

# 土地利用冲突时空动态过程与多情景模拟

## ——以安徽省芜湖市为例

白庆阳, 程久苗, 程超, 吴九兴

(安徽师范大学 地理与旅游学院, 安徽 芜湖 241000)

**摘要:** [目的] 探讨土地利用冲突的演变过程及其形成变化机制, 为促进区域土地利用冲突缓解、优化区域土地资源配置提供理论依据。[方法] 基于时空动态过程, 从景观格局视角构建土地利用冲突识别模型, 诊断芜湖市 2000、2005、2010、2015 和 2020 年 5 期土地利用冲突状况。基于贝叶斯时空层次模型和最优化地理探测器构建土地利用冲突时空动态过程形成机制框架, 识别芜湖市土地利用冲突时空动态过程及形成机制。结合 PLUS 模型对芜湖市 2030 年土地利用进行多情景模拟预测。[结果] ① 研究期内, 芜湖市土地利用冲突水平呈现波动上升趋势, 土地利用冲突空间格局主要呈现“南高北低, 以长江为轴线不断扩展”, 其局部变化热点分布集中于城乡交错区以及农业空间与生态空间交互区。② 高程、坡度、距道路距离以及距水系距离等因素是芜湖市土地利用冲突格局形成的主要影响因素, 而 GDP 和人口分布对于土地利用冲突形成的解释力度相对较小。③ 不同情景下土地利用冲突格局仍将延续前期变化, 其中耕地保育和生态保护情景可以有效缓解土地利用冲突的形成, 需在管理过程中维护农业、生态和经济发展之间的平衡。[结论] 芜湖市土地利用冲突呈现不断强化态势, 其中社会发展对其影响程度不断深化, 未来仍需因地制宜强化国土空间用途管制, 提升土地利用节约集约水平, 实现高质量发展。

**关键词:** 土地利用冲突; 贝叶斯时空层次模型; 最优化地理探测器; 多情景模拟; 安徽省芜湖市

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2025)01-0178-12

中图分类号: F301.24

**文献参数:** 白庆阳, 程久苗, 程超, 等. 土地利用冲突时空动态过程与多情景模拟[J]. 水土保持通报, 2025, 45(1): 178-189. Bai Qingyang, Cheng Jiumiao, Cheng Chao, et al. Spatiotemporal dynamic process of land use conflicts and multi-scenario simulation [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2025, 45(1): 178-189. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2025.01.019; CSTR:32312.14.stbctb.2025.01.019.

## Spatiotemporal dynamic process of land use conflicts and multi-scenario simulation

—A case study in Wuhu City, Anhui Province

Bai Qingyang, Cheng Jiumiao, Cheng Chao, Wu Jiuxing

(School of Geography and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000, China)

**Abstract:** [Objective] The evolution process of land use conflict and its formation and change mechanisms were explored to promote the alleviation of regional land-use conflict and optimize the allocation of regional land resources. [Methods] Based on a spatiotemporal dynamic process, a model for identifying land-use conflicts developed from a landscape pattern perspective was applied to diagnose land-use conflict situations across five periods (2000, 2005, 2010, 2015, and 2020) in Wuhu City, Anhui Province. By integrating the Bayesian hierarchical spatiotemporal model and the optimal parameter-based geographical detector, a framework was established to understand the formation mechanisms of the spatiotemporal dynamics of land-use conflicts, identifying the spatiotemporal dynamics and driving forces of land use conflicts in Wuhu City. The PLUS model was applied to conduct multi-scenario simulations and conflict mitigation analyses for land use in Wuhu City in 2030. [Results] ① Over the study period, the level of land-use conflicts in Wuhu City fluctuated upward, with the spatial pattern predominantly displaying a higher conflict density in the south and lower in the north, continuously expanding along the Changjiang River axis. Hotspots of local variation were concentrated in the urban-

收稿日期: 2024-09-01

修回日期: 2024-10-22

采用日期: 2024-10-23

资助项目: 安徽省自然科学基金项目“都市圈跨界区域土地利用转型的格局、机理与效应: 以南京与合肥都市圈为例”(2208085MD86)

第一作者: 白庆阳(1999—), 男(回族), 安徽省颍上县人, 硕士研究生, 研究方向为土地资源利用与管理。Email: 1374867609@qq.com.

通信作者: 程久苗(1964—), 男(汉族), 安徽省怀宁县人, 教授, 主要从事土地利用规划与管理、土地制度与政策研究。Email: 975869246@qq.com.

rural fringe areas, where agricultural and ecological spaces intersected. ② Land-use conflict patterns in Wuhu City were primarily formed by factors such as elevation, slope, proximity to roads, and distance from water systems, while GDP and population distribution had less influence on land-use conflict formation. ③ The pattern of land-use conflicts was expected to persist under different scenarios; notably, scenarios focused on farmland conservation and ecological protection could effectively mitigate the emergence of land-use conflicts, and the balance between agriculture, ecology and economic development should be maintained in the management process. [Conclusion] Land-use conflict in Wuhu City is constantly strengthening with the impact of deepening social development. In the future, it is still necessary to strengthen the control of land use according to local conditions, improve the level of land use conservation and intensive, and achieve high-quality development.

**Keywords:** land use conflicts; Bayesian hierarchical spatio-temporal model; optimal parameters-based geographical detector; multi-scenario simulation; Wuhu City, Anhui Province

当前,我国经济社会建设步入由高速增长向高质量发展的转型阶段,土地要素作为经济社会发展的基本承载,缓解土地利用冲突以实现区域内国土空间协调开发具有深远战略意义。一方面土地要素的多宜性和稀缺性决定其利用形式的复杂性,土地利用格局于长期利用变化过程中呈现出不同程度和形式上的土地利用冲突态势;另一方面在城市化进程快速发展的现状下,土地利用需求同稀缺的土地资源之间的矛盾日益紧张,对区域内国土空间治理提出新要求,土地利用冲突问题日益受到重视<sup>[1]</sup>。在党的二十大提出“构建优势互补,高质量发展的区域经济布局和国土空间体系”背景下,识别土地利用冲突及其动态变化态势,掌握土地利用时空变化特征,揭示土地利用冲突影响机制和用地权衡对优化国土空间布局、提升土地资源利用效率以促进区域高质量发展具有重要意义。

“冲突”概念源于社会学,指两个及以上的社会单元在目标上互不相容,从而产生心理上或行为上的矛盾<sup>[2]</sup>。基于土地资源的多重属性及其在社会生产关系的重要客体地位,诸多学者就不同学科视角和研究目的对土地利用冲突概念进行阐述,如社会学视角下的土地利用主体间权益及利用方式冲突<sup>[3]</sup>,生态学视角下土地利用同资源环境间的矛盾<sup>[4]</sup>,地理学视角下的空间资源分配竞争等<sup>[5]</sup>概念内涵,并划分出土地利用的绝对冲突、相对冲突,现实冲突和潜在冲突等具体类型。综合已有研究,土地利用冲突的实质是不同利益主体对土地这一资源客体进行利用而产生的利益博弈,并表现为受到土地要素的多重特征的综合影响,于空间载体上出现的各种社会矛盾和冲突现象,呈现出诸如规划布局冲突、资源环境冲突、空间功能冲突等多种表现形式,是一种客观的地理现象<sup>[2,5-6]</sup>。破解空间结构层面上的土地利用冲突,实现国土空间格局与发展需求之间优化衔接,是土地利用冲突问题研究的关键内容。

土地利用冲突问题在学术界的广泛关注下,相关

研究已形成从概念界定、冲突识别、趋势分析,到驱动因素探索、空间模拟分析及权衡缓解的完整体系。相关研究在研究尺度上包含省、市、县等行政尺度<sup>[7-8]</sup>的同时,亦从城市群<sup>[9]</sup>、特殊地貌区<sup>[10]</sup>、流域<sup>[11]</sup>、岛屿等<sup>[12]</sup>多尺度开展。在冲突识别上主要运用了参与式调查<sup>[11]</sup>、适宜性评价<sup>[10]</sup>以及景观生态分析等<sup>[13]</sup>方法。随着研究的深入,在识别多期土地利用冲突的基础上,多时点分析和定性描述为主要的时空刻画方式,如何从整体时空耦合角度分析土地利用冲突的时空动态变化仍具有研究空间。贝叶斯时空层次模型通过已有先验信息对研究对象的时间趋势、空间格局及局部变化展开拟合分析,破解传统时空分析难以揭示时间动态和空间分布的耦合过程的瓶颈,具有更直观的分析优势<sup>[14]</sup>,其在生态学<sup>[15]</sup>和疾病产生风险分析等<sup>[16]</sup>时空动态过程研究取得较好效果。引入贝叶斯时空层次模型可量化分析土地利用冲突整体时空动态过程并为区域性冲突缓解提供有益参考。在冲突驱动机制分析过程中,地理探测器<sup>[17]</sup>、随机森林模型<sup>[18]</sup>、地理加权回归<sup>[7]</sup>以及主成分分析等<sup>[19]</sup>方法得到大量应用,其中地理探测器方法<sup>[20]</sup>可对单因子影响程度和多因子的交互作用机制展开分析,其结果易受数据离散化处理影响而呈现较大差异。Song等<sup>[21]</sup>在地理探测器的基础上提出基于最优化参数的地理探测器(OPGD),其通过定量计算连续型空间数据的离散化结果,以确定地理探测器的最优化参数组合,为土地利用冲突的影响机制探析提供更为科学的研究方法。土地利用冲突的权衡缓解方面,有研究采用博弈方法或多目标权衡等方法协调区域内土地利用结构,而元胞自动机模型的发展为土地利用冲突的变化与权衡分析提供新的参考。其中Liang等<sup>[22]</sup>所提出的PLUS模型拥有优秀的模拟精度和趋势分析效果,并被广泛应用于研究多情景土地利用模拟,在区域性土地利用冲突的缓解优化研究中具有广泛的应用场景。

总体上,土地利用冲突相关研究已具有从理论分

析到实证研究的丰富成果,为多层级区域性国土空间优化利用提供有益参考。如何从区域整体层面把握冲突格局的时空动态过程,并科学探究其形成驱动机制仍具有相应的深入空间。安徽省芜湖市作为长江经济带重要成员城市,南倚皖南山系,北望江淮平原,具有优越的自然资源禀赋和经济建设区位优势。随着工业化城镇化的推进,芜湖市城市规模迅速扩张,对耕地保护和生态建设形成新的挑战,土地利用冲突形势日益严峻,开展土地利用冲突研究具有急迫性和区域典型性。鉴于此,通过探究经济社会快速发展状态下芜湖市土地利用变化特征,构建基于景观格局指数的土地利用冲突判断模型,测度芜湖市 2000, 2005, 2010, 2015 和 2020 年 5 期土地利用冲突水平,运用贝叶斯时空层次模型和参数最优化地理探测器揭示其土地利用冲突时空过程和驱动机制,应用 PLUS 模型对芜湖市 2030 年土地利用冲突格局进行多情景模拟,研究结果可为芜湖市国土空间规划编制、体检与评估以及土地利用冲突治理、缓解等提供科学参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况与数据来源

芜湖市位于安徽省东南部,地处长江下游,地

貌类型多样,平原丘陵皆备,河湖水网密布。北与合肥市、马鞍山市毗邻,南与池州市接壤,东与宣城市相连,西与铜陵市交界。芜湖市国土总面积 6 009.02 km<sup>2</sup>, 2020 年末常住人口 364.4 万人,该市地区生产总值从 2010 年的 1 329 亿元增长至 2020 年的 3 714 亿元,三次产业比重 4.3 : 47.6 : 48.1,经济总量常年居于安徽省第 2 位。芜湖市作为安徽省省域副中心城市,皖江城市带承接产业转移示范区核心城市,合肥都市圈、G60 科创走廊的重要成员,在发展建设过程中,不同城市定位与发展方向引发土地利用类型需求的剧烈变化,从而导致土地利用结构与资源配置的冲突,开展土地利用冲突动态过程研究具有迫切性。

本研究应用源自武汉大学开发的基于 Landsat 遥感观测的 30 m 分辨率中国年度土地覆盖数据 (CLCD)<sup>[23]</sup>,获取 2000, 2005, 2010, 2015 和 2020 年度 5 期土地利用/覆被数据对芜湖市土地利用冲突时空变化进行诊断分析。根据研究区域的实际状况,运用 ArcGIS 10.4 软件以芜湖市行政范围为基础分别构建 900 m×900 m, 1.5 km×1.5 km 和 3 km×3 km 渔网对栅格数据进行分割。结合相关研究<sup>[7,12]</sup>,考虑分析效果最终选择 900×900 m 尺度,共获取 7 817 个分析单元进行土地利用冲突分析。本研究相关数据具体来源详见表 1。

表 1 安徽省芜湖市基础数据来源

Table 1 Sources of basic data for Wuhu City, Anhui Province

数据名称	数据类型	分辨率/m	数据来源
土地利用数据	栅格数据	30	<a href="http://www.ncdc.ac.cn/">http://www.ncdc.ac.cn/</a>
高程数据	栅格数据	30	<a href="https://panda.copernicus.eu/panda">https://panda.copernicus.eu/panda</a>
坡度数据	栅格数据	30	<a href="https://panda.copernicus.eu/panda">https://panda.copernicus.eu/panda</a>
路网数据	矢量数据		<a href="https://www.openstreetmap.org/">https://www.openstreetmap.org/</a>
芜湖市 GDP 分布数据	栅格数据	1 000	<a href="https://www.resdc.cn/">https://www.resdc.cn/</a>
土壤质地数据	栅格数据	1 000	<a href="https://www.resdc.cn/">https://www.resdc.cn/</a>
芜湖市人口分布数据	栅格数据	1 000	<a href="http://www.geodoi.ac.cn/WebCn/Default.aspx">http://www.geodoi.ac.cn/WebCn/Default.aspx</a>
政府驻地	矢量数据		<a href="https://www.openstreetmap.org/">https://www.openstreetmap.org/</a>
水系位置	矢量数据		<a href="https://www.openstreetmap.org/">https://www.openstreetmap.org/</a>

### 1.2 研究方法

土地利用冲突根植于不同利益主体对国土空间利用的竞争和博弈,且随土地利用时空变化呈现动态变化,识别土地利用冲突的时空变化趋势和影响机制,结合土地利用多情景模拟权衡以实现社会、经济和生态 3 项效益的均衡协调是土地利用冲突研究的重点(图 1)。首先,基于已有土地利用数据和相关影响因素数据,解析土地利用冲突形成发展诱因,构建基于空间结构特征的土地利用冲突识别模型;其次,运用贝叶斯层次时空模型和最优化地理探测器对土

地利用冲突时空变化特征和影响机制进行分析;最后,结合土地利用需求和发展方向,对芜湖市 2030 年土地利用格局和冲突变化展开多情景模拟,从区域高质量发展要求出发对多情景下土地利用冲突的缓解展开权衡分析。

1.2.1 土地利用冲突指数评价模型 土地利用空间格局中蕴含冲突产生的潜在可能性,基于前期划分的土地利用空间单元,并结合周德等<sup>[11,19,24]</sup>相关研究,构建基于土地利用复杂性、脆弱性和稳定性的土地利用冲突识别模型测度芜湖市 2000—2020 年 5 期土地

利用冲突指数,计算公式为:

$$SCCI=CI+FI-SI \quad (1)$$

式中:CI为土地利用复杂性指数;FI为土地利用脆弱度指数;SI为土地利用稳定性指数。

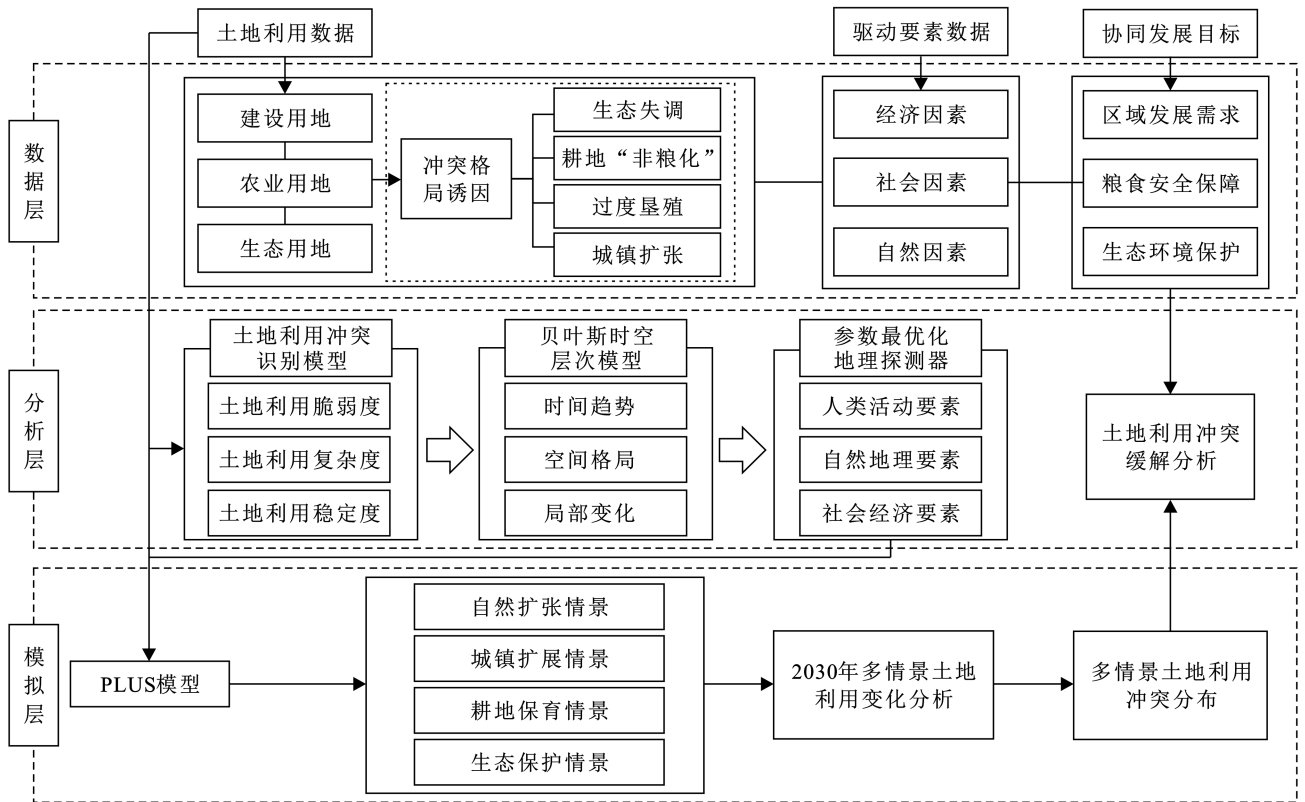


图 1 土地利用冲突研究路线

Fig.1 Research procedure on land use conflict

(1) 土地利用复杂性指数(CI)。土地利用复杂性指数(CI)是土地利用格局在景观上的直接显示,其值越大则区域斑块内部的景观类型越复杂,所蕴含的冲突状况则更严重。选择面积加权平均斑块分形指数 AWMPFD 来表征土地利用复杂性指数 CI,计算公式为:

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

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) 土地利用脆弱性指数(FI)。土地利用脆弱性指数(FI)显示处于内部和外部压力下的空间格局抗干扰能力,其数值越高则越容易发生格局变化。计算公式为:

$$FI=\sum_{i=1}^m F_i \times \frac{a_i}{A} \quad (3)$$

式中: $F_i$ 表示空间单元中第*i*种地类的脆弱度; $a_i$ 表示空间单元内*i*类景观斑块总面积; $A$ 表示空间单元总面积; $m$ 表示空间类型数量。

为测度总体土地利用脆弱性指数,需针对不同土

地利用类型的脆弱性进行分类赋值。以单一土地利用动态度表征芜湖市某土地利用类型在一定时间范围内的面积变化速率,定性分析各类用地脆弱度  $F_i$  赋值。其计算公式为:

$$K=\frac{U_i-U_j}{U_i} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (4)$$

式中: $K$ 为研究期内某种土地利用动态度; $U_i$ 为研究期初土地利用面积; $U_j$ 为研究期末土地利用面积; $T$ 为研究时段长度。

(3) 土地利用稳定性指数(SI)。土地利用稳定性指数(SI)主要表征空间类型的内部稳定性,其数值越大则越不容易发生冲突,一般选用景观格局指数中的景观破碎度(PD)的倒数进行计算,计算公式为:

$$SI=1-PD \quad (5)$$

$$PD=N_i/A \quad (6)$$

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

1.2.2 贝叶斯时空层次模型(BSTHM) 为进一步分析芜湖市土地利用冲突的时空变化特征,引入贝叶

斯时空层次模型 (BSTHM) 对其展开分析。为优化模型拟合效果, 在测度 5 期土地利用冲突水平的基础上, 以行政村为单位对 7 817 个空间单元进行划分并计算各村平均冲突指数, 得出各行政村  $i$  在第  $t$  期的土地利用冲突值  $Y_{it}$ 。基于土地利用冲突分布变化的连续性, 构建基于正态分布的 BSTHM, 其模型主要内容为:

(1) 数据模型:

$$Y_{it} \sim \text{Normal}(\mu_{it}, \sigma^2) \quad (7)$$

(2) 过程模型:

$$\log_2(\mu_{it}) = \log_2\alpha + s_{1i} + s_i + b_0t + v_t + b_{1i}t + \epsilon_{it} \quad (8)$$

式中:  $\alpha$  为截距项;  $s_{1i}, s_i$  表示芜湖市土地利用冲突的空间特征, 其中  $s_{1i}$  表示空间非结构化效应,  $s_i$  表示空间结构化效应;  $b_0t + v_t$  表示土地利用冲突的总体时间变化趋势, 其中  $b_0t$  是时间趋势中的线性趋势部分,  $v_t$  则是非线性趋势部分;  $b_{1i}t$  表示芜湖市土地利用冲突的局部变化趋势;  $\epsilon_{it}$  是变化过程中随机误差项。  $s_i, b_{1i}t$  的先验分布用条件自回归模型<sup>[25]</sup> 进行计算, 设置  $b_0$  的先验分布服从均匀分布,  $s_{1i}, v_t$  服从正态分布,  $\epsilon_{it}$  服从  $N(\sigma_\epsilon^2)$ 。模型中的随机变量均方差设定为满足正值半高斯分布。引入方差组分系数 VPC<sup>[26]</sup> 以表征模型对土地利用冲突变化的时空过程解释力度, 其数值越大则对于时空过程的解释力度越强, 其计算公式为:

$$\text{VPC} = \frac{\text{var}(s_i + s_{1i} + b_0t + v_t)}{\text{var}(s_i + s_{1i} + b_0t + v_t) + \text{var}(b_{1i}t + \epsilon_{it})} \times 100\% \quad (9)$$

通过计算, 模型 VPC 系数达 91%, 说明其对于芜湖市土地利用冲突时空变化的刻画具有良好解释力度。

### 1.2.3 基于参数最优化的地理探测器模型 (OPGD)

为进一步分析自然和社会经济等要素对于芜湖市土地利用冲突变化的影响, 选择参数最优化地理探测器 (OPGD) 对其开展分析。模型利用地理探测器<sup>[20]</sup> 提供的备选的离散化方法和数量, 通过计算所有连续型数据在不同分级数量及间断方式下的  $q$  值结果, 选择最优的离散化方法和数量组合, 以提升结果的客观性及准确性。  $q$  值的取值范围为  $[0, 1]$  之内,  $q$  值越大则该影响因子对土地利用冲突的解释力度越强, 反之则越弱。  $q$  值的计算公式为:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (10)$$

式中:  $N$  为研究区单元数;  $N_h$  为第  $h$  层的单元数量;  $h$  则为连续型因子的分层数量;  $\sigma_h^2$  为第  $h$  层的因子

方差值;  $\sigma^2$  为整体研究区的因子方差值。

结合相关研究<sup>[27]</sup>, 在数据的离散方法上选取自然间断点分级法 (natural)、等间距分级法 (equal)、分位数间距分级法 (quantile)、几何间距分级法 (geometric)、标准偏差间距分级法 (sd) 共 5 种离散方法, 将分类等级划为 5~10 类, 筛选出最大  $q$  值的参数组合进行驱动因子分析。结合已有研究成果<sup>[7, 18]</sup>, 基于数据可获得性以及研究现势性, 从自然和社会经济角度选取高程、坡度、土壤质地、距水系距离、人口、GDP、距区县府距离和距主要道路距离共 8 项因子, 并运用 OPGD 中的“单项因子探测”和“交互探测”模块, 对芜湖市 2000, 2010 和 2020 年土地利用冲突空间分布影响因素进行分析。

1.2.4 PLUS 模型 PLUS 模型是由 Liang 等<sup>[22]</sup> 提出的融合用地扩张策略 (LEAS) 和多种类随机斑块种子 (CARS) 两个模块而构建的元胞自动机 (CA) 模型。它可以有效地模拟出土地利用类型的斑块级变化。根据芜湖市土地利用类型的数量及空间变化, 以 2010 和 2020 年两期土地利用数据为本底提取其土地利用扩张态势, 并结合 Markov 链预测芜湖市 2030 年土地利用需求量。以各地类的扩张强度来计算邻域强度, 其结果分别为农用地 (0.33)、林地 (1)、草地 (0.1)、水域 (0.11)、建设用地 (0.25)、未利用地 (0.34)。综合相关研究<sup>[28-29]</sup> 和《芜湖市国土空间总体规划 (2021—2035 年)》中城市发展相关需求对芜湖市 2030 年土地利用模拟状况进行多情景设定:

(1) 自然扩张情景 (NE)。以现有土地利用扩张和驱动因素为模拟基础, 不进行任何条件限制开展土地利用状况模拟。

(2) 城镇扩展情景 (UE)。为强化在经济发展和人口增长驱动下对于建设用地的需求, 为芜湖市建设省域副中心城市留足发展空间, 且林地和农用地是芜湖市建设用地的主要转入地类, 故将农用地和林地向城镇转出概率提升 20%, 建设用地向农用地和水域的转出概率降低 30%。

(3) 耕地保育情景 (CLC)。为响应国家对农业高质量发展的新要求, 确保城市耕地后备资源和农业产业用地空间充分供给, 严格遏制耕地“非粮化”“非农化”态势, 依据芜湖市耕地变化趋势及发展实际, 将农用地向其他类型用地转出概率降低 50%, 其他用地向农用地转移概率增加 40%。

(4) 生态保护情景 (EP)。为落实生态保护情景下山水林田湖草沙的一体化保护, 在保障生态地类的基础数量的同时实现农业和经济建设的和谐布局, 将农用地向建设用地转出概率降低 30%; 林地和草地

向建设用地转出概率降低 20%，向其他各用地类型转出概率降低 50%；水域向农用地和建设用地转出的概率降低 20%；建设用地向草地和水域转出概率增加 20%；未利用地向农用地和水域转出概率增加 20%。

为验证模型模拟效果，以 2000 和 2010 年两期土地利用数据为基础对 2020 年土地利用状况展开模拟，其 kappa 系数为 0.82，总体精度为 0.92，FoM 系数为 0.255，满足模拟精度要求，表明模型拟合效果较好。

## 2 结果与分析

### 2.1 芜湖市土地利用冲突识别结果和时空动态过程分析

测算芜湖市 2000—2010 年以及 2010—2020 年两个阶段的土地利用动态度，其结果详见表 2。由表 2 可知，芜湖市在 2000—2020 年的 20 a 间土地利用动态度的绝对值变化过程中，草地和建设用地变化最为剧烈，未利用地次之，水域、林地和农用地的变化强度不断弱化。从阶段性变化来看，建设用地面积变化呈持续增长趋势，农用地和未利用地则递减，草地、林地和水域呈现先增后减特征。依据土地利用动态度结果和芜湖市土地利用实际状况，结合已有研究<sup>[24]</sup>就芜湖市土地利用脆弱性设定如下：建设用地处于动态增加状态且相对难以恢复为其他用地，故其土地利用脆弱性设置为 1；芜湖市地处长江沿岸，其水域滩涂基数较大且不易剧烈变化，故将其脆弱性设定为

2；耕地和林地变化绝对值相近，故分别设置为 3,4；未利用地和草地的动态变化绝对值较为剧烈，设置为 5,6。

表 2 芜湖市 2000—2020 年土地利用动态度  
Table 2 Land use dynamics in Wuhu City from 2000 to 2020

土地利用类型	土地利用动态度/%		
	2000—2010 年	2010—2020 年	绝对值合计
农用地	0.57	0.13	0.70
林地	-0.43	0.95	1.38
草地	-15.79	9.11	24.90
水域	-1.94	0.44	2.38
未利用地	0.00	7.91	7.91
建设用地	-6.21	-4.37	10.58

根据土地利用脆弱性赋值结果，对芜湖市划分的 7 817 个空间单元的 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 共 5 期的 CI, FI, SI 指数进行计算和归一化处理，结合公式(1)得出土地利用冲突指数值。计算结果显示 5 期土地利用冲突指数的平均值分别为：0.47, 0.53, 0.55, 0.51, 0.56。结合自然断点分类法和现实土地利用状况，以长江河道部分作为弱冲突的分类基础，将冲突等级划分为 5 类：(0.0~0.4]为弱冲突、(0.4~0.55]为较弱冲突、(0.55~0.7]为中等冲突、(0.7~0.85]为较强冲突、(0.85~1.0]为强冲突，并根据冲突划分结果制作芜湖市 2000, 2005, 2010, 2015 和 2020 年 5 期土地利用冲突分布图(图 2)。

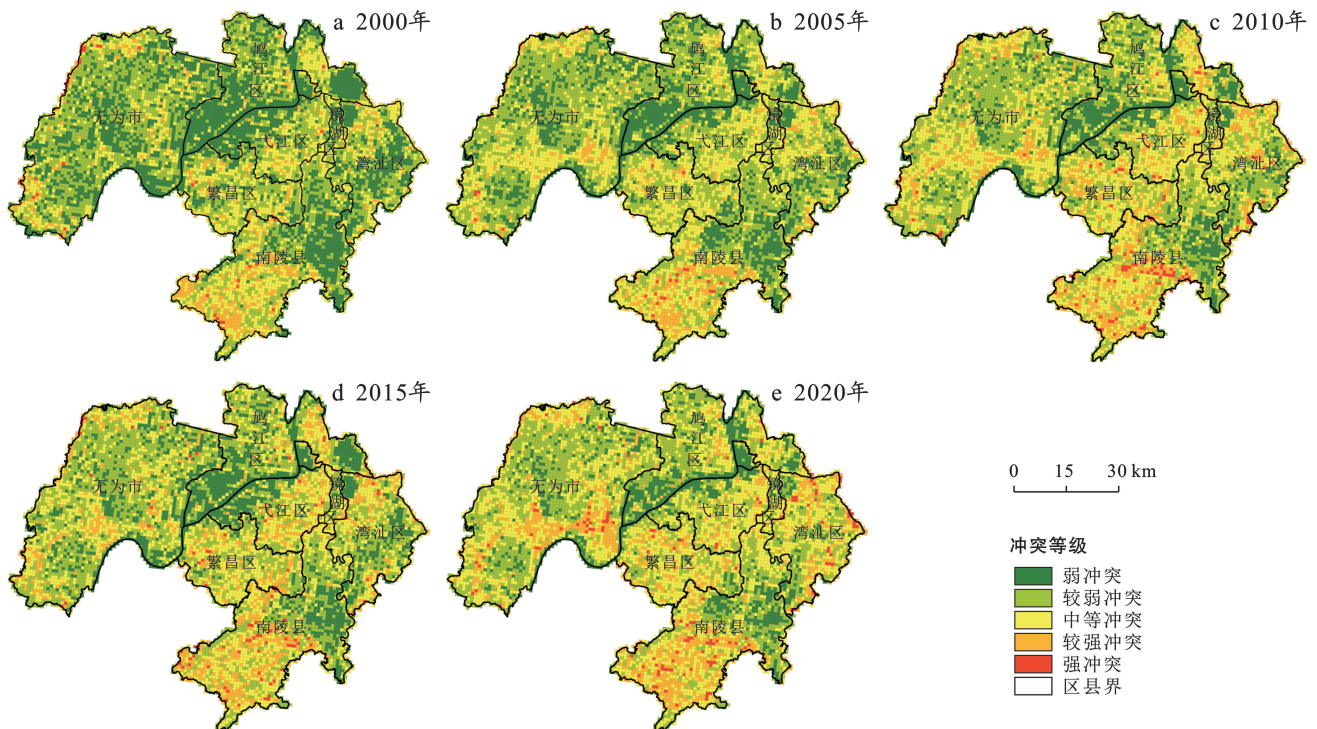


图 2 芜湖市 2000—2020 年土地利用冲突分布

Fig.2 Distribution of land use conflicts in Wuhu City from 2000 to 2020

以  $\exp(b_0t + v_i)$  的后验中值表征芜湖市土地利用冲突时间变化趋势。以  $\exp(s_{1i} + s_i)$  的后验中值描绘芜湖市土地利用冲突于整体时空动态过程中的空间分布格局(图 3a),并结合 Richardson<sup>[30]</sup> 提出的分类标准刻画芜湖市土地利用冲突空间格局的冷热点

分布(图 3b)。

若  $p[\exp(s_{1i} + s_i) > 1 | \text{data}] > 0.8$  则划为热点区域;若  $p[\exp(s_{1i} + s_i) > 1 | \text{data}] < 0.2$  则划为冷点区域,若  $0.2 < p[\exp(s_{1i} + s_i) > 1 | \text{data}] < 0.8$  则划为热点区域。

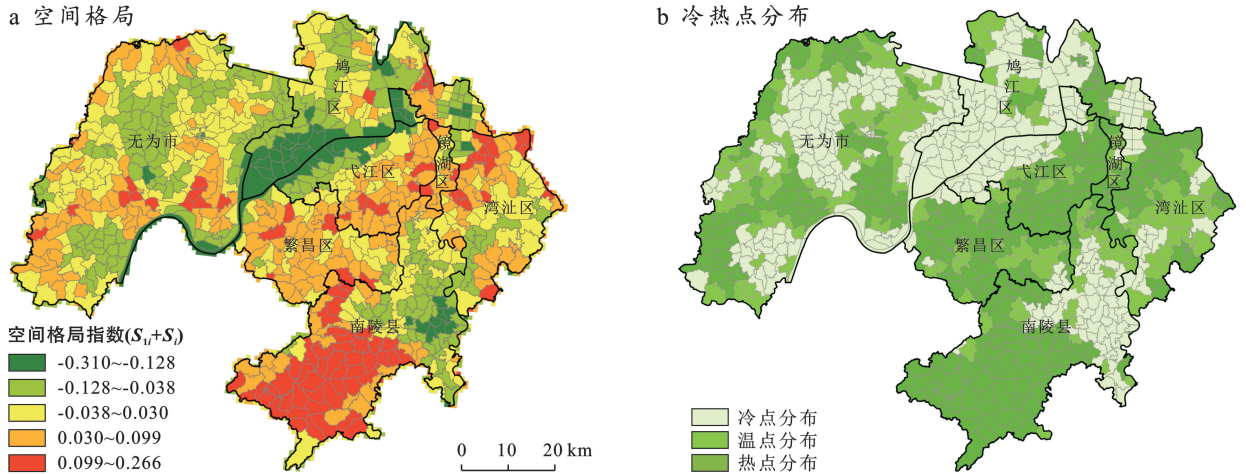


图 3 芜湖市土地利用冲突空间格局及冷热点分布

Fig.3 Spatial pattern and cold and hot spot distribution of land use conflicts in Wuhu City

根据贝叶斯时空层次模型对于芜湖市土地利用冲突的时间变化趋势拟合结果,芜湖市土地利用冲突水平在 20 年间呈现波动上升趋势。具体而言,2000—2010 年期间芜湖市土地利用冲突呈现持续上升态势,  $\exp(b_0t + v_i)$  的后验中值由 0.89 上升至 0.96,对应了芜湖市经济社会的快速发展过程中土地利用所呈现的强烈动态变化。在 2010—2020 年期间芜湖市土地利用冲突水平呈现先降后升趋势,  $\exp(b_0t + v_i)$  的后验中值由 2010 年的 0.96 下降至 2015 年的 0.92 再于 2020 年上升至 0.97,从冲突分布的空间变化观察,2015 年芜湖市土地利用冲突缓和的区域主要位于耕地集中分布区,如南陵县北部、无为市中部等区域。其原因在于前期芜湖市城镇建设用地扩张进一步加快,而对于耕地保护要求进一步提升,大量零星的生态地类向农用地转化,空间布局的复杂性和脆弱性有所降低使得芜湖市土地利用冲突呈现弱化态势;后期伴随着建设用地的进一步扩展和生态地类保护以及耕地“非粮化”问题的发展,土地利用的复杂性进一步上升导致土地利用冲突重新激化。

结合芜湖市土地利用冲突的空间布局以及 BSTHM 中的空间格局分析结果可知,芜湖市土地利用冲突在时空分布上主要呈现为南高北低的空间格局,以长江为轴线的东西部区域土地利用冲突态势日益激烈。其中长江沿岸、南陵县中北部、镜湖区北部以及无为市中部区域的土地利用冲突在 20 a 间主要呈现低弱冲突分布,贝叶斯模型结果也呈现为冷点分

布。其中南陵县中北部和无为市中部地势平坦,是芜湖市主要的农用地分布区,土地利用冲突相对较小,镜湖区北部及其周围地区伴随城市建设,作为城市中心建成区并未出现较为强烈的土地利用冲突。土地利用冲突程度最为严重且变化剧烈的区域集中于南陵县南部,并在空间格局上显示为集中性的热点区域。南陵县南部多低山丘陵,沟壑纵横,农用地分布相对分散,伴随林地开垦和建设用地扩张,土地利用冲突不断加剧。2000—2010 年期间,伴随着退耕还林政策的实施,受到景观格局脆弱性和复杂性变化的影响,该地区土地利用冲突水平在上升的过程中呈现较强的空间相关性;2010—2020 年期间,城镇化快速推进、耕地占补平衡要求以及耕地不实等状况使得南陵县南部出现林地向耕地的再次转变,耕地对于生态地类的侵占导致土地利用冲突激化,冲突水平进一步上升。无为市土地利用冲突水平在研究期内有所上升,冲突剧烈的区域集中于其南部和北部区域,且呈现为集中性热点分布,无为市其他区域的冲突水平则相对较低。由无为市研究期内土地利用变化可知,无为市南部农用地向水域、坑塘的转化导致空间格局的复杂性提升,进而强化其土地利用冲突水平,侧面显示耕地“非粮化”是土地利用冲突形成发展的主要诱因之一。而无为市北部区域矿产资源丰富,长期的矿山开采活动和不及时的废弃矿山修复治理对区域内生态环境造成严重破坏,使区域土地利用冲突状况日益凸显。芜湖城区是除南陵县南部之外另一土地利

用冲突高值分布区,其中城市建成区的土地利用冲突变化呈现由低向高再回落态势,该类区域主要集中于鸠江区中东部和弋江区北部,其对应了城郊地类由乡村空间向城市空间渐进式转变的时空过程。弋江区在研究期内迎来城市快速开发建设,伴随高新技术产业开发区的南向扩张,弋江区中南部土地利用冲突日渐凸显,在整体的土地利用冲突空间格局上呈现热点集聚态势。繁昌区内多丘陵地形,矿产资源丰富,矿山开采和城市建设使其内部生态空间受到冲击,土地利用冲突日益严重,对生态环境保护形成挑战。湾沚区地势相对平坦,具有良好的农业发展区位优势,在长期的土地利用变化过程中湾沚区西北部大量农用地被用于养殖坑塘和林地苗圃,“非粮化”问题成为该区域土地利用冲突水平较高且聚集的主要原因,而其东南部区域则受到城市扩张的影响,土地利用冲突水平在研究期内呈现上升态势。

芜湖市土地利用冲突时空分布说明城市发展过程中,不同区位的用地差异和发展方向对于土地利用冲突的构成和变化具有重要影响。在时空变化过程中,冲突区域呈现空间集聚性分布的同时,城市无序扩张、居民点分布散乱、耕地非粮化、生态环境破坏等因素成为冲突激化的主要驱动因素。在优化国土空间布局的背景下,缓解和调节土地利用冲突需结合区域发展现状和冲突驱动机制,因地制宜制定土地利用管控措施,促进国土空间结构优化以实现区域高质量发展。

## 2.2 芜湖市土地利用冲突驱动因素分析

对芜湖市 2000,2010 和 2020 年 3 期土地利用冲突进行单因子探测(表 3),其中模型主要采用几何间

距法对解释因子进行分类,等级划分上则集中于 9~10 级划分。驱动因子探测结果表明, $q$  值较高的解释因子为距主要道路距离和距水系距离,在自然地理特征上土壤质地、高程和坡度对土地利用冲突格局具有较大影响,而距区县府距离、GDP、人口分布等则解释力度较小。根据 3 期  $q$  值变化结果可知,八项影响因子的解释力度存在相对差距的同时,在研究期内除距水系距离和距道路距离两项因子之外,其解释力度随时间变化均呈现不同程度的下降趋势。具体而言,伴随着经济社会发展,距主要道路距离作为解释力度较强的影响因子,其对于冲突的产生发展具有重要作用,芜湖市城乡基础设施建设及分布对于冲突产生具有较强驱动力,且影响力度呈现上升趋势。芜湖市依长江和青弋江水系发展,自古湖泊湿地众多,单因子探测结果中距水系距离的影响力相对较高且时间变化相对平稳,侧面体现出芜湖市依水系发展的现实格局。随着水系距离的增加,其用地结构趋于复杂,芜湖市土地利用冲突格局同水系分布具有强烈联系。在自然地理要素方面,芜湖市地势南高北低且平原丘陵皆备,高程、坡度以及土壤质地对于土地利用具有显著影响,呈现较高的解释力度,而社会发展需求以及人类改造自然的能力提升使得自然地理要素对冲突发展的解释力度随时间变化而降低。距区县府距离、人口分布和 GDP 对芜湖市土地利用冲突的解释力度相对较小,说明芜湖市土地利用冲突水平在城市建成区内部相对较低,而城乡交错区和农业空间与生态空间的交互区域是芜湖市土地利用冲突的重点分布区域。

表 3 芜湖市 2000—2020 年土地利用冲突因素地理探测器结果及分类

Table 3 Geodetector results and classification of land use conflict factors in Wuhu City from 2000 to 2020

驱动因素	编号	2000年( $q$ 值)	2010( $q$ 值)	2020( $q$ 值)	$p$ 值	离散化方式	等级划分
GDP	$X_1$	0.089	0.059	0.064	0.00	几何间距法	9
人口分布	$X_2$	0.048	0.055	0.044	0.00	几何间距法	9
距主要道路距离	$X_3$	0.184	0.208	0.209	0.00	几何间距法	8
距水系距离	$X_4$	0.264	0.261	0.264	0.00	几何间距法	10
距区县府距离	$X_5$	0.025	0.015	0.020	0.00	标准差法	7
高程	$X_6$	0.219	0.159	0.167	0.00	几何间距法	10
坡度	$X_7$	0.193	0.139	0.120	0.00	分位数间距分级法	10
土壤质地	$X_8$	0.238	0.205	0.199	0.00	无	无

根据芜湖市 3 期土地利用冲突的交互探测结果绘制热点图(图 4),交互结果显示各影响因子间的交互探测多呈现双因子增强态势,其中土壤质地、高程、坡度等自然地理要素同其他要素的交互探测效果呈现较高的解释力度,其他因素间的交互探测效果相对较弱。具体而言,高程、坡度、土壤质地等自然地理要

素内部的交互探测呈现双因子增强的态势,自然地理特征作为影响土地利用的本底要素直接影响其冲突的形成和分布,而在冲突变化过程中其解释力度呈现下降态势,验证芜湖市土地利用的深度和广度不断扩展,人类对于地理环境的改造能力不断增强,使土地利用格局趋于复杂化。除距水系距离和距主要道路



距离两项要素外,其他要素同自然地理要素的交互探测结果均呈现增强态势,说明自然地理要素具有较强解释力度。GDP 分布、人口分布和距区政府距离三项社会经济因子内部交互探测中解释力度均有不同程度增强,显示出社会经济数据的综合分布在一定程度上解释芜湖市土地利用冲突的格局形成。其结果随时间变化呈现下降趋势,表明人口布局和经济增长日益集中于城市建成区内,而土地利用冲突更集中于农业和生态用地之间且趋于复杂化,城镇内部冲突等级相对较小,使其解释力度下降。距水系距离和距主要道路距离作为主要的解释因子同社会经济要素交互探测结果均呈现减弱效果,其解释力度受到社会经济要素单一且集中分布的干扰而降低,且随时间变

化呈现波动下降趋势。距水系距离和距道路距离同自然地理要素的交互探测结果呈现随时间变化而由高转低的态势,但仍处于较高的解释力度水平,说明芜湖市土地利用冲突的产生受到自然地理要素和城乡建设发展的影响较大,符合前文所述的城区因其结构单一性而非主要冲突区域。自然地理要素与道路、水系分布对于城乡交错区以及农业空间与生态空间交互区域的土地利用冲突具有重要影响。

**2.3 2030 年多情景下土地利用模拟与冲突和解权衡**

结合 PLUS 模型在各个情景下的土地利用模拟结果,测度各情景下的土地利用冲突指数,绘制各情景下土地利用冲突模拟结果图(图 5),并根据冲突等级划分标准进行等级划分(表 4)。

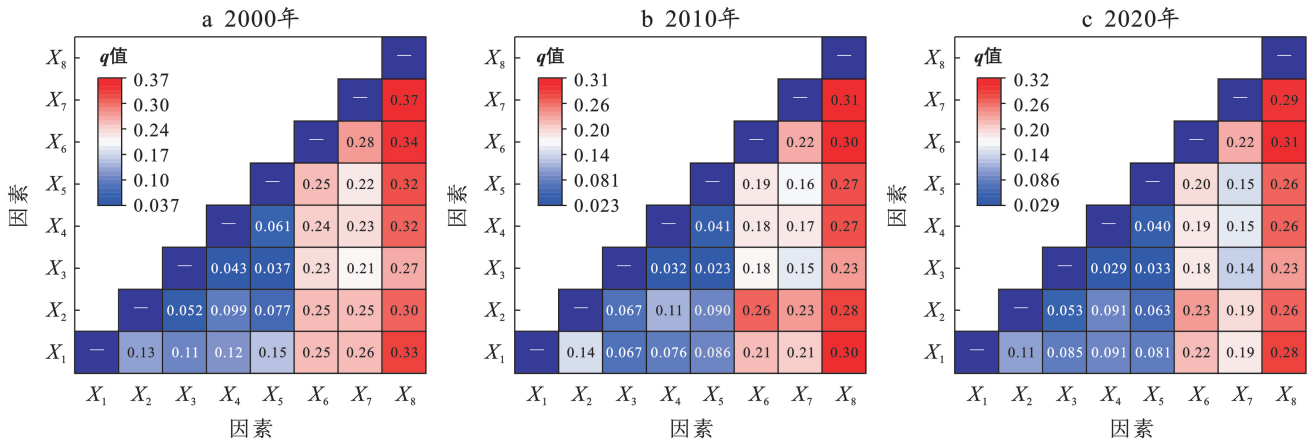


图 4 芜湖市 2000—2020 年土地利用冲突因素地理探测器交互探测结果热点图

Fig.4 Heat map of Geodetector interaction detection results of land use conflict factors in Wuhu City from 2000 to 2020

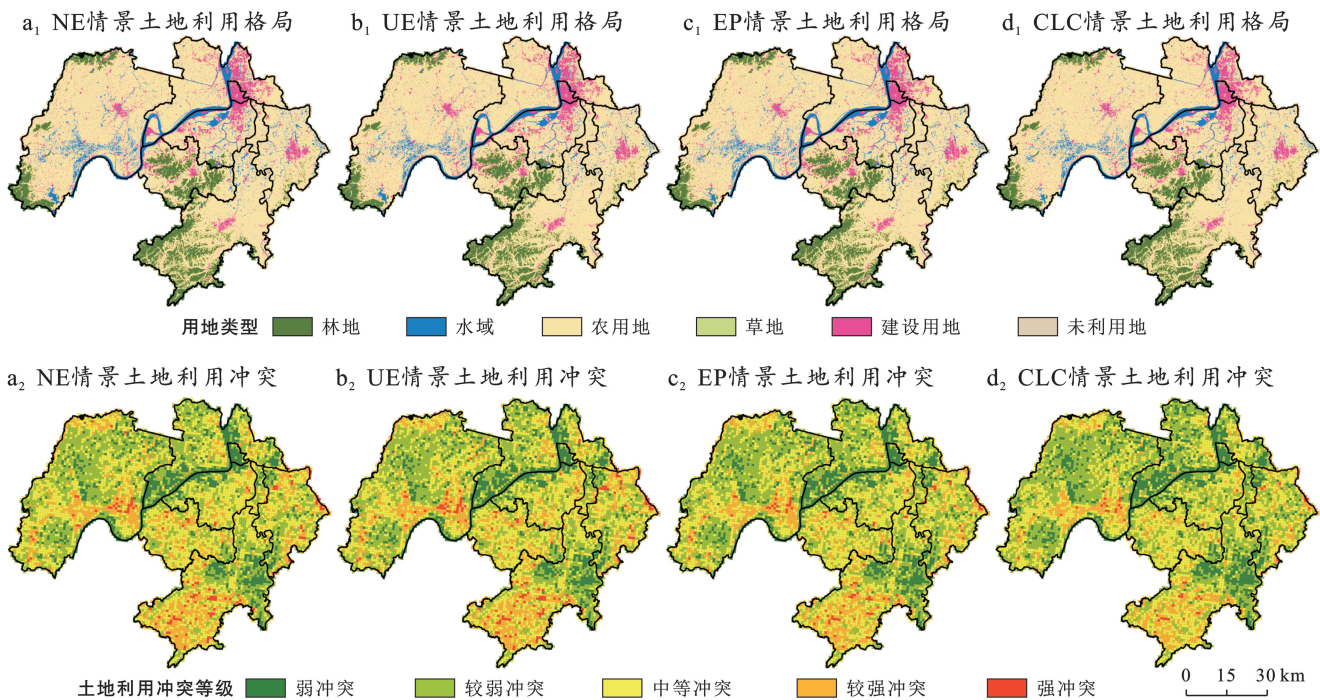


图 5 芜湖市 2030 年土地利用多情景模拟及冲突等级

Fig.5 Simulation and conflict levels of multiple scenarios of land use in Wuhu City in 2030

由各情景下土地利用冲突变化结果可知,CLC 情景和 NP 情景的中低冲突比例高于 NE 情景和 UE 情景。由表 4 分析可知,其数量比例分别为 52.42% 和 47.89%。

因两种情景对于建设用地扩张进行不同程度限

制,促进农用地集中连片的同时降低建设用地上对农用地及生态地类的侵占,并减少了林地、草地、水域等生态地类的盲目转出,对城乡交错区内部以及生态空间与农业空间之间的冲突起到缓解作用。因此可以确定以优先耕地保护,扩展生态用地的土地利用管理基调。

表 4 芜湖市 2030 年土地利用冲突模拟等级数量变化

Table 4 Changes in quantity of land use conflict simulation levels of Wuhu City in 2030

冲突等级	自然扩张(NE)		城镇扩展(UE)		生态保护(EP)		耕地保育(CLC)	
	数量/个	比例/%	数量/个	比例/%	数量/个	比例/%	数量/个	比例/%
弱冲突	923	11.81	921	11.78	1016	13.00	1 184	15.15
较弱冲突	2 553	32.66	2 521	32.25	2 727	34.89	2914	37.28
中等冲突	2 936	37.56	2 865	36.65	2 850	36.46	2731	34.94
较强冲突	1 252	16.02	1 331	17.03	1 111	14.21	920	11.77
强冲突	153	1.96	179	2.29	113	1.45	68	0.87

从区域层面来看,土地利用冲突最为集中的地区仍为南陵县南部区域,结合自然地理要素对于冲突形成的驱动力分析,该区域多低山丘陵,落实因地制宜的农业开发和生态保护对区域可持续发展具有重要意义。CLC 情景下该区域冲突水平虽较其他情景有所降低,从用地模拟具体结果可知该情景下耕地对于水域和林地的占用范围进一步提升,生态用地受侵占而同生态建设形成挑战。结合 EP 情景下的土地利用冲突结果观察,扩展生态用地布局,谨防生态空间的进一步压缩,对于该区域生态环境保护和冲突缓解具有良好效益。在 UE 情景下,零散的农村居民点有所扩张,提升了土地利用的复杂性,对区域内土地利用冲突水平起到激化效果。因此,针对南陵县南部、繁昌区内部、无为市北部和长江沿岸等生态保护重要区域,在管理过程中,需严守生态保护红线,稳固城市生态安全格局,强化城市生态环境分区管控,结合差异化管控要求开展流域、矿山等区域生态修复治理。对于区域内土地利用冲突缓解,仍需通过生态退耕、农用地整理和宜耕土地开发优化农用地布局,以城乡建设用地增减挂钩为主要手段对粗放的村庄居民点进行拆并复垦,优化城乡建设用地结构,实施生态环境准入清单管理,构建人与自然共生的生态环境格局。

在长期发展过程中无为市南部耕地“非粮化”形势日益严峻,大量的农用地被用于坑塘养殖,结合模拟结果,该状况在 CLC 情景下得到有效遏制。地理探测器结果显示距水系距离等因素对冲突分布具有较高解释力度,除 CLC 情景外,各情景均未能对水体扩张进行有效限制,土地利用冲突处于较高水平。UE 情景下土地利用冲突水平最为严峻,建设用地的任意扩张和“非粮化”问题对该情景下的土地集约化布局形成进一步威胁。因而耕地集中分布区作为保障国家粮食安全的首要阵地,推动其土地利用冲突缓

解需强化耕地数量、质量、生态“三位一体”保护,落实耕地“非粮化”管控,合理安排耕地恢复时序。同时需要促进农村第一、二、三产业融合和治理水平提升,构建现代化乡村产业体系和空间治理体系,以实现农业农村高质量发展。

芜湖市中心城区范围在研究期内呈现扩张态势,城市建设用地随城市中心呈现放射性布局。在 UE 场景下,城市内部的用地集约化程度有所提升,而芜湖市中心城区外围分散的建设用地进一步扩张,城乡交错区和布局散乱的农村居民点成为土地利用冲突的主要分布区域。而 CLC 场景下城乡交错区域内土地利用冲突有所缓解,侧面印证强化建设用地节约集约利用对于缓解土地利用冲突的重要意义。城乡交错区作为城市化进程中土地利用冲突的重点区域,在未来发展过程中一方面需强化城市内部规划、建设和治理水平,推动城市更新,深入落实城市存量用地挖潜,提高建设用地综合利用绩效。另一方面需在充分认识城乡交错区域内土地利用形态复杂性的基础上,强化规划引导和分区治理,发挥多元主体的积极作用,推动城乡交错区域产业建设和融合发展,防止土地利用破碎化和生态破坏。

## 3 结论与讨论

### 3.1 结论

(1) 芜湖市土地利用冲突总体结构上呈现中低冲突为主、高冲突不断扩展态势。结合贝叶斯时空层次模型结果,芜湖市土地利用冲突水平随时间变化呈现出波动上升态势,符合研究期内芜湖市土地利用结构变化特征。在空间分布上,土地利用冲突分布呈现南高北低态势,长江两岸土地利用冲突不断强化且呈现区域变化趋势的差异性。贝叶斯模型的空间热点分析结果显示,冲突热点区域主要分布于南陵县南

部、无为市南部和北部、繁昌区和中心城区边缘等区域,集中于城乡交错区以及农业空间与生态空间交互区域,且具有明显的热点集聚态势。

(2) 芜湖市土地利用冲突格局受到自然地理要素和道路、水系分布影响较大,其中距道路距离和距水系距离对于土地利用冲突的解释力度呈现较高水平。参数最优化地理探测器结果同芜湖市土地利用冲突的重点区域分布相验证,为区域冲突形成发展成因探析和情景模拟提供有效参考。在时间变化过程中,除距道路距离和距水系距离之外,其余驱动因素的解释力度出现不同程度下降。说明随社会经济发展,人类对于自然社会的改造程度不断扩展,土地利用冲突形成变化机制趋于复杂化。

(3) 基于 PLUS 模型的 2030 年多情景土地利用冲突的模拟结果,显示耕地保育和生态保护情景下土地利用冲突得到较好缓解。在 EP 和 CLC 情景下,芜湖市土地利用冲突模拟结果中的中强冲突比例较 NE 和 UE 情景显著降低。UE 情景下,城镇扩张和耕地“非粮化”未得到积极遏制,土地利用冲突水平激化显著。芜湖市未来需要确立以耕地保护优先,兼顾生态涵养的用地管理策略,结合不同区域内部土地利用冲突的形成诱因和驱动力分析对土地利用冲突状况进行针对性管理。

### 3.2 讨论

本研究于景观格局尺度选择和土地利用脆弱性赋值方面较已有相关研究<sup>[7,11]</sup>具有一定差异,其原因在于受不同研究区内部土地利用结构和布局特征影响。为深入把握具有区域特异性的土地利用冲突分布和变化规律,研究通过对景观格局尺度开展对比分析,并基于区域内各地类土地利用动态及其土地利用特征开展脆弱性赋值,结果上具有一定的科学性和客观性。未来相关研究可就景观尺度选择和土地利用冲突识别模型构建开展深入探析,以强化区域性土地利用冲突识别的实效性。在研究过程中运用贝叶斯时空层次模型对芜湖市土地利用冲突的整体时空变化格局展开分析并取得较好的拟合效果,印证该方法在空间要素的整体时空分布刻画的直观化优势。结合贝叶斯层次模型的可拓展性,可于后续研究过程中运用多期数据进行更加精准的拟合,并结合多类型驱动因子数据对空间要素分布成因展开探索。

综合本研究对芜湖市土地利用冲突的格局刻画与预测结果,芜湖市未来仍需统筹国土空间利用管理,优化空间利用格局。对于生态保护重要区,需落实生态环境分区管控要求,构建生态系统保护修复整体格局,因地制宜进行综合整治和保护修复,避免过

度农作、严控建设占用,提升区域生态安全水平;耕地集中分布区则需在坚持完善耕地数量、质量、生态“三位一体”管护的基础上,落实耕地“非粮化”整治,合理安排耕地恢复时序,强化村庄规划对乡村空间布局的规划引导作用,实现农村产业融合发展,优化农村生产、生活、生态空间格局;城乡交错区则需在未来发展过程中着力于推动城市存量用地挖潜,提升建设用地综合利用绩效,同时强化城乡多元主体管理,落实城镇开发边界管控和分区治理,促进城乡融合发展。

### 参考文献 (References)

- [1] 江颂,蒙吉军.土地利用冲突研究进展:内容与方法[J].干旱区地理,2021,44(3):877-887.  
Jiang Song, Meng Jijun. Process of land use conflict research: Contents and methods [J]. Arid Land Geography, 2021,44(3):877-887.
- [2] 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.
- [3] Henderson S R. Managing land-use conflict around urban centres: Australian poultry farmer attitudes towards relocation [J]. Applied Geography, 2005,25(2):97-119.
- [4] 李占军,刁承泰.西南丘陵地区土地资源利用的冲突与协调:以重庆江津区为例[J].水土保持研究,2009,16(2):239-244.  
Li Zhanjun, Diao Chengtai. Land resource conflicts and coordination in hilly area of Southwestern China: A case study of Jiangjin district, Chongqing [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2009,16(2):239-244.
- [5] 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.
- [6] 田俊峰,王彬燕,王士君.土地利用冲突研究的逻辑主线与内容框架[J].资源科学,2023,45(3):465-479.  
Tian Junfeng, Wang Binyan, Wang Shijun. The paradigms and main content of land use conflict research [J]. Resources Science, 2023,45(3):465-479.
- [7] 潘方杰,万庆,曾菊新,等.城镇化进程中湖北省“生产—生活—生态”空间冲突演化及其影响因素[J].经济地理,2023,43(2):80-92.  
Pan Fangjie, Wan Qing, Zeng Juxin, et al. Evolution characteristics and influence factors of spatial conflicts between production-living-ecological space in the rapid

- urbanization process of Hubei Province, China [J]. *Economic Geography*, 2023,43(2):80-92.
- [8] 彭娅,王娟娟,王珊珊,等.生态安全视角下乌鲁木齐市土地利用冲突时空格局演变分析[J].*干旱区地理*,2024,47(1):81-92.
- Peng Ya, Wang Juanjuan, Wang Shanshan, et al. Spatiotemporal pattern evolution of land use conflict in Urumqi City from the perspective of ecological security [J]. *Arid Land Geography*, 2024,47(1):81-92.
- [9] 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.
- [10] 张新鼎,崔文刚,韩会庆,等.基于“三生”适宜性的典型喀斯特乡村土地利用冲突识别及分析[J].*水土保持研究*,2023,30(4):412-422.
- Zhang Xinding, Cui Wengang, Han Huiqing, et al. Identification and analysis of land use conflicts in typical karst villages based on ‘production-living-ecology’ suitability [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2023,30(4):412-422.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Jiang Song, Meng Jijun, Zhu Likai, 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.
- [14] 张俊辉,冯子健,杨超,等.基于层次贝叶斯时空模型的空间多尺度联合分析模型的构建及应用研究[J].*中国卫生统计*,2013,30(2):199-202.
- Zhang Junhui, Feng Zijian, Yang Chao, et al. Study on establishment and application of multiscale joint analysis model based on hierarchical Bayesian spatio-temporal model [J]. *Chinese Journal of Health Statistics*, 2013,30(2):199-202.
- [15] Yang Renfei, Ren Fu, Xu Wenxuan, et al. China’s ecosystem service value in 1992—2018: Pattern and anthropogenic driving factors detection using Bayesian spatiotemporal hierarchy model [J]. *Journal of Environmental Management*, 2022,302:114089.
- [16] 张湘雪,程昌秀,徐成东,等.基于贝叶斯时空层次模型(BSTHM)和地理探测器法(GeoDetector)对细菌性痢疾的环境风险评估[J].*环境化学*,2022,41(7):2193-2201.
- Zhang Xiangxue, Cheng Changxiu, Xu Chengdong, et al. Environmental risk assessment of bacillary dysentery based on BSTHM and GeoDetector [J]. *Environmental Chemistry*, 2022,41(7):2193-2201.
- [17] 田柳兰,吕思雨,毋兆鹏,等.乌鲁木齐市土地利用变化及其空间冲突测度[J].*自然资源遥感*,2023,35(4):282-291.
- Tian Liulan, Lyu Siyu, Wu Zhaopeng, et al. Changes and spatial conflict measurement of land use in Urumqi City [J]. *Remote Sensing for Natural Resources*, 2023,35(4):282-291.
- [18] 陈理庭,蔡海生.长江流域土地利用冲突时空演变及关键影响因子探析[J].*生态与农村环境学报*,2024,40(1):55-67.
- Chen Liting, Cai Haisheng. Spatial and temporal evolution of land use conflicts and their key influencing factors in the Changjiang River Basin [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2024,40(1):55-67.
- [19] 官冬杰,陈婷,和秀娟,等.三峡库区(重庆段)土地利用空间冲突类型识别及驱动机制研究[J].*重庆交通大学学报(自然科学版)*,2019,38(2):65-71.
- Guan Dongjie, Chen Ting, He Xiujian, et al. Spatial conflict type identification and its driving mechanism of land use in the Three Gorges Reservoir area(Chongqing section) [J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science)*, 2019,38(2):65-71.
- [20] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].*地理学报*,2017,72(1):116-134.
- Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: Principle and prospective [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017,72(1):116-134.
- [21] Song Yongze, Wang Jinfeng, Ge Yong, et al. An optimal parameters-based geographical detector model enhances geographic characteristics of explanatory variables for spatial heterogeneity analysis: Cases with different types of spatial data [J]. *GI Science & Remote Sensing*, 2020,57(5):593-610.
- [22] Liang Xun, Guan Qingfeng, 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.

- [26] 李禹凝,王金满,张雅馥,等.干旱半干旱煤矿区土壤水分研究进展[J].土壤,2023,55(3):494-502.  
Li Yuning, Wang Jinman, Zhang Yafu, et al. Soil water in arid and semi-arid mining areas: A review [J]. Soils, 2023,55(3):494-502.
- [27] 李果.生态脆弱区采矿地裂缝精细回填技术研究[J].煤炭工程,2022,54(11):157-163.  
Li Guo. Fine backfilling technology of mining ground fissures in ecologically fragile areas [J]. Coal Engineering, 2022,54(11):157-163.
- [28] 毕银丽,刘京,尚建选,等.陕北采煤沉陷区土壤水分入渗和蒸发特征研究[J].中国矿业大学学报,2022,51(5):839-849.  
Bi Yinli, Liu Jing, Shang Jianxuan, et al. Study on the characteristics of soil moisture infiltration and evaporation in the coal mining subsidence area of coal mines in Northern Shaanxi [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2022,51(5):839-849.
- [29] 刘继龙,李佳文,周延,等.秸秆覆盖与耕作方式对土壤水分特性的影响[J].农业机械学报,2019,50(7):333-339.  
Liu Jilong, Li Jiawen, Zhou Yan, et al. Effects of straw mulching and tillage on soil water characteristics [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019,50(7):333-339.
- [30] 琚成远,浮耀坤,陈超,等.神南矿区采煤沉陷裂缝对土壤表层含水量的影响[J].煤炭科学技术,2022,50(4):309-316.  
Ju Chengyuan, Fu Yaokun, Chen Chao, et al. Influence of coal mining subsidence cracks on soil surface water content in Shennan Mining Area [J]. Coal Science and Technology, 2022,50(4):309-316.
- [31] Novák V. Soil-crack characteristics: Estimation methods applied to heavy soils in the NOPEX area [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1999,98:501-507.
- [32] 孔凡丹,周利军,郑丽颖,等.秸秆覆盖对土壤水热效应及水分利用效率的影响[J].绥化学院学报,2024,44(3):151-153.  
Kong Fandan, Zhou Lijun, Zheng Liying, et al. Effects of straw mulching on soil hydrothermal effect and water use efficiency [J]. Journal of Suihua University, 2024,44(3):151-153.

(上接第 189 页)

- [23] Yang Jie, Huang Xin. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019 [J]. Earth System Science Data, 2021,13(8):3907-3925.
- [24] 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 De, Xu Jianchun, Wang Li. 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.
- [25] Besag J, York J, Mollié A. Bayesian image restoration, with two applications in spatial statistics [J]. Annals of the Institute of Statistical Mathematics, 1991,43(1):1-20.
- [26] Goldstein H, Browne W, Rasbash J. Partitioning variation in multilevel models [J]. Understanding Statistics, 2002,1(4):223-231.
- [27] 季建万,姜琳琳,刘文亮,等.基于多参数优选地理探测器的京津冀城市群地质灾害影响因子分析[J].地理与地理信息科学,2023,39(2):39-45.  
Ji Jianwan, Jiang Linlin, Liu Wenliang, et al. Analysis on influence factors of geological hazards in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration based on multi-parameters optimized by geodetector [J]. Geography and Geo-Information Science, 2023,39(2):39-45.
- [28] 肖建英,戴津津,方昕然,等.基于 PLUS 模型的徐州市生态系统服务价值多情景模拟研究[J].中国土地科学,2024,38(4):125-134.  
Xiao Jianying, Dai Jinjin, Fang Xinran, et al. Multiple scenario simulation of ecosystem service value in Xuzhou City based on PLUS model [J]. China Land Science, 2024,38(4):125-134.
- [29] 毛永发,周启刚,王陶,等.耦合 PLUS-InVEST-Geodetector 模型的三峡库区碳储量时空变化及其定量归因[J].长江流域资源与环境,2023,32(5):1042-1057.  
Mao Yongfa, Zhou Qigang, Wang Tao, et al. Spatial-temporal variation of carbon storage and its quantitative attribution in the Three Gorges reservoir area coupled with PLUS-InVEST geodetector model [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2023,32(5):1042-1057.
- [30] Richardson S, Thomson A, Best N, et al. Interpreting posterior relative risk estimates in disease-mapping studies [J]. Environmental Health Perspectives, 2004, 112(9):1016-1025.