

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.06.005.

胡艺川, 安睿, 杨佳明, 等. 基于景观格局的土地利用冲突测度及驱动机制研究:以武汉城市圈为例[J].水土保持研究, 2024, 31(6):354-364.

Hu Yichuan, An Rui, Yang Jiaming, et al. Measurement and Driving Mechanism of Land Use Conflict Based on Landscape Pattern: A Case Study of Wuhan Metropolitan Area[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(6):354-364.

# 基于景观格局的土地利用冲突测度及驱动机制研究

## ——以武汉城市圈为例

胡艺川, 安睿, 杨佳明, 刘耀林

(武汉大学 资源与环境科学学院, 武汉 430079)

**摘要:** [目的]精准诊断城市圈的土地利用冲突区域,讨论自然、社会因子对冲突作用的空间异质性和尺度效应,可为国土空间协调发展提供依据。[方法]以武汉城市圈为研究区,采用景观格局指数从复杂性、脆弱性和稳定性多角度综合测度 2000—2020 年三期土地利用冲突强度并分析了其时空演变特征;同时,考虑坡度、NDVI、距水域距离和距道路距离等自然、社会因素,多模型对比后选用多尺度地理加权回归模型揭示了其驱动机制。[结果](1) 2000—2020 年武汉城市圈冲突失控区(热点)主要分布于中南部(武汉市境内)和东北部(黄冈和咸宁的山区带),时段内失控比例由 70.09%降至 67.13%;(2) 相比于 OLS 和 GWR 模型, MGWR 模型拟合精度更高,每一个自变量分配的可变带宽有效捕捉了尺度效应;(3) 坡度、距水域距离是局域尺度变量,作用机制的空间差异较大;距道路距离、NDVI、年降水、年均温为区域尺度变量,回归系数的空间异质性相对较弱。[结论]2000—2020 年武汉城市圈区域冲突状况有所改善;关注土地利用冲突驱动因素的空间作用效果可为城市圈用地矛盾缓解和优化管理提供实证参考。

**关键词:** 土地利用冲突; 时空分异; 多尺度地理加权回归; 武汉城市圈

中图分类号: F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)06-0354-11

## Measurement and Driving Mechanism of Land Use Conflict Based on Landscape Pattern — A Case Study of Wuhan Metropolitan Area

Hu Yichuan, An Rui, Yang Jiaming, Liu Yaolin

(School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** [Objective] The aims of this study are to accurately diagnose land use conflict areas in urban areas, to discuss the spatial heterogeneity and scale effects of natural and social factors on conflict, and to provide a basis for the coordinated development of territorial space. [Methods] Wuhan metropolitan area was taken as the research area. The landscape pattern index was used to comprehensively measure the intensity of land use conflicts in the three periods from 2000 to 2020 from the perspectives of complexity, vulnerability and stability, and to analyze its spatiotemporal evolution characteristics. At the same time, considering the natural and social factors such as slope, NDVI, distance from water and distance from road, the multi-scale geographical weighted regression model was used to reveal the driving mechanism after multi-model comparison. [Results] (1) From 2000 to 2020, the out-of-control conflict zones (hot spots) in Wuhan metropolitan area were mainly distributed in the central and southern parts of the city (in Wuhan) and the northeast part (in the mountainous areas of Huanggang and Xianning), and the out-of-control proportion increased from 70.09% to 67.13% during the period. (2) Compared with OLS and GWR models, MGWR

收稿日期: 2023-12-27

修回日期: 2024-01-29

资助项目: 国家自然科学基金重点项目“自然与人文地理过程耦合的土地利用空间优化配置建模理论与方法”(42230107)

第一作者: 胡艺川(2001—), 女, 江西吉安人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用生态安全。E-mail: 2022202050118@whu.edu.cn

通信作者: 刘耀林(1960—), 男, 湖北黄冈人, 博士, 教授, 主要从事土地信息技术、数据挖掘研究。E-mail: yaolin610@yeah.net

<http://stbcyj.paperonce.org>

model had higher fitting accuracy, and the variable bandwidth allocated by each independent variable effectively captured the scaling effect. (3) Slope and distance from water area were local scale variables, and the spatial difference of action mechanism was large. Distance from road, NDVI, annual precipitation and average annual temperature were regional scale variables, and the spatial heterogeneity of regression coefficients was relatively weak. [Conclusion] The situation of regional conflicts in Wuhan metropolitan area had improved from 2000 to 2020. Paying attention to the spatial effects of the drivers of land use conflicts can provide empirical reference for the alleviation of land use conflicts and the optimization of management in Wuhan metropolitan area.

**Keywords:** land use conflict; spatiotemporal differentiation; multi-scale geographical weighted regression; Wuhan metropolitan area

据第7次全国人口普查数据,2020年我国城市化率已达到63.89%,高于世界平均标准,相较于1978年提高了45.97%。快速推进的城镇化进程下,土地资源高强度开发利用,景观破碎化和孤岛化现象日益严重<sup>[1]</sup>,城镇发展、农地保护和生态保育三者之间的矛盾激增<sup>[2]</sup>,国土空间竞争形势日益严峻,用地冲突日趋显著<sup>[3-4]</sup>。党的二十大报告提出,要“优化国土空间发展格局”“促进区域协调发展,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”。因此,诊断区域内土地利用冲突格局,明晰冲突的时空变化趋势,揭示冲突产生的驱动机制,对优化国土空间布局、促进城市可持续发展、制定科学合理的土地利用政策具有重要意义。

土地利用冲突具体表现为区域内土地利用方式在利益相关主体竞争下发生的结构和功能性改变<sup>[5]</sup>。其概念雏形最早出现在1977年的英国乡村协会上,该组织将“土地管理、土地利用关系与冲突”作为城市边缘区学术讨论会的5个主题之一;国内对相关问题的关注始于2001年召开的“自然资源管理和利用中的冲突管理方法”专题研讨会<sup>[6]</sup>。至今,土地利用冲突的研究视角已丰富至包含土地利益主体视角<sup>[7]</sup>、人地关系视角<sup>[8]</sup>和生态学视角等<sup>[9]</sup>,研究内容也不断扩展为冲突的概念、识别及演变、驱动机制及和解方案等方面<sup>[6,10]</sup>。现有的土地利用冲突识别方法主要包含定性、定量两方面,其中定性方法包括逻辑框架法<sup>[11]</sup>、参与式调查法<sup>[12]</sup>、博弈论分析法等<sup>[13]</sup>,定量方法包括“压力-状态-响应”(PSR)及其扩展模型<sup>[14-15]</sup>、多目标规划法<sup>[16]</sup>和适宜性评价等<sup>[17]</sup>。但是,这些方法仅可以在行政尺度进行土地利用冲突强度判定,不利于判别冲突产生的具体位置,而景观生态风险评价利用景观格局指数来表征冲突产生后土地利用系统的复杂性、脆弱性和稳定性,可从网格尺度进行精细化冲突诊断,受到众多学者的关注<sup>[18]</sup>。

土地利用冲突驱动机制的揭示研究以往多采用定

性分析方法<sup>[19]</sup>,数据难以量化处理,研究过程中主观性较大且很难重复,研究结果的效度也较低;或是采用传统的回归分析方法<sup>[20]</sup>在研究区内对变量进行全局拟合,未考虑驱动因子影响的空间异质性。然而,地理现象及其驱动因素的空间依赖性均较强,具有典型的区域差异,全局回归方法无法准确描述各因子的非线性作用,GWR模型则可以较处理好该问题<sup>[4]</sup>。已有研究利用GWR模型探讨了高程、坡度、路网密度、人口密度等相关自然环境和社会经济因素对土地利用冲突的驱动作用<sup>[21]</sup>,结果表明地形地貌与水热条件的差异分布是产生土地利用冲突的基础,人类活动则是促使冲突发生的直接动力。但是,GWR模型忽略了不同因子的影响尺度差异,只以平均尺度反映所有因子的空间变化。MGWR模型<sup>[22]</sup>可对不同影响因子分配不同带宽,在考虑空间异质性的同时可更准确地呈现各因子的尺度特征,空间异质性的建模结果更加稳健可靠,而目前尚未有研究利用此模型进行冲突产生的机制分析。

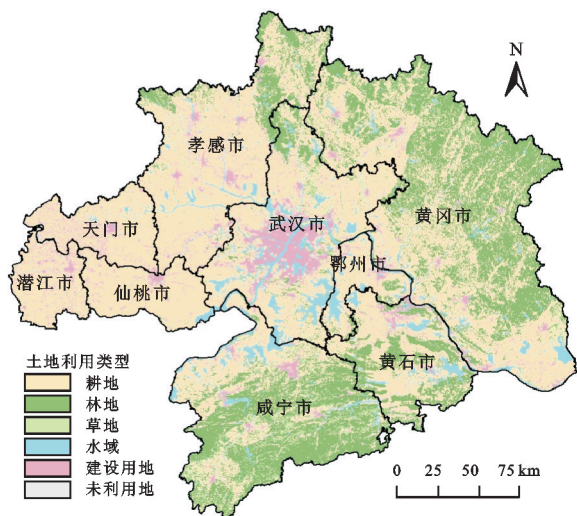
此外,现有研究多关注城乡结合带或生态交错地带等典型区域<sup>[6]</sup>,对城市圈的关注较少。武汉城市圈是湖北省经济实力最强的区域,且在引领中部绿色崛起、打造全国重要增长极方面具备显著优势。但在高度密集的经济活动下,土地利用开发强度增大,用地格局变化加剧,区域内国土空间的持续稳定利用受到严重威胁,协调人地关系、实现高质量城镇化刻不容缓。综上所述,本研究以武汉城市圈为例,基于景观格局指数构建土地利用冲突强度量化模型探究武汉城市圈2000—2020年土地利用冲突的时空变化规律,并对比OLS,GWR,MGWR3种模型结果,讨论土地利用冲突的驱动因素,以期对武汉城市圈土地利用配置优化和土地资源可持续利用提供实证参考。

## 1 研究方法与数据来源

### 1.1 研究区概况

武汉城市圈位于湖北省东部,又称“1+8”城市

圈,以武汉市为中心,覆盖黄石、鄂州、黄冈、孝感、咸宁、仙桃、天门和潜江周边 8 个大中型城市,经纬度范围为  $112^{\circ}30' - 116^{\circ}07'E$ ,  $29^{\circ}05' - 31^{\circ}51'N$ (图 1)。地形以平原为主,地势西高东低,河网密布,土壤肥沃,属亚热带季风性湿润气候,降水充沛,雨热同期。作为长江中游城市群的核心区,促进中部崛起的重要战略支点,以及武汉城市圈“两圈两带”、省域城市“一主两副”战略发展格局的重要组成部分,截至 2020 年末,武汉城市圈以约占全省 1/3 的国土面积(5.78 万  $km^2$ ),用 55.4% 的全省人口(3 096 万人)创造了全省 60.7% 的地区生产总值(2.63 万亿元)。但是,经济高速发展下建设用地不断扩张,生态用地逐渐退化,各类用地竞争激烈,区域内生态环境压力难免巨大,国土资源利用效率低下。



注:基于审图号鄂 S(2023)009 号的标准地图制作,底图未修改,下同。

图 1 武汉城市圈区位示意及 2020 年土地利用现状

Fig. 1 Location diagram of Wuhan metropolitan area and land use status in 2020

## 1.2 数据来源

武汉城市圈 2000 年、2010 年和 2020 年的土地利用数据来源于武汉大学遥感信息处理研究所制作的中国年度土地覆盖数据集,总体准确率达 80%<sup>[23]</sup>。人口密度数据来源于 WorldPop (<https://hub.worldpop.org>);GDP 数据来源于文献<sup>[24]</sup>;NDVI 来源于中国科学院资源环境数据中心([www.resdc.cn](http://www.resdc.cn));道路和水面数据来源于 OpenStreetMap([www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org));坡度数据基于高程进行提取,高程数据来自地理空间数据云([www.gscloud.cn](http://www.gscloud.cn));气象数据包括气温、降水数据,来源于国家青藏高原科学数据中心(<https://data.tpdc.ac.cn>)。

## 1.3 研究方法

1.3.1 土地利用冲突强度测度 土地利用系统具有

复杂性、脆弱性及动态性等特点,土地利用冲突分析需要从系统复杂性、脆弱性及稳定性三方面进行考虑,参考已有研究<sup>[25]</sup>,基于景观生态学理论构建土地利用冲突强度量化模型:

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

式中:  $LUCS$  为土地利用冲突强度;  $C$  为复杂性指数;  $V$  为脆弱性指数;  $S$  为稳定性指数。

(1) 复杂性。选取面积加权平均分维数(AWMPFD)来描述景观斑块的空间复杂性,该值越大,说明景观斑块越复杂。

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

式中:  $P_{ij}$  为第  $i$  种地类第  $j$  个斑块的周长(m);  $a_{ij}$  为第  $i$  地类第  $j$  个斑块的面积( $km^2$ );  $A$  为空间单元面积( $km^2$ )。为方便统一计算,对计算结果进行 0~1 标准化处理。

(2) 脆弱性。土地利用系统的脆弱性表现为开发利用过程中受到外部压力后会因缺乏适应能力而使景观格局发生变化,可用景观脆弱度指数来表示。根据土地利用类型的自然特征和 2000—2020 年的土地利用转移率设定土地利用类型的脆弱性程度<sup>[26]</sup>。具体而言,耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地在此期间的转移率分别为 12.94%, 14.09%, 53.80%, 40.66%, 15.85%, 57.21%, 因此,按照各地类转移率的高低顺序,脆弱度由耕地=1,林地=2,建设用地=3,水域=4,草地=5,未利用地=6 归一化处理后赋值。

$$L_{Fi} = \sum_{i=1}^n F_i \times \frac{a_i}{A} \quad (3)$$

式中:  $L_{Fi}$  为第  $i$  种地类的脆弱性;  $F_i$  为不同地类的脆弱度赋值;  $a_i$  为各地类的面积;  $A$  为空间单元面积( $km^2$ )。为方便统一计算,对计算结果进行 0~1 标准化处理。

(3) 稳定性。土地利用系统在受到外界干扰后产生空间冲突使得景观斑块破碎化,景观形态越破碎,空间稳定性越差,土地利用冲突强度越高,故景观破碎化程度可以从负面反映土地利用系统的稳定性。选取斑块密度作为衡量景观破碎化程度的指标,具体计算如下所示:

$$L_{Si} = 1 - PD = 1 - \frac{NP}{A} \quad (4)$$

式中:  $L_{Si}$  为第  $i$  种地类的稳定性;  $PD$  为斑块密度;  $A$  为空间单元面积( $km^2$ );  $NP$  为空间单元斑块数量。为方便统一计算,对计算结果进行 0~1 标准化处理。

1.3.2 空间自相关 单变量全局空间自相关常用于



检验某一要素在研究区内的空间相关性,局部空间自相关用于研究单要素在局部地区的聚类分布特征,揭示空间表现中的“冷点”和“热点”,具体计算公式如下:

$$\text{Global Moran's } I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

$$\text{Local Moran's } I = \frac{x_i - \bar{x}}{S^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (6)$$

式中: $n$ 为空间单元总数; $x_i$ 和 $x_j$ 为单元 $i$ 和 $j$ 的冲突分值; $\bar{x}$ 为 $x_i$ 的平均值; $S$ 为总样本的标准差; $w_{ij}$ 为空间权重矩阵。

1.3.3 回归模型 普通最小二乘法(OLS)是全局回归模型,不能反映解释变量作用强度在空间局部的变化,计算公式如下:

$$y_i = \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} + \beta_0 + \epsilon_i \quad (7)$$

式中: $y_i$ 为第 $i$ 个观测点的土地利用冲突强度; $x_{ij}$ 为第 $i$ 个观测点的第 $j$ 个解释变量( $j=1,2,\dots,k$ ); $\beta_j$ 为第 $j$ 个解释变量的回归系数; $\beta_0$ 为截距; $\epsilon_i$ 为误差项。

地理加权回归(GWR)是在OLS回归基础上提出的空间变参数模型,考虑了因变量与解释变量之间的空间平稳性,计算公式如下:

$$y_i = \sum_{j=1}^k \beta_j(u_i, v_i) x_{ij} + \beta_0(u_i, v_i) + \epsilon_i \quad (8)$$

式中: $\beta_j(u_i, v_i)$ 为第 $j$ 个驱动因素在观测点 $i$ 上的回归系数; $(u_i, v_i)$ 为观测点 $i$ 的中心坐标; $\beta_0(u_i, v_i)$ 为模型的截距项;其余系数定义同上。

不同于GWR对所有解释变量采用固定带宽,多尺度地理加权回归(MGWR)可为每个解释变量使用不同的优化带宽,计算公式如下:

$$y_i = \sum_{j=1}^k \beta_{bwj}(u_i, v_i) x_{ij} + \beta_0(u_i, v_i) + \epsilon_i \quad (9)$$

式中: $bw_j$ 为第 $j$ 个变量回归系数使用的带宽; $\beta_{bwj}(u_i, v_i)$ 为第 $j$ 个驱动因素在观测点 $i$ 上的回归系数;其余系数定义同上。

## 2 结果与分析

### 2.1 土地利用冲突

2.1.1 时空演变分析 根据土地利用空间冲突指数累积频率曲线分布特征和空间冲突呈倒“U”型演变规律<sup>[27]</sup>,采用等间距法将土地利用空间冲突综合指数划分为5个等级:稳定可控 $[0, 0.2)$ ,基本可控 $[0.2, 0.4)$ ,一般失控 $[0.4, 0.6)$ ,中度失控 $[0.6, 0.8)$ 和重度失控 $[0.8, 1.0]$ ,由此统计出2000年、2010年和

2020年武汉城市圈各类土地利用冲突类型占研究区空间单元总数的比例(图2)。各时期的土地利用冲突等级均以一般失控为主,稳定可控和重度失控的比例最少。稳定可控数量逐期增加,且2010—2020年的增长幅度大于2000—2010年,但占比仍不足总数的10%;基本可控类型占比则先增加后减少,占比约为25%;一般失控类型数量呈现先减少后增加趋势,但变化幅度较小,占比仍超40%;中度失控类型逐期减少,与基本可控占比相差不大;重度失控则逐期减少且速度放缓,占比仍超1%。从整体上看,2000—2020年,研究区的失控比例总体呈现降低趋势,由70.09%降至67.13%,区域冲突状况有所改善,说明武汉城市圈的全国资源节约型和环境友好型社会建设实施成效显著。但需注意对一般失控区域进行严格管控,谨防冲突恶化对土地利用的生态安全造成威胁。

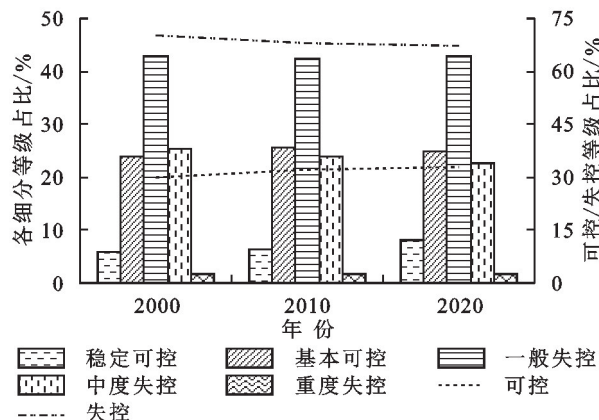


图2 武汉城市圈土地利用冲突等级占比情况

Fig. 2 Proportion of land use conflict classes in Wuhan metropolitan area

武汉城市圈土地利用冲突空间分布差异性显著(图3—4),三期的冲突分布格局大致相同。冲突失控区主要分布于中部、南部和东北部,冲突可控区大部分集中连片位于研究区西部。其中,重度失控单元的时空格局变化较小,西部仙桃市的零星重度失控单元于2010年转变为中度失控、至2020年又转为可控单元,南部和东北部山区内的失控单元几乎无变动,主要与区域内土地利用类型发生变化与否、受人类活动干扰与否相关。稳定可控单元在2000年和2010年多零星分布于研究区西部,至2020年西南部稳定可控单元大幅增加且集中分布趋势明显,而西北角的稳定可控单元减少。此外,武汉市东北角与黄冈市的接壤地区、鄂州市中部、黄石市西部均有少量可控单元分布,由此在研究区中东部大致呈现南北垂直分布的可控冲突条带,黄冈市东南角也有少量可控单元分布。

结合各城市土地利用冲突的占比来看(图4),武汉市失控单元逐期减少趋势显著,武汉市在这20年



间综合实力不断提升,持续推进现代化建设,中心城区由向外扩张逐渐转为重视城市更新,建设用地的空间连续性提高,土地利用冲突水平降低。仙桃市在这 20 年间经济实力也不断跃升,已位列全国县域经济百强,然而城镇化建设背后存在大量建设用地侵占其他用地、填湖造田等土地利用不良现象,用地结构逐渐单一化,景观连片度增高,土地利用失控冲突单元数量却也相应减少。咸宁市和黄冈市境内的幕阜山和大别山近年来加快构建自然保护地体系,加强生态修复与保护,植被多样性不断增强,各类生态用地之间的竞争较大,区域内失控单元格局和数量分布均较为稳定。孝感市北部稳定可控单元减少而南部增多,其

下辖的 7 个县(市、区)均被列为“全国粮食大县”,耕地广泛分布、用地冲突水平不高,但是随着农村人口的减少,抛荒弃耕现象严重,耕地破碎化程度也随之增大,再加上城镇用地的不断扩张,各类用地竞争激烈,失控单元数量整体呈现出增加趋势,冲突水平提高。总的来说,冲突失控单元多位于城乡结合过渡地带和地类过渡地带,前者耕地占用、生态保护等矛盾凸显,用地竞争较激烈,地类丰富复杂,土地利用格局易改变,后者景观格局相较破碎,生态用地类别丰富;冲突可控单元主要为用地类型单一的区域,如人类难以改变现状地类用途的中心城区、耕地集中的粮食主产区,地类空间分布的稳定性较高,景观连续程度也较高。

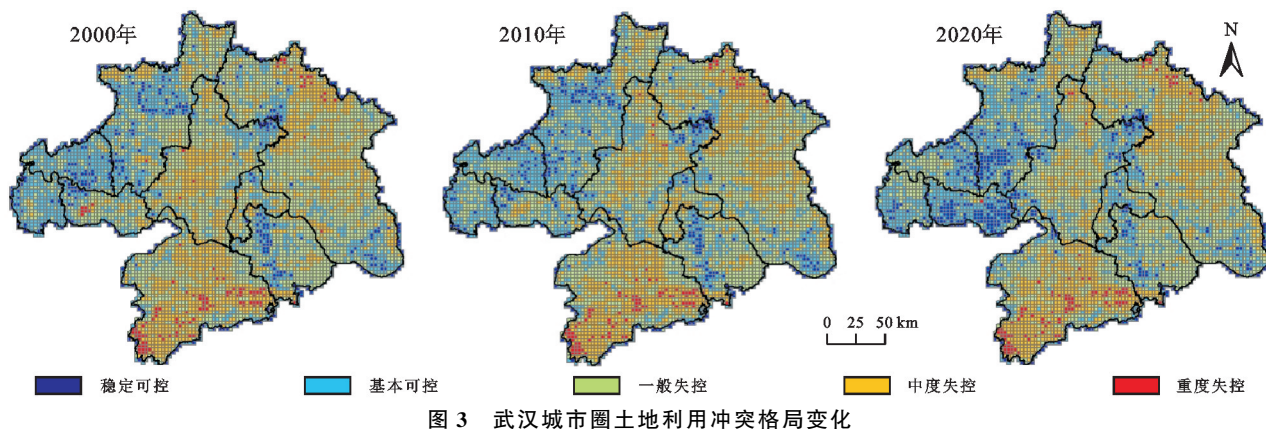


图 3 武汉城市圈土地利用冲突格局变化

Fig. 3 Change of land use conflict pattern in Wuhan metropolitan area

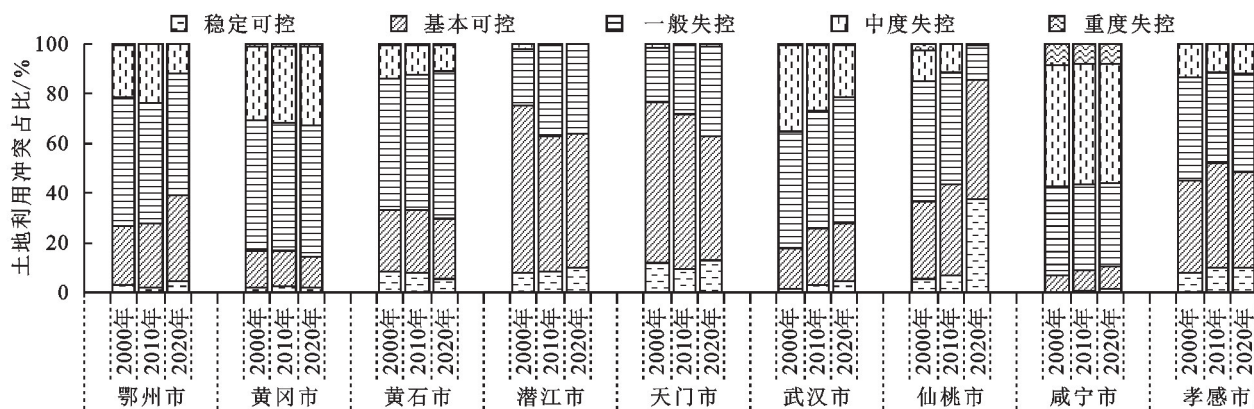


图 4 武汉城市圈各城市 2000—2020 年土地利用冲突占比情况

Fig. 4 Proportion of land use conflict classes in each city of Wuhan Metropolitan Circle from 2000 to 2020

2.1.2 空间分异特征分析 对武汉城市圈 2000 年、2010 年和 2020 年的土地利用冲突强度指数进行全局空间自相关分析,结果显示这三年的 Moran's  $I$  指数分别为 0.660, 0.661, 0.684,说明武汉城市圈三期土地利用冲突强度的分布在空间上呈现聚集态势且集聚性不断增强。

武汉城市圈土地利用冲突局部空间演变的冷热点分析结果表明(图 5),热点区(冲突高值聚集区)多集中在中部、南部和东部区域,其中,中部武汉市社会经济发展迅猛,多方利益对土地资源的争夺导致了较高的土地

利用冲突强度,但随着城区发展逐渐成熟,土地开发利用状况趋于稳定,用地集中连片,空间冲突强度在研究时段内有所下降;南部咸宁市多为低山丘陵地带或呈褶皱断层山陡坡地形,东部黄冈市的大别山山区地形也崎岖复杂,林草交错,区域内景观格局破碎、斑块形状复杂,但空间格局稳定性较强,因此用地冲突强度较高但分布状态较稳定。冷点区(冲突低值聚集区)多分布于西部的潜江市、天门市、仙桃市和孝感市,其中潜江市和天门市的建设用地较为零散分布且不断扩增,侵占周边耕地、水域等其他用地,农业、生态用地

保护和经济发展间的矛盾凸显,两市的冲突失控用地比例不断上升,冲突状况逐期恶化;仙桃市和孝感市的建设用地蔓延扩张趋势更显著,且存在填湖造田的单一用地转移现象,景观单元连片分布,冲突水平反

而有所下降。此外,武汉市东北角与黄冈市接壤地区向南经鄂州市中部至黄石市西部,大致呈现南北垂直分布的冲突低值区条带,黄冈市东南角也有冷点区分布,这些地区多为耕地,空间连通性、稳定性较高。

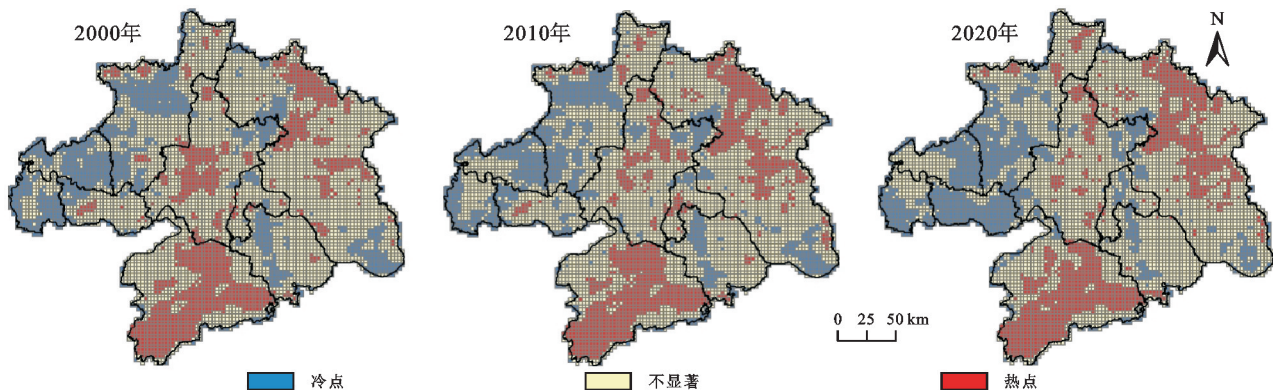


图 5 土地利用冲突冷热点分布

Fig. 5 Distribution of cold hot spots in land use conflicts

## 2.2 土地利用冲突的驱动因素分析

2.2.1 回归模型性能对比 参照已有研究并结合研究区实际情况,本研究共选取 11 个社会自然驱动因素探究对 2020 年研究区土地利用冲突的作用强度,包括高程、坡度、归一化植被指数(NDVI)、年降水、年均温、距水域距离、人口密度、GDP、距道路距离、

距火车站距离、距铁路距离。检验驱动因素间的多重共线性并剔除  $VIF > 7.5$  的驱动因素,最终筛选出 8 个关键驱动因素,分别为 5 个自然因素(坡度、NDVI、年降水、年气温、距水域距离)和 3 个人类活动因素(人口密度、GDP、距道路距离),各驱动因子的空间分布特征如图 6 所示。

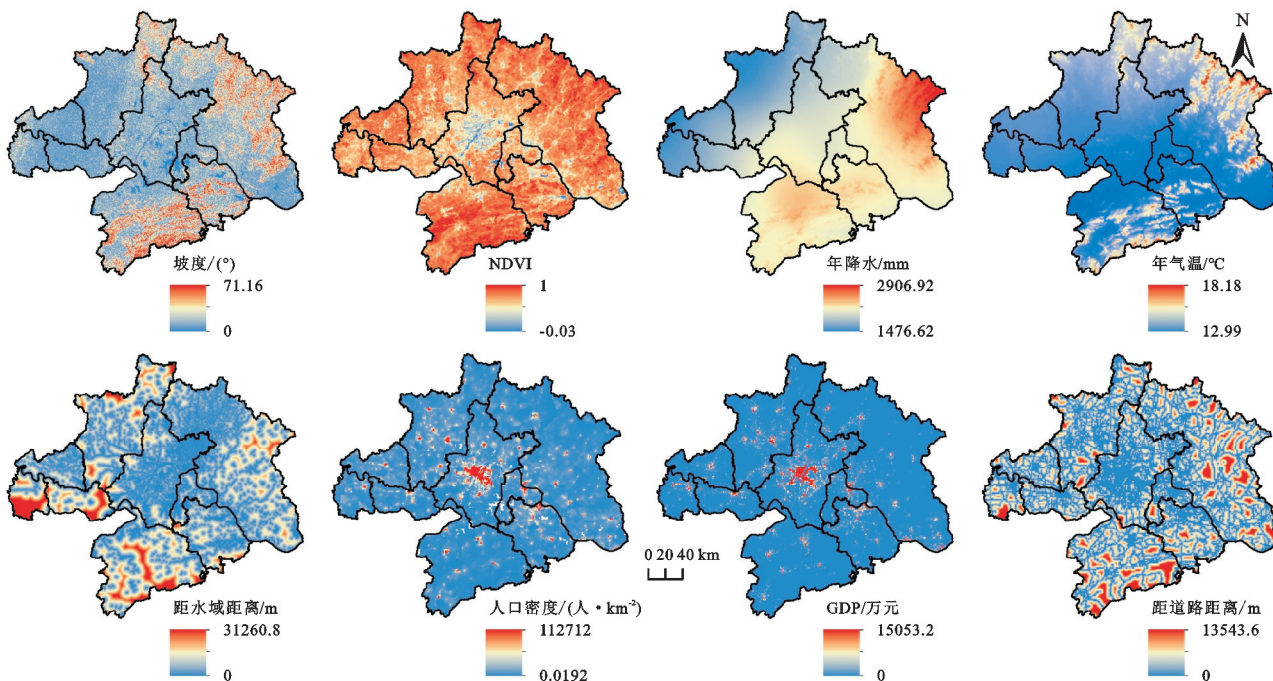


图 6 驱动因素空间分布特征

Fig. 6 Spatial distribution characteristics of driving factors

根据 OLS 模型回归结果(表 1),人口密度和 GDP 两解释变量的  $p$  值不显著,故不纳入 GWR 与 MGWR 模型。对比 OLS,GWR,MGWR3 种模型的整体效果。虽然 MGR,GMWR 涉及局部回归,不便直接比较三者的  $R^2_{adj}$ ,但 OLS 的  $R^2_{adj}$  仅为 0.225(表 1),显然其解释能

力较弱。而 MGWR 可解释建模集 73.1% 的变异,比 GWR 的解释能力高 0.4%;其 AICc 较 OLS,GWR 分别提高 6 078.498,411.59,而一般认为当 AICc 值减小 2 以上时模型效果明显更优,由此表明 MGWR 的精度较 OLS,GWR 均有所提高。此外,OLS 模型中的驱动因素



均为全局尺度,共用一个带宽;GWR 回归结果虽可体现驱动因素的空间异质性,但仅以最优带宽 102 表示不同驱动因素在同一位置下的尺度范围;而 MGWR 模型中各驱动因素均有专属带宽,各驱动因素的空间作用尺度更精确,带宽越大说明该因素在大尺度范围甚至全局尺度范围内影响土地利用冲突水平,反之则在局部尺度范围内影响土地利用冲突水平。其次,根据误差的残差趋势进行模型质量的评估,对各模型的拟合残差进行空间自相关分析,结果表明 OLS,GWR, MGWR 拟合残差的 Moran's  $I$  和  $p$  值分别为 0.547 0,

0.000,0.069,0.000,0.014,0.021(图 7),其中 MGWR 拟合残差的 Moran's  $I$  最小, $p$  值最大,说明 MGWR 拟合残差的空间自相关性最弱,独立分布性最强,间接说明 3 种模型中 MGWR 对土地利用冲突的拟合效果最好。再对比 GWR 和 MGWR 模型的局部  $R^2_{adj}$  (图 8),MGWR 的局部区域细节表现效果更好,研究区中部和南部的高值更高,西南和东北的低值更低。综上所述,MGWR 模型的拟合效果更佳,相较 OLS, GWR 能更好地反映武汉城市圈土地利用冲突与其驱动因素之间的关系。

表 1 各模型拟合结果  
Table 1 Fitting results of each model

解释变量	OLS				GWR			MGWR		
	系数	标准误差	VIF	$p$ 值	带宽	均值	标准差	带宽	均值	标准差
坡度	0.012	0.001	3.230	0.000***	102	0.260	0.966	43	0.199	0.471
NDVI	-0.093	0.025	1.931	0.000***	102	-0.169	0.465	438	-0.099	0.133
年降水	0.000	0.000	1.923	0.000***	102	0.165	1.821	960	0.417	0.170
年均温	0.001	0.000	1.899	0.000***	102	-0.309	2.329	567	0.093	0.424
距水域距离	-0.000	0.000	1.264	0.000***	102	-0.465	0.799	46	-0.347	0.397
人口密度	-0.000	0.000	4.866	0.883						
GDP	0.000	0.000	4.958	0.292						
距道路距离	-0.000	0.000	1.260	0.002**	102	-0.031	0.251	374	-0.006	0.125
常数项	-1.188	0.075			102	0.312	3.777	740	0.133	0.219
$R^2_{adj}$	0.225				0.727			0.731		
AICc	17571.014				11904.106			11492.516		

注: \* 表示显著性水平  $p<0.05$ , \*\* 表示显著性水平  $p<0.01$ , \*\*\* 表示显著性水平  $p<0.001$ 。

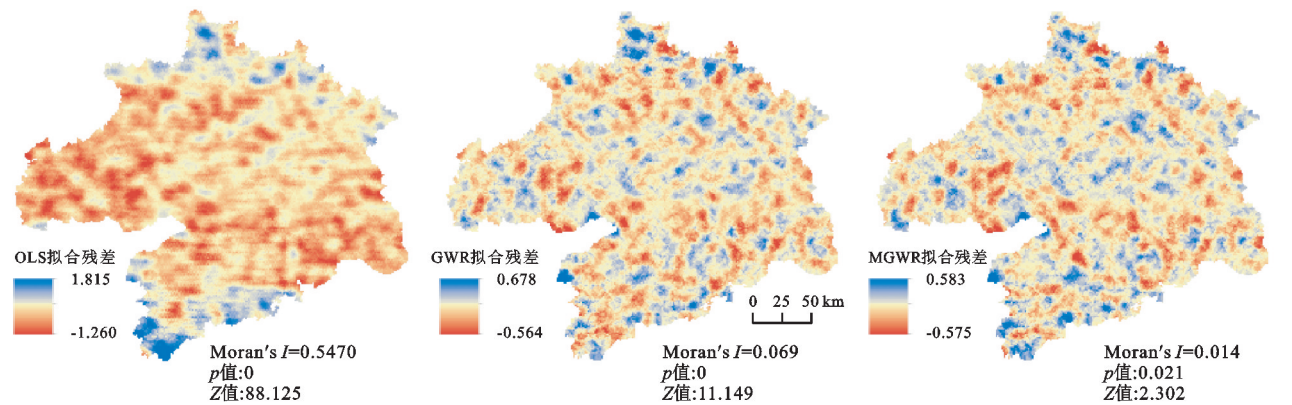


图 7 各模型拟合残差分布  
Fig. 7 Residual distribution of each model fitting

2.2.2 基于 MGWR 模型的土地利用冲突驱动分析  
从 MGWR 模型回归结果均值的绝对值来看(表 1),各变量对土地利用冲突的影响强度由大到小依次为年降水(+)、距水域距离(-)、坡度(+)、NDVI(-)、年均温(+)、距道路距离(-)。结合表 1 和图 9,根据变量带宽与回归系数的空间分异,上述自变量可分为两类:(1) 坡度和距水域距离,变量带宽在 43~46,系

数的空间变异显著;(2) 剩余 4 个变量带宽在 374~960,系数的空间变异相对较弱。因此,需要同时考虑变量的空间异质性和尺度效应。具体如下:  
局域尺度(带宽 43~46):坡度对研究区土地利用冲突的作用整体为正向驱动效应,其高值主要在中西部呈现块状分布,这些区域多为山地丘陵地带,林草混合分布、斑块破碎化且脆弱性高,导致土地利用冲突水平高;



而负值主要出现在各市城区范围,这些地势平坦区域经济社会快速发展,导致人地矛盾突出。距水域距离整体为负向驱动效应,其高值主要分布长江、汉江沿岸区域,水流作用易导致斑块复杂、连通性较差,与此同时人类临水而居、生产生活活动密集,用地冲突水平较高;而正值多呈块状零散分布在城市圈外围,这些区域大多离水源较远,植被生长对水源的依赖性更高,距水域距离越近更易促进多样化植被覆盖、生成多类生态用地,自然用地冲突水平较高。

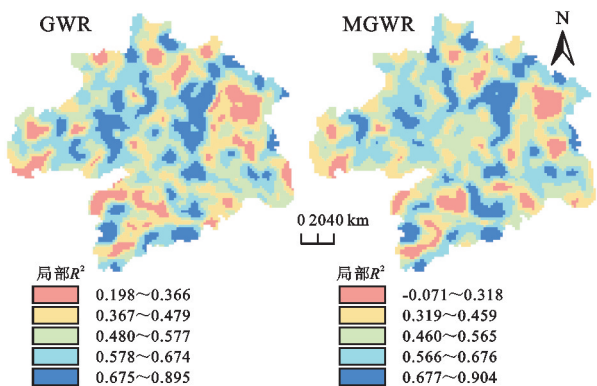


图 8 GWR 与 MGWR 局部拟合空间分布特征

Fig. 8 Spatial distribution characteristics of

GWR and MGWR local fitting

区域尺度(带宽 374~960):距道路距离整体为

负向驱动作用,其高值在研究区西部有两大片状分布,这些地区的经济欠发达,距道路距离越近,区域内人类活动对自然的干扰程度越高,由此引发较高的用地冲突水平;而正值区多位于城市圈经济较为发达的中西部,距道路越近城镇建设越成熟,用地现状已难以发生改变,土地利用冲突程度较弱。NDVI 整体呈负相关效应,高值区主要分布在西北部 and 东南部,这些区域内耕地多分布广泛,NDVI 水平较高,与此同时地类空间稳定性也较高因此冲突水平较低;正高值区多为南部和东北部的山区,区域内植被覆盖度较高,但由于生态地类交错分布,冲突水平反而也较高。年降水为正向驱动效应,回归系数大致自东南向西北递增,这与其东南高西北低的分布格局大致相反。西部地区作为粮食主产区,作物生长对降水的依赖性更强,降水可影响自然生态资源的分配,对地类分布格局起重要作用,由此引发较高的用地冲突。年均温整体为正向驱动效应,正值区位于研究区南北两端的幕阜山和大别山,两山区作为国家重要的水土保持生态功能区、长江流域水源涵养地,气候相较凉爽,但冲突强度较高;负值区位于城市圈中部地区,这是由于城市热岛效应区域年均温较高,但城区用地结构单一冲突水平较低,因此年均温在此区域内为负效应作用。

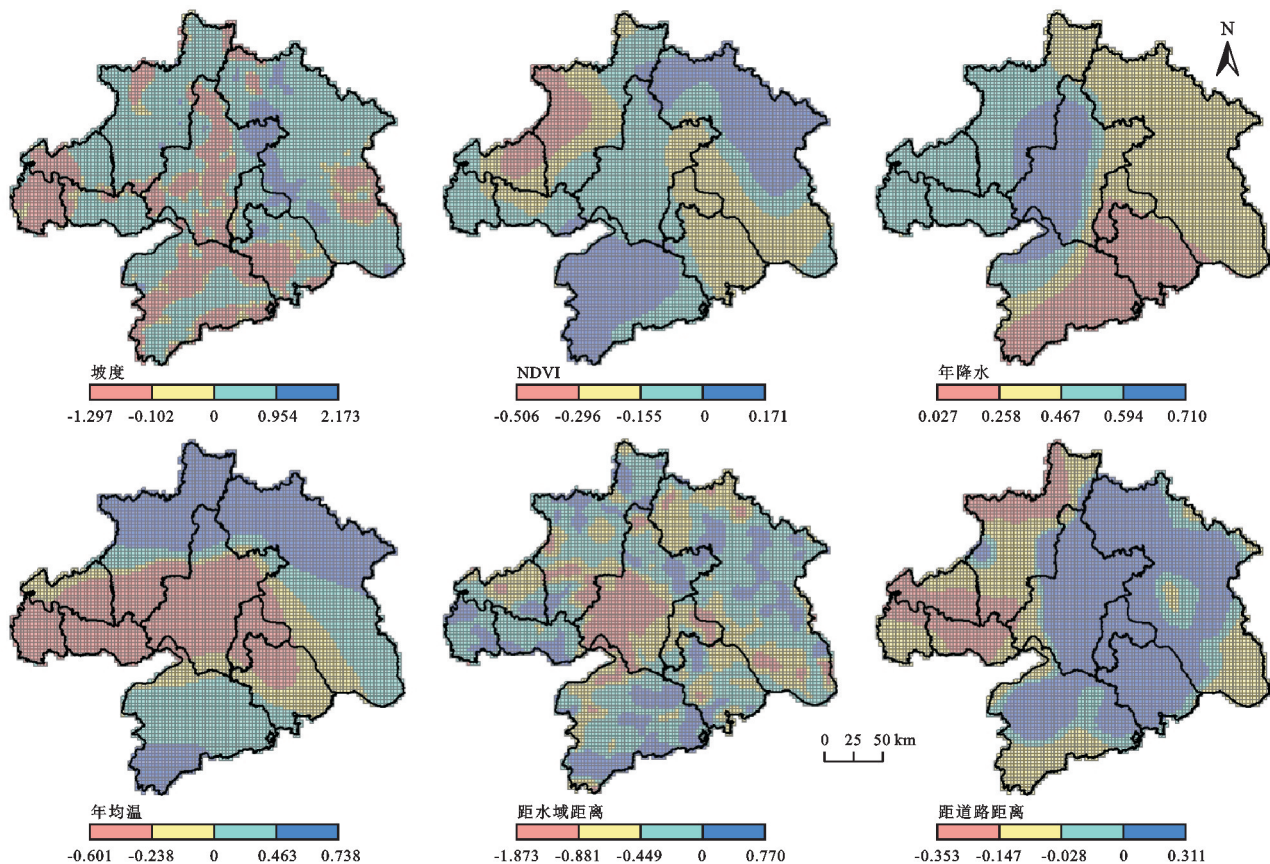


图 9 各驱动因素 MGWR 回归系数空间分布

Fig. 9 Spatial distribution of MGWR regression coefficients for each driving factor

### 3 讨论与结论

#### 3.1 讨论

本研究从土地利用系统复杂性、稳定性和脆弱性的特征角度出发,基于景观格局指数构建土地利用冲突强度测度模型,以  $3\text{ km} \times 3\text{ km}$  格网为单元对武汉城市圈 2000 年、2010 年和 2020 年的土地利用冲突进行空间量化与异质性分析。研究区的冲突失控单元可分为两类,一类表现为建设用地与耕地、生态用地的空间竞争,是城镇化进程的结果,另一类是与地形紧密相关的耕地、林地、草地等用地冲突,这与前人研究<sup>[26]</sup>发现一致。聚集在黄冈市、咸宁市山区地带的土地利用冲突“热点”与区域内复杂的生态景观格局密切相关,而武汉市境内的“热点”则多因人类活动干扰所致,两者热点聚集的原因不一致,可能不全对土地的可持续利用产生有害影响。土地利用冲突会导致土地利用格局的变化,但是空间格局变化的结果可能优化了国土空间结构,也可能破坏了生态环境,因此土地利用冲突存在正负两面性,基于景观指数的土地利用冲突测度模型无法识别出冲突的具体效应性质。正如研究<sup>[28]</sup>所述,该方法虽可准确识别冲突位置、选取指标较为客观,但难以体现冲突产生的根本性原因。揭示土地利用冲突的驱动因素是缓解冲突的基础工作。本研究采用 MGWR 模型讨论武汉城市圈的土地利用冲突驱动因素,考虑了各驱动因素的空间非平稳性问题并逐一分配最优带宽,获得了更稳健的结果。研究表明坡度和距水域距离为局域尺度变量,距道路距离、NDVI、年降水、年均温为区域尺度变量,表现为影响效应的尺度差异;在分析各因素的驱动机制时也注重数据的局部特性。各驱动因素中,距道路距离的影响强度最小,自然环境因素对土地利用冲突的影响程度较人类活动因素更为显著,该结论在一定程度上验证了人类利益竞争在引发土地利用冲突的过程中会受限于土地的自然本底条件<sup>[25]</sup>。

本研究的政策启示在于,关注土地利用冲突驱动因素的空间作用效果对国土空间规划具有重要意义。各驱动因素对不同空间单元的作用强度存在显著差异,了解各因素作用的空间分布特点才能针对性地采取措施以缓解冲突。黄冈市和咸宁市境内的大别山和幕阜山区域内生态用地交错分布,土地利用冲突受 NDVI 的正向驱动作用较大,今后应继续加强“低产林改造和中幼林抚育工程”“大别山革命老区生态修复工程”等林业生态防护措施,加大人工造林、封山育

林、森林抚育和退化林修复力度,加快自然保护地整合优化进程,增强林地的景观优势度,减小景观异质性,在保障区域水土保持、水源涵养等生态功能的同时降低生境破碎度,提质优化生态空间。天门市、孝感市、武汉市、鄂州市、黄石市等境内长江、汉江主要流经区域土地利用冲突水平与距水域距离呈负相关,各地应积极推进岸线资源优化调整,加强江河湖泊水域岸线空间管控,可针对城乡不同区域特点,因地制宜地在已划定的江河湖泊管理范围边界基础上向外适当延伸划定水资源保护带、生态缓冲带,隔离人为干扰对水域的负面影响;加大水域岸线生态修复力度,积极推进退田还湖、还湿,根据水域自然形态建设沿江沿河沿湖生态廊道,优化江河湖泊景观布局,统筹全流域自然景观建设。武汉市、黄石市、潜江市、天门市和仙桃市等的城区土地利用冲突多受坡度的负向驱动作用影响,平坦的耕地、开阔的水域等用地被建设用地侵占的风险极高,城镇化进程中经济发展与耕地保护、生态保护的协调关系不容忽视,各市应合理优化城市结构,盘活存量用地,促进建设用地节约集约利用,提高土地资源利用率;实施耕地资源整合,加快高标准农田建设,切实加强耕地保护;加强绿道网络建设,提高城镇内部生态用地的连续性,构建布局合理、粮食安全、生态宜居的新型城镇。孝感市、天门市、潜江市和仙桃市境内由道路带来的人类干扰易引发土地利用冲突,各地应积极推进绿色道路建设,加大道路施工、运营、养护等阶段的生态环境效益维护,修建道路时减少土地分割,依法避让各类保护区和永久基本农田,做好临时用地的生态修复工作,最大限度地恢复原有自然生态景观,提高交通基础设施建设过程中的环境友好性,推动道路建设可持续性发展。

本文仅选取了 2020 年数据进行土地利用冲突驱动因素分析,缺乏驱动因素的时间变化趋势分析,未来将继续深化研究,以期从时空视角获得更全面的研究结论。此外,土地利用冲突是自然环境、经济社会、政策制度等多因素<sup>[18]</sup>交互作用的结果,本研究选取的土地利用冲突驱动因素涵盖自然环境和经济社会方面,但未能对政策制度的影响进行量化研究,今后应尝试考虑政策因素对土地利用冲突的定量驱动作用。

#### 3.2 结论

2000—2020 年土地利用冲突格局总体相似,冲突失控区(热点)主要分布于中南部(武汉市)和东北部(黄冈和咸宁市山区);时段内失控比例由 70.09% 降至 67.13%,区域冲突状况有所改善;MGWR 模型



回归结果的调整  $R^2$  为 0.731, 拟合优度显著优于 OLS, GWR, 可以有效捕捉各自然社会经济因子作用的尺度效应(带宽越小, 驱动作用的空间异质性越强); 坡度、距水域距离是局域尺度变量, 回归系数的正负极值区多呈块状零散分布; 其余变量为区域尺度变量, 其中距道路距离、NDVI 的回归系数正负极值区多呈大面积片状分布, 年均温的正向作用大致由南北两端向中部区域减弱并逐渐转为负相关作用, 年降水的正向作用强度为由东南向西北递增的分布格局。研究结果鼓励规划者因地制宜缓解城市圈用地矛盾。

#### 参考文献(References):

- [1] 林晋大, 多玲花, 邹自力. 城市扩张背景下景观破碎化动态演变及空间自相关分析: 以南昌市为例[J]. 水土保持研究, 2022, 29(4): 362-369.  
Lin J D, Duo L H, Zou Z L. Dynamic evolution and spatial autocorrelation analysis of landscape fragmentation under the background of urban expansion: A case study of Nanchang City[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(4): 362-369.
- [2] 金贵, 郭柏枢, 成金华, 等. 基于资源效率的国土空间布局及支撑体系框架[J]. 地理学报, 2022, 77(3): 534-546.  
Jin G, Guo B S, Cheng J H, et al. Layout optimization and support system of territorial space: An analysis framework based on resource efficiency [J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(3): 534-546.
- [3] 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 J P, Yu D, Lu Y Q, 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.
- [4] Zhou D, Lin Z L, Lim S H. Spatial characteristics and risk factor identification for land use spatial conflicts in a rapid urbanization region in China [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2019, 191(11): 677.
- [5] Ma W Q, Jiang G H, Chen Y H, 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: 104433.
- [6] 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.
- [7] Henderson S R. Managing land-use conflict around urban centres: Australian poultry farmer attitudes towards relocation [J]. Applied Geography, 2005, 25(2): 97-119.
- [8] 付凯, 王卓琳, 任云英. 人地关系视角下西安大都市边缘区土地利用冲突及规划应对[J]. 现代城市研究, 2019, (09): 60-66.  
Fu K, Wang Z L, Ren Y Y. Land use conflict and planning response in the fringe of Xi'an Metropolis under the perspective of man-land relationship [J]. Modern Urban Research, 2019, (09): 60-66.
- [9] 栾春风, 郭欣然. 生态安全格局视角下的土地利用冲突识别研究[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2023, 47(5): 156-164.  
Luan C F, Guo X R. Research on land use conflict identification from the perspective of ecological security pattern [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2023, 47(5): 156-164.
- [10] 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.
- [11] 邵兴全, 胡业勋. 农地所有权与收益权的冲突与平衡: 一个实现农民土地财产权的理论分析框架[J]. 宏观经济研究, 2016(12): 3-13.  
Shao X Q, Hu Y X. Conflict and balance between farmland ownership and income right: A theoretical analysis framework for realizing farmers' land property rights [J]. Macroeconomics, 2016(12): 3-13.
- [12] 王良健, 陈小文, 刘畅, 等. 基于农户调查的当前农村土地征收易引发的社会稳定风险评估研究[J]. 中国土地科学, 2014, 28(11): 19-29.  
Wang L J, Chen X W, Liu C, et al. The study of social stability risk assessment under current rural land expropriation [J]. China Land Science, 2014, 28(11): 19-29.
- [13] 王越, 李佩泽, 李炆颖, 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 Y, Li P Z, Li W Y, 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.
- [14] 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.
- [15] 薛朝浪, 赵宇鸾. 太行山区土地利用冲突测度及其时空特征[J]. 资源开发与市场, 2018, 34(12):1677-1684.
- Xue C L, Zhao Y L. Spatial-temporal characteristics and measures of land-use conflict in Taihang Mountainous Areas[J]. Resource Development & Market, 2018, 34(12):1677-1684.
- [16] Zong S S, Hu Y C, Bai Y P, et al. Analysis of the distribution characteristics and driving factors of land use conflict potentials in the Bohai Rim coastal zone[J]. Ocean & Coastal Management, 2022, 226:106260.
- [17] 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 X D, Cui W G, Han H Q, 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.
- [18] 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 J F, Wang B Y, Wang S J. The paradigms and main content of land use conflict research [J]. Resources Science, 2023, 45(3):465-479.
- [19] 李志飞, 苏梦梦. 农地旅游化流转中的土地利用冲突探析: 基于扎根理论的文献分析[J]. 科技创业月刊, 2019, 32(6):135-141.
- Li Z F, Su M M. Land use conflict in the transfer of farmland tourism: Literature analysis based on grounded theory [J]. Pioneering with Science & Technology Monthly, 2019, 32(6):135-141.
- [20] 曾昉, 魏媛. 城市土地利用生态冲突诊断及影响因素研究: 以贵阳市为例[J]. 改革与战略, 2016, 32(9):107-113.
- Zeng F, Wei Y. Study on the influencing factors of ecological conflict of urban land use in China: Take Guiyang as example[J]. Reformation & Strategy, 2016, 32(9):107-113.
- [21] 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 F J, Wan Q, Zeng J X, 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.
- [22] Fotheringham A S, Yang W, Kang W. Multiscale geographically weighted regression(MGWR)[J]. Annals of the American Association of Geographers, 2017, 107(6):1247-1265.
- [23] Yang J, Huang X. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019[J]. Earth System Science Data, 2021, 13:3907-3925.
- [24] Zhao N Z, Liu Y, Cao G, et al. Forecasting China's GDP at the pixel level using nighttime lights time series and population images[J]. GIScience & Remote Sensing, 2017, 54(3):407-425.
- [25] 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.
- [26] Bao W K, Yang Y Y, Zou L L. 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, 296:113168.
- [27] 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(06):717-723.
- Zhou G H, Peng J J. The evolution characteristics and influence effect of spatial conflict: A case study of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration[J]. Progress in Geography, 2012, 31(06):717-723.
- [28] 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 S, Meng J J. Process of land use conflict research: Contents and methods[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(3):877-887.