行景观分析的幅度。后文土地利用冲突指数计算中涉及到景观指数计算时均以该尺度为基础。

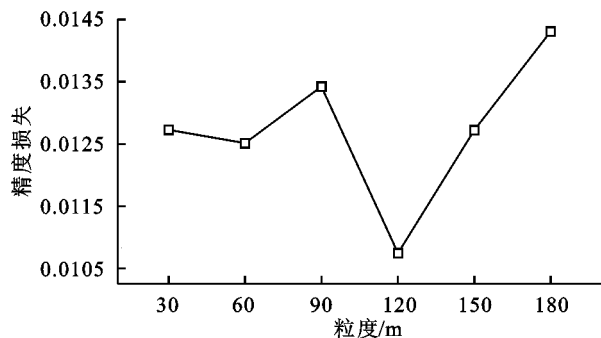


图4 不同粒度下景观总面积精度损失

Fig. 4 Loss of accuracy of total landscape area at different grain sizes

3.2 土地利用冲突的时空演变

根据土地利用冲突测算模型测度出鄱阳湖区1990—2020年土地利用冲突的时空格局(图6)。总体上来看鄱阳湖滨湖区的冲突程度显著高于外围地区,南部地区冲突程度总体高于北部地区,平原地区的冲突程度高于山地和丘陵地区。鄱阳湖滨湖区城镇区域大多为土地利用冲突的高值区,如南昌市区、

九江市区的土地利用冲突程度均较高,城镇地区是人类活动和资源开发利用的集中区域,经济发展对国土资源的强依赖性与土地资源的有限性之间产生剧烈冲突,如建设用地的扩张与基本农田保护、生态保护之间的矛盾。此外,鄱阳湖区土地利用冲突高值区还有沿河流两侧分布的特点,赣江、抚河、信江、饶河、修水流经的区域冲突程度明显高于周边地区,由于河流附近的土壤肥沃,适宜耕种,因而耕地开垦和河流生态保护之间常发生激烈冲突。土地利用冲突的低值区主要为鄱阳湖湖区以及山地丘陵地区,如星子县的庐山、永修县西部的云居山、鄱阳县北部的莲花山等土地利用冲突均较低,山地地区的景观生态受人类活动干扰小,植被覆盖度高,景观生态系统具有较高的韧性水平和恢复力,因而其面临的生态风险较小,土地利用冲突程度较低。值得注意的是,都昌县西部滨湖区的多宝山冲突程度一直维持较高水平,这是因为多宝山是中国长江中下游地区罕见的荒漠化景观,沙地广布,虽然其受人为因素干扰较小,但该区域表面几乎没有植被覆盖,极易遭受风力和流水侵蚀,生态易损性和景观脆弱性高,导致土地利用冲突程度较高。

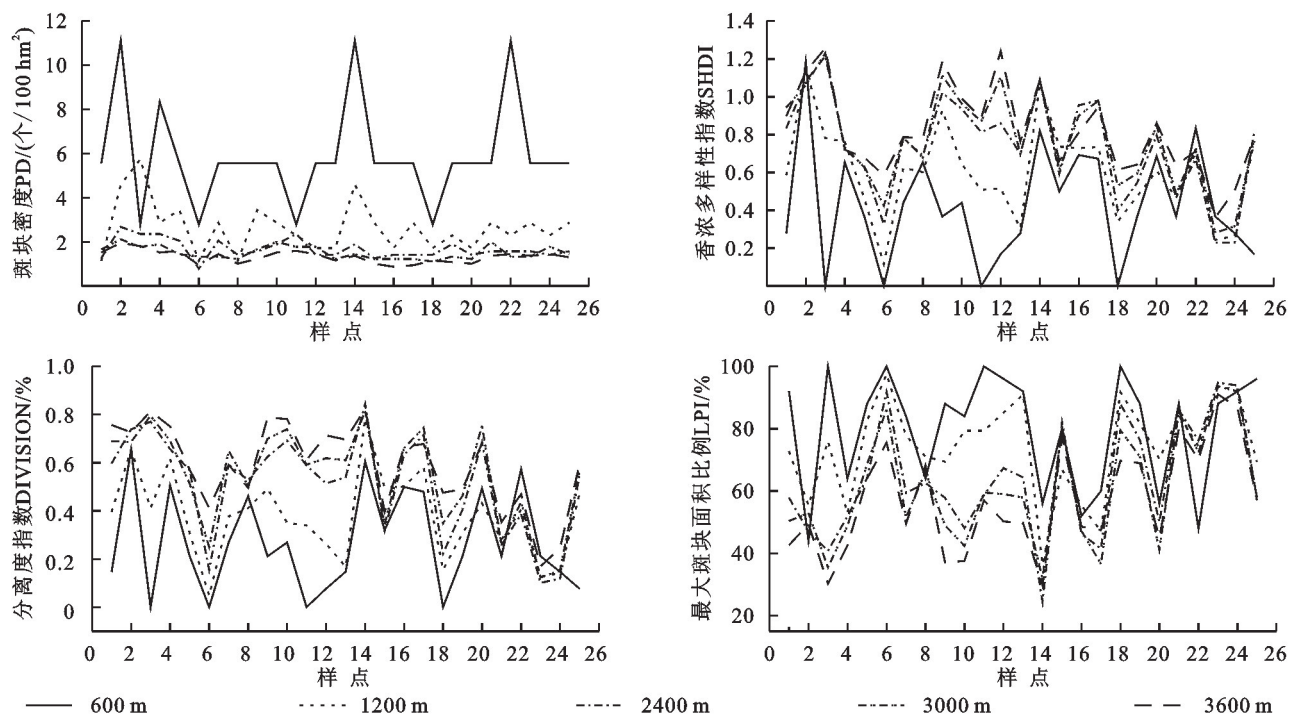


图5 不同幅度下采样点的景观指数变化

Fig. 5 Changes in landscape indices at sampling sites with different amplitudes

从研究期内土地利用冲突的动态变化来看(图7),1990—2005年鄱阳湖区大部分区域的冲突水平变化较小,维持了稳定可控的水平。该时段城镇地区的冲突变化并不显著,而乡村地区以及部分县域交界的地区则是土地利用冲突值变化较大的区域。

主要原因是该阶段鄱阳湖区的城镇化水平还较低,人口大多聚居在乡村,耕地种植是人们主要的生产生活方式,土地利用结构中耕地的比例远高于其他地类,因而乡村地域围绕耕地资源的争夺是该时段主要的冲突表现形式。2005—2020年的冲突变化远大

于 1990—2005 年,且呈现出两个显著特点:一是土地利用冲突增大的区域面积大于上一时段,除鄱阳湖湖体以及山地地区之外,大多数区域的土地利用冲突水平都呈增加的趋势,与上一时段不同的是,该时段的冲突值增加较高的区域主要分布在城镇地区。二是冲突增大区域的增加值高于上一时段,如南昌市中心城区的冲突值在 1990—2005 年的增加值为 0.08~

0.3,而 2005 年后其冲突增加值大于 0.3,这反映出伴随城镇化进程的推进及社会经济的发展,土地利用冲突的高发区域逐渐由乡村转向城镇地区。从近 30 年间的总体冲突变化情况来看,鄱阳湖区大多数区域的土地利用冲突水平均处于稳定可控的状态,而在人口密度较高的城镇地区以及鄱阳湖的滨湖区周边仍存在较高的冲突水平。

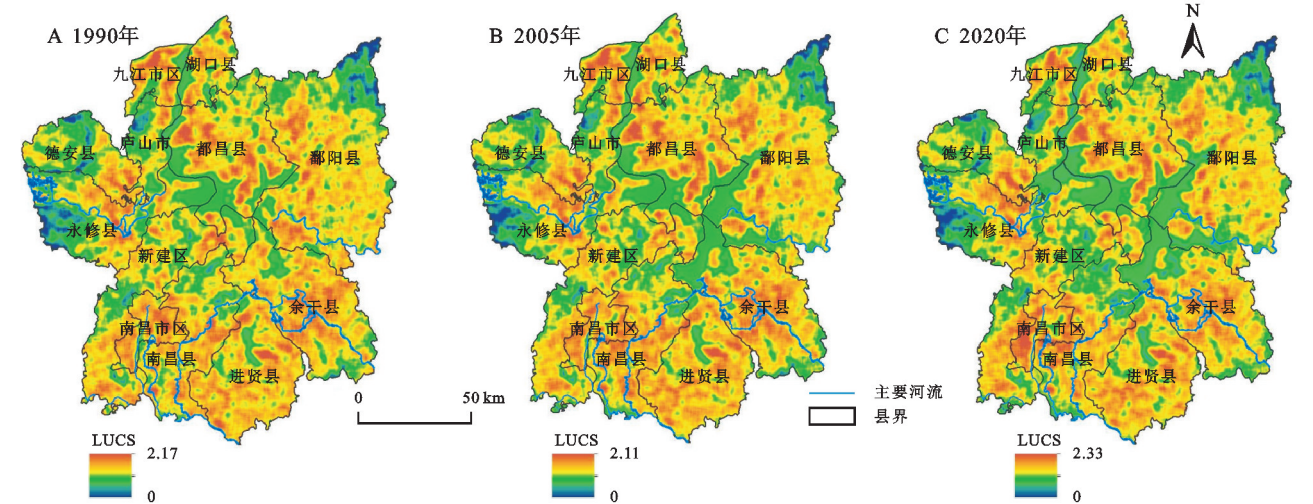


图 6 1990—2020 年土地利用冲突空间格局演变
Fig. 6 Spatial-temporal evolution of land use conflict from 1990 to 2020

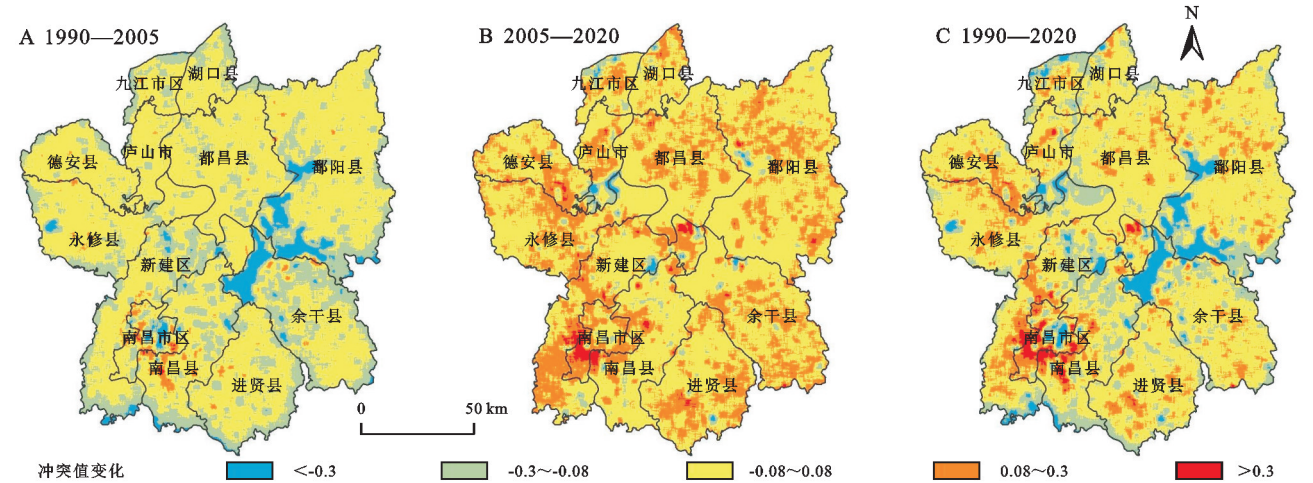


图 7 土地利用冲突指数动态变化
Fig. 7 Dynamics of the land-use conflict index

3.3 土地利用冲突的多情景模拟

借助 PLUS 模型模拟出鄱阳湖区 2035 年土地利用状况,并测算不同情景下的冲突指数空间分布(图 8),利用自然断点法将冲突指数分为 5 个等级,分别为稳定可控、弱冲突、较弱冲突、较强冲突、强烈冲突。总体来看,2035 年土地利用冲突的总体空间分布格局与 1990—2020 年基本一致,均呈现出城镇地区冲突高于乡村、鄱阳湖滨湖区冲突高于外围地区、平原地区冲突高于山地地区的空间格局,反映出区域土地利用冲突的发展演化具有一定的路径依赖性。从不同情景的差异来看,ED 情景的冲突程度最为剧烈,在保障经济优先

发展的背景下,大量的农用地和生态用地被城镇建设用地扩张所侵占,城镇地区的冲突程度呈显著上升的态势,而 CLP 和 SD 情景由于受到约束条件的限制,土地利用结构相对稳定,景观面临的生态风险较低,因而冲突程度相对缓和。BAU 情景下南昌市区、九江市区等区域中心地区的冲突值明显高于其余 3 种情景,表明在不受相关政策及人为因素干预的情况下,随着资源和要素进一步向中心区的集聚,区域核心城镇的土地利用冲突程度还将进一步加剧。为研究局部地区冲突程度的差异,选取 3 个典型区域来对不同情景下的土地利用冲突情况进行对比分析。

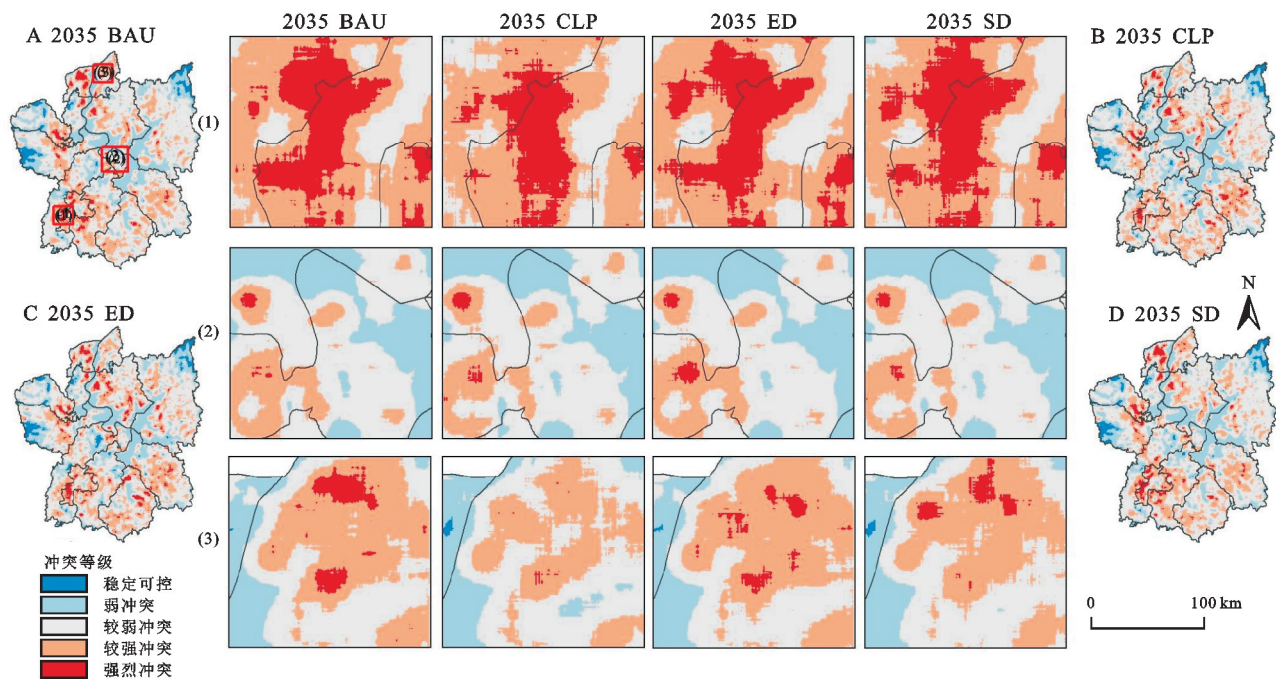


图 8 2035 年土地利用冲突多情景模拟及典型区域对比

Fig. 8 Multi-scenario simulation of land use conflicts in 2035 and comparison of typical regions

区域(1)为南昌市红谷滩区,4 种情景下红谷滩区的土地利用冲突程度均较高,但 ED 情景下的强烈冲突区域分布最广,由于红谷滩区是江西省的行政、金融中心以及南昌市未来的主要发展方向区,土地资源极其紧张,同时国土空间的大规模开发给当地生态系统带来极大的外部压力,生态系统的原有状态被打破,景观受到外部因素扰动,因而土地利用冲突程度较高。而 CLP 情景下冲突程度相对较低,该情景下区域内的耕地得到了很好的保留,景观格局受到的扰动较小,因而冲突较低。

区域(2)为南矶山湿地国家级自然保护区。4 种情景下南矶山保护区的冲突程度都较低,原因是南矶山自然保护区位于赣江入湖口,保护区内生物多样性丰富,同时在国家政策的保护下,人类活动对其生态系统的干扰较小,保护区内生态系统状态较为稳定,土地利用冲突程度也相应较低。同时 ED 情景下冲突程度高于其余情景,并且有由点状蔓延到周边区域的态势,因此应注意加强对保护区内人类活动和开发建设的管控。

区域(3)为湖口县西部滨湖集中连片耕地区。不同情景的冲突程度存在显著差异,在 BAU 情景下,湖口县西部的土地利用冲突最高,主要是 BAU 情景下建设用地的扩张能力较强,在城镇化快速发展的背景下湖口县西部的耕地面临着被建设用地侵占,导致冲突加剧的风险。而 CLP 情景下的冲突程度较低,由于耕地保护情景下耕地的转化被严格限制,且建设用地无法像 BAU 及 ED 情景下大规模扩张,耕地面

积得到了较好地保护,使得 CLP 情景下该区域的土地利用冲突程度优于其他情景。

3.4 不同情景下土地利用冲突和解效果评估

根据 2035 年不同情景下冲突程度分级结果,绘制鄱阳湖区 1990—2035 年较强和强烈冲突等级以及较弱和弱冲突等级的区域面积占比演化趋势图(图 9),并以 2020 年为参照对象,来评估不同情景对鄱阳湖区土地利用冲突的和解效果。

由图 9 可知,1990—2020 年较强和强烈冲突等级面积占比呈现先降后升的变化趋势,而较弱冲突和弱冲突等级面积占比呈先升后降趋势,这表明 1990—2005 年鄱阳湖区的土地利用冲突程度有所缓和,但随后 15 年内冲突程度又不断上升,到 2020 年较高和高等级冲突面积占比达到 30.1%,土地利用冲突的治理已刻不容缓。从 2035 年多情景模拟结果的较强和强烈冲突等级面积占比来看,4 种情景下土地利用冲突程度均有所缓解,但 SD 情景下的冲突缓解效果显著优于其余情景。较弱和弱冲突等级面积占比的历史演化呈现先升后降的趋势,2035 年 SD 情景下较弱和弱冲突等级面积占比最高,而 ED 情景的较弱和弱冲突等级占比最低,表明不加限制地发展经济以及进行大规模城镇开发建设将导致区域冲突加剧。

综上,按照鄱阳湖区的土地利用冲突历史演化趋势预测,高和较高等级冲突等级面积占比将有所下降,较弱和弱冲突等级面积占比会有所上升,如果不采取相关政策对区域国土空间开发合理规划,土地利用冲突仍有进一步加剧的风险。由于 CLP 和 ED

情景都是单一且较极端的发展模式,导致其冲突缓解效果并不理想,而 SD 情景下兼顾了维护区域生态安全格局以及社会经济发展,无论高冲突等级还是低冲

突等级面积占比均较为理想,能有效缓解人地矛盾,因而 SD 情景下的土地利用空间格局对未来的土地利用规划具有一定参考意义。

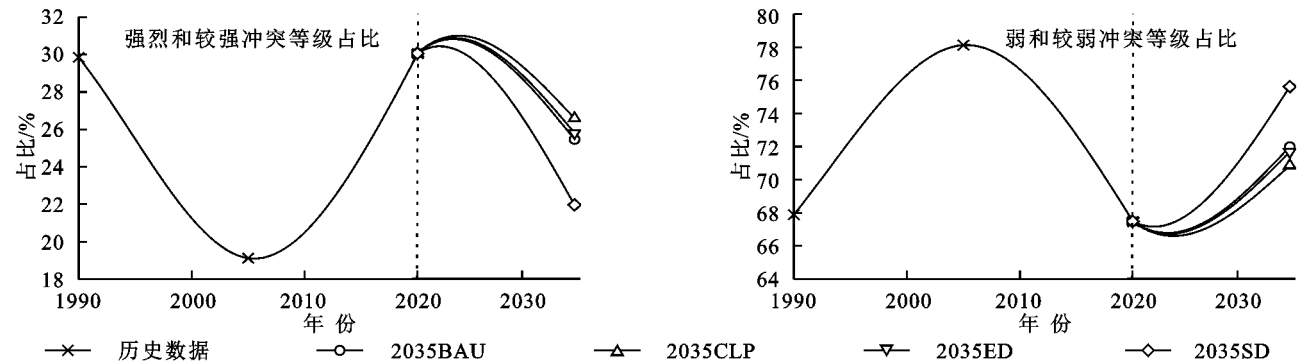


图 9 2035 年不同情景下土地利用冲突指数变化趋势

Fig. 9 Trends in the land use conflict index under different scenarios in 2035

4 讨论与结论

4.1 讨论

(1) 景观指数计算和基于 CA 模型的土地利用模拟均具有较强的空间尺度敏感性。元胞自动机模型对尺度因素的敏感性从大到小依次为:转换规则、元胞大小、邻域大小和邻域形状^[30],空间分辨率过高或者过低都会影响土地利用空间格局的客观表达,不同的空间粒度不但会影响冲突测算结果,也会影响土地利用模拟精度。本文运用最佳景观尺度设定方法选取 120 m 为本研究最佳粒度大小,粒度大小的设定综合考虑了研究区大小、景观精度损失对比情况等。土地利用模拟精度验证结果显示 Kappa 系数为 0.884。张鹏^[31]、张潇^[28]等应用 PLUS 模型分别对邯郸市、长三角城市群进行了土地利用模拟研究,其模拟精度均大于 0.8,这表明 PLUS 模型的模拟精度已在较广泛的实践中得到了验证,具有良好的可靠性。本文 PLUS 模型土地利用模拟的总体精度为 0.914,这也从侧面反映 120 m 的空间分辨率是较适宜用于鄱阳湖区土地利用模拟的粒度大小。

(2) 基于景观生态风险视角的土地利用冲突测算方法已广泛应用于土地利用冲突的相研究中,该方法能较好地刻画出区域土地利用冲突的时空格局,但土地利用冲突的本质是区域人地关系的一种不和谐状态,该方法测度出的土地利用冲突程度仅受土地利用空间结构影响,不仅无法反映出人为因素引发的土地利用冲突,也难以对土地利用冲突进行归因,而人为因素是引发土地利用冲突的重要原因,Liu 等^[32]基于人一地一景观要素协调视角对基于景观生态风险的土地利用冲突测算模型进行了改进,为后续研究提供了有价值的视角和思路,因此将人为因素加入土地

利用冲突的测算是今后研究的重要方向。

(3) 本文多情景模拟结果表明,2035 年鄱阳湖区土地利用冲突空间格局总体上将延续 2020 年的状态,表明土地利用冲突现象的发展演化具有一定的延续性,这与张潇等^[28]的研究结果一致。不同的是,经济优先发展情景下鄱阳湖区的冲突最为剧烈,线性发展情景次之,而长三角城市群 2030 年在自然发展情景下的冲突最为剧烈,经济优先发展情景次之,可能是由于鄱阳湖区人口相较于长三角城市群而言较少,线性发展情景下人类活动对景观的扰动远小于长三角城市群,而如果一味地优先发展经济,则会损害鄱阳湖区的特色生态本底。不同情景对冲突的缓和结果都表明,综合可持续发展情景对土地利用冲突现象的缓和具有良性促进作用。

4.2 结论

(1) 综合最佳景观尺度分析方法和研究区实际,确定 120 m 的粒度、3 000 m 的幅度大小适宜对鄱阳湖区进行景观格局特征分析。

(2) 从鄱阳湖区土地利用冲突的空间特征来看,总体空间分布格局是鄱阳湖滨湖区的冲突程度显著高于外围地区,南部地区冲突程度总体高于北部地区,平原地区的冲突程度高于山地和丘陵地区,河流两侧的冲突高于其他地区。

(3) 从土地利用冲突的动态变化特征来看,1990—2005 年鄱阳湖区大部分区域的冲突处于稳定可控状态,城镇地区的冲突变化并不显著,乡村及县域交界区域土地利用冲突值变化较大,乡村地域围绕耕地资源的争夺是该时段主要的冲突表现形式。而 2005—2020 年土地利用冲突增大的区域面积大于上一时段,且冲突水平增加程度更为剧烈。

(4) 基于 PLUS 模型的土地利用冲突模拟结果

表明,2035 年土地利用冲突的总体空间格局总体将延续 1990—2020 年的分布态势,但不同情景下局部地区的冲突程度会发生显著变化,线性发展情景和经济优先发展情景下主要城镇地区的冲突程度将进一步加剧,耕地保护情景下区域的主要耕地可得到较好保护。不同情景对土地利用冲突的和解评估结果表明可持续发展情景可以有效缓和高中冲突区域的冲突程度,缓和人地矛盾,实现生态保护和经济发展的平衡发展,是鄱阳湖区未来较为合理的一种发展方向选择。

参考文献 (References):

- [1] 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 D, Xu J C, Wang L. Process of land use conflict research in China during the past fifteen years[J]. China Land Sciences, 2015,29(2):21-29.
- [2] 孟鹏,冯广京,吴大放,等.“多规冲突”根源与“多规融合”原则:基于“土地利用冲突与‘多规融合’研讨会”的思考[J].中国土地科学,2015,29(8):3-9,72.
Meng P, Feng G J, Wu D F, et al. Causes of the multiple-planning conflict and principle of multiple-planning integration: Reviews of the workshop “land use conflicts and multiple planning integration”[J]. China Land Sciences, 2015,29(8):3-9,72.
- [3] 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 L L, Liu Y S, Wang Y S. Research progress and prospect of land-use conflicts in China[J]. Progress in Geography, 2020,39(2):298-309.
- [4] 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 Z A, Feng X R, Hong Z Q, 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.
- [5] Steinhäuser R, Siebert R, Steinführer A, et al. National and regional land-use conflicts in Germany from the perspective of stakeholders[J]. Land Use Policy, 2015,49:183-194.
- [6] 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 Y F, An Q, Zhu L Q. Diagnosis based on the PSR model of rural land-use conflicts intensity[J]. Progress in Geography, 2012,31(11):1552-1560.
- [7] Lin G, Fu J Y, Jiang D. Production-living-ecological conflict identification using a multiscale integration model based on spatial suitability analysis and sustainable development evaluation: A case study of Ningbo, China [J]. Land, 2021,10(4):383.
- [8] 闵婕,汪洋,白茹月,等.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[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2018,35(3):82-89,150.
Min J, Wang Y, Bai R Y, et al. The research on identification of land use potential conflict based on multiobjective suitability evaluation on mountainous city: A case study of Qijiang district of Chongqing municipality [J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2018,35(3):82-89,150.
- [9] Jiang S, Meng J J, Zhu L K, et al. Spatial-temporal pattern of land use conflict in China and its multilevel driving mechanisms[J]. Science of the Total Environment, 2021,801:149697.
- [10] 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 J J, Zhou G H, Tang C L, 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.
- [11] 蒙古军,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 J J, Jiang S, 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.
- [12] 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 G Q, Niu Q, Wu Z H, 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.
- [13] 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[J].中国人口·资源与环境,2013,23(S2):388-392.
Ruan S T, Wu K N. Research on Land Use Conflict and Its Mitigation Mechanism in the Process of Urbanization: Based on the perspective of non-cooperative game theory [J]. China Population, Resources and Environment, 2013,23(S2):388-392.
- [14] Ma D G, Chen J, Zhang W J, et al. Farmers' vulnerability to flood risk[J]. Journal of Geographical Sciences, 2007,17(3):269-284.
- [15] Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s[J]. Journal of Geographical Sciences, 2014,24(2):195-210.
- [16] 谢花林.基于景观结构和空间统计学的区域生态风险分析[J].生态学报,2008,28(10):5020-5026.

- Xie H L. Regional eco-risk analysis of based on landscape structure and spatial statistics[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008,28(10):5020-5026.
- [17] 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[J].*地理研究*,2015,34(9):1630-1642.
Zhou D, Xu J C, Wang L. Land use spatial conflicts and complexity: A case study of the urban agglomeration around Hangzhou Bay, China[J]. *Geographical Research*, 2015,34(9):1630-1642.
- [18] Zuo Q, Zhou Y, Wang L, et al. Impacts of future land use changes on land use conflicts based on multiple scenarios in the central mountain region, China[J]. *Ecological Indicators*, 2022,137:108743.
- [19] 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.
Lü S Y, Zhang J Y, Wu Z P. Study on the spatial conflict of land use in Jinghe County oasis[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2022,38(4):428-436.
- [20] 张玲玲,赵永华,殷莎,等.基于移动窗口法的岷江干旱河谷景观格局梯度分析[J].*生态学报*,2014,34(12):3276-3284.
Zhang L L, Zhao Y H, Yin S, et al. Gradient analysis of dry valley of Minjiang River landscape pattern, based on moving window method[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014,34(12):3276-3284.
- [21] 付扬军,师学义,和娟.汾河流域景观破碎化时空演变特征[J].*自然资源学报*,2019,34(8):1606-1619.
Fu Y J, Shi X Y, He J. The spatio-temporal evolution characteristics of landscape fragmentation in Fenhe River Basin[J]. *Journal of Natural Resources*, 2019,34(8):1606-1619.
- [22] Liang X, Guan Q F, Clarke K C, et al. Understanding the drivers of sustainable land expansion using a patch-generating land use simulation (PLUS) model: A case study in Wuhan, China[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2021,85:101569.
- [23] 胡丰,张艳,郭宇,等.基于 PLUS 和 InVEST 模型的渭河流域土地利用与生境质量时空变化及预测[J].*干旱区地理*,2022,45(4):1125-1136.
Hu F, Zhang Y, Guo Y, et al. Spatial and temporal changes in land use and habitat quality in the Weihe River Basin based on the PLUS and InVEST models and predictions[J]. *Arid Land Geography*, 2022,45(4):1125-1136.
- [24] Lin Z Q, Peng S Y. Comparison of multimodel simulations of land use and land cover change considering integrated constraints: A case study of the Fuxian Lake Basin[J]. *Ecological Indicators*, 2022,142:109254.
- [25] 王保盛,廖江福,祝薇,等.基于历史情景的 FLUS 模型邻域权重设置:以闽三角城市群 2030 年土地利用模拟为例[J].*生态学报*,2019,39(12):4284-4298.
Wang B S, Liao J F, Zhu W, et al. The weight of neighborhood setting of the FLUS model based on a historical scenario: A case study of land use simulation of urban agglomeration of the Golden Triangle of Southern Fujian in 2030[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019,39(12):4284-4298.
- [26] Dong G L, Ge Y B, Jia H W, et al. Land use multi-suitability, land resource scarcity and diversity of human needs: A new framework for land use conflict identification[J]. *Land*, 2021,10(10):1003.
- [27] 陈理庭,蔡海生,张婷,等.基于 Markov-FLUS 模型的饶河流域土地利用多情景模拟分析[J].*生态学报*,2022,42(10):3947-3958.
Chen L T, Cai H S, Zhang T, et al. Land use multi-scenario simulation analysis of Rao River Basin based on Markov-FLUS model[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022,42(10):3947-3958.
- [28] 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 X, Gu R X. 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.
- [29] 喇露梦,勾蒙蒙,李乐,等.三峡库区生态系统服务权衡时空动态与情景模拟:以秭归县为例[J].*生态与农村环境学报*,2021,37(11):1368-1377.
La L M, Gou M M, Li L, et al. Spatiotemporal dynamics and scenarios analysis on trade-offs between ecosystem service in Three Gorges Reservoir area: A case study of Zigui County[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2021,37(11):1368-1377.
- [30] 吴浩,周璐,史文中,等.基于正交试验设计的土地利用变化元胞自动机模拟过程的尺度敏感性分析[J].*地理科学*,2013,33(10):1252-1258.
Wu H, Zhou L, Shi W Z, et al. Scale sensitive of cellular automata model for the simulation of land use change based on orthogonal experiment[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2013,33(10):1252-1258.
- [31] 张鹏,李良涛,苏玉姣,等.基于 PLUS 和 InVEST 模型的邯郸市碳储量空间分布特征研究[J].*水土保持通报*,2023,43(3):338-348.
Zhang P, Li L T, Su Y J, et al. Spatial and temporal distribution characteristics of carbon storage in Handan city based on PLUS and InVEST models[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2023,43(3):338-348.
- [32] Liu X P, Zhang Z, Li M X, et al. Spatial conflict simulation of land-use based on human-land-landscape elements inter-coordination: A case study in Tianjin, China[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2022,194(5):317.