

doi: 10.6046/zrzyyg.2022341

引用格式: 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 L L, Lyu S Y, Wu Z P, et al. Changes and spatial conflict measurement of land use in Urumqi City[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2023, 35(4): 282 - 291.)

# 乌鲁木齐市土地利用变化及其空间冲突测度

田柳兰<sup>1</sup>, 吕思雨<sup>1</sup>, 毋兆鹏<sup>1,2</sup>, 王娟娟<sup>1</sup>, 史欣鹏<sup>1</sup>

(1. 新疆师范大学地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054;

2. 新疆干旱湖泊环境与资源实验室, 乌鲁木齐 830054)

**摘要:** 土地利用冲突识别对于社会经济的可持续发展与生态文明建设具有重要意义。乌鲁木齐市作为丝绸之路经济带的核心区域, 探讨其城市发展、绿洲农业及生态环境三者围绕土地利用存在的冲突原因和表现急需而必要。为此, 该文以乌鲁木齐为研究区, 在对2000年、2010年、2020年以及利用FLUS模型模拟的2030年土地利用特征进行分析的基础上, 通过PSR模型构建土地利用冲突强度测度模型, 评估了4个时期土地利用冲突, 最终借助地理探测器, 定量分析了导致研究区土地利用冲突的驱动因子。结果表明: ①2000—2030年土地利用空间分异明显, 呈现出建设用地、林地和水域面积增加, 草地、耕地和未利用地面积减少的“三升三降”变化趋势。②土地利用程度综合指数皆处于中低利用程度, 但整体始终呈上升趋势, 土地利用一直处于发展期。③2000—2030年间土地利用冲突空间变化显著, 无冲突区和轻度冲突区面积占比最大, 中度冲突区面积呈正态分布, 重度冲突区和高度冲突区逐年增加, 且高度冲突区增幅最大。④2000—2010年, 土地利用冲突热点区集中分布于中心城区北及西南部; 2010—2020年, 热点区范围蔓延至南部、北部山区林地周边及达坂城区盐湖两侧冲积扇附近; 2020—2030年, 热点区仍主要分布在建设用地周边及山区林地附近, 但山区的热点区明显减少。⑤土地利用冲突空间分异驱动力的单因子影响分析结果表明, 斑块密度 > 地均人口 > GDP > 坡度 > 高程 > 距区县距离 > 距河流距离 > 距道路距离; 交互探测分析结果表明, (斑块密度 ∩ 高程) > (斑块密度 ∩ 地均人口) > (斑块密度 ∩ 距道路距离)。本研究能为乌鲁木齐有效协调经济发展和生态保护之间的矛盾关系, 优化未来土地利用结构提供参考。

**关键词:** FLUS模型; 土地利用变化; 土地利用冲突; 地理探测器; 乌鲁木齐

**中图法分类号:** TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2023)04-0282-10

## 0 引言

土地利用冲突是各土地利用主体及利益相关者之间, 以同一空间区位上土地为核心的、资源要素间的时空竞争和博弈过程<sup>[1]</sup>。随着区域“生态-生产-生活”空间结构比例趋于失衡, 土地利用冲突逐渐成为学术界研究热点<sup>[2]</sup>。

近年来, 研究重点主要集中在冲突类型识别<sup>[3]</sup>、冲突时空动态分析<sup>[4]</sup>、冲突驱动因素揭示<sup>[5]</sup>、冲突协调与权衡<sup>[6]</sup>和冲突研究应用实践<sup>[7]</sup>5方面; 在研究方法方面主要有参与式调查<sup>[2]</sup>、博弈论<sup>[8]</sup>等定性方法, PSR模型<sup>[9]</sup>、适宜性评价<sup>[10]</sup>、生态风险评价<sup>[11]</sup>等定量方法, 及GIS空间分析支持下的定

量、定性结合方法<sup>[12]</sup>。在研究内容方面, 主要集中在与土地利用冲突概念<sup>[13]</sup>、原因及其冲突诊断<sup>[14]</sup>、冲突的评价与管理<sup>[15]</sup>等。在关注对象方面, 大多集中在城市群、城市密集地区和经济发达地区的城市带, 对于干旱地区的绿洲城市的研究相对较少<sup>[16]</sup>。

随着“十四五”时期乌鲁木齐都市圈建设的大力推进, 急需研究城市发展、绿洲农业及生态环境三者之间多重关联的涨落过程及耦合机制<sup>[17]</sup>, 并探讨土地资源利用冲突的原因和表现。本文基于“压力-状态-响应”思路, 通过构建土地利用冲突强度测度模型, 对乌鲁木齐市2000年、2010年、2020年及2030年的土地利用冲突进行了评估, 并借助地理探测器定量分析了导致研究区土地利用冲突的驱动因子。本研究能为乌鲁木齐在生态文明建设背景下有

收稿日期: 2022-08-16; 修订日期: 2023-01-10

基金项目: 新疆维吾尔自治区高校科研项目“生态保护约束下绿洲城市土地利用冲突时空演变研究”(编号: XJEDU20211021)和国家自然科学基金项目“新疆艾比湖流域潜在土地利用冲突动态演变及建模研究”(编号: 41761113)共同资助。

第一作者: 田柳兰(1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向为空间信息分析与应用。Email: 2548994134@qq.com。

通信作者: 毋兆鹏(1976-), 男, 博士, 教授, 主要从事3S技术与绿洲资源开发研究。Email: wuzhaopengxj@sina.com。

效协调经济发展和生态保护之间的矛盾关系,优化未来土地利用结构,促进区域和谐稳定提供例证和科学支撑。

## 1 研究区概况与数据源

### 1.1 研究区概况

乌鲁木齐市(E86°46'10"~88°59'48", N42°54'16"~44°58'16")地处我国西北地区,下辖7区1县,总面积 $1.39 \times 10^6 \text{ km}^2$ (图1),三面环山,东邻昌吉回族自治州、北靠天山山脉、南接准噶尔盆地,地势南高北低。该区域属中温带大陆性干旱气候,昼夜温差大,年均气温 $7.4 \text{ }^\circ\text{C}$ ,年均降水量 $294 \text{ mm}$ 。河流均为内流河,以冰雪融水补给为主,河道短且分散,主要有乌鲁木齐河、头屯河、白杨河及大河沿河。

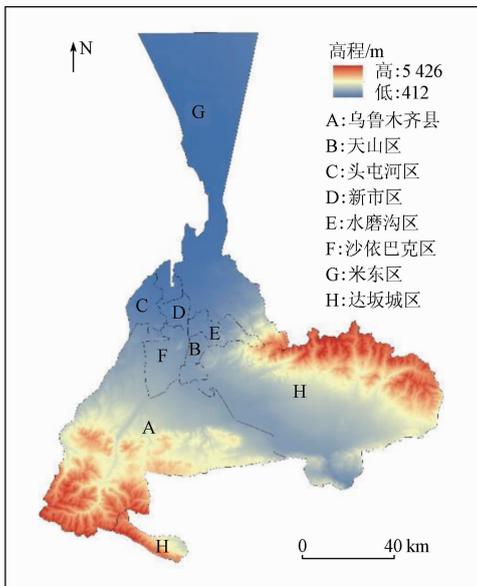


图1 研究区示意图

Fig.1 Sketch map of study area

### 1.2 数据源

本文所使用的2000年和2010年Landsat5 TM影像,2020年Landsat8 OLI影像,云量均小于10%,与高程及坡度数据一致来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>)。参考《全国土地分类标准》(GB/T 21010—2017),土地利用类型划分为林地、耕地、草地、建设用地、水域及未利用地6类,3期Kappa系数分别为0.89,0.89及0.88。文中所有空间地理数据均采用Albers Conical Equal Area投影坐标系,CGCS\_2000地理坐标系统。GDP、人口等数据社会经济数据来自于《乌鲁木齐市统计年鉴(2000—2020年)》、《乌鲁木齐市国民经济和社会发展统计公报(2020年)》和《新疆统计年鉴(2020年)》。

## 2 研究方法

### 2.1 土地利用综合程度指数

土地利用综合程度指数<sup>[18]</sup>能反映人类对土地开发利用的程度,是衡量区域土地利用深度和广度的重要指标,公式为:

$$L = 100 \times \sum_{i=1}^n A_i \times C_i \quad (1)$$

式中: $L$ 为区域土地利用程度综合指数( $100 \leq L \leq 400$ ); $n$ 为土地利用类型数量( $n=6$ ); $A_i$ 为研究区内第 $i$ 级土地利用程度分级指数; $C_i$ 为研究区内第 $i$ 级土地利用程度分级面积百分比; $n$ 为土地利用程度分级数。其中,未利用地赋值1,林地、草地和水域赋值2,耕地赋值3,建设用地赋值4。

自然间断点分级法可通过对相似值的恰当分组而使各类之间差异最大化,据此得到的数值差异边界既具有良好效果也具有统计学意义<sup>[19]</sup>。因此,本文根据自然间断法将土地利用程度综合指数分为5级,即低利用程度区、中低利用程度区、中利用程度区、中高利用程度区及高利用程度区。

### 2.2 土地利用冲突测度模型构建

基于PSR模型<sup>[9]</sup>(压力-状态-响应),通过选择土地利用干扰度指数( $L_{AWMPFD}$ )、脆弱度指数( $L_{FI}$ )和稳定性指数( $L_{SI}$ )构建土地利用冲突综合指数(表1),评价区域土地利用空间冲突程度。

表1 土地利用冲突综合指数测算指标

Tab.1 The landuse conflict composite index to measure indicators

目标层	准则层	指标层	权重	与土地利用冲突的关系
土地利用冲突综合指数	压力(P)	干扰度指数	1/3	+
	状态(S)	脆弱度指数	1/3	+
	响应(R)	稳定性指数	1/3	-

将计算结果进行0~1标准化处理,之后根据分析统计研究区各空间单元网格冲突测度值的区段分布情况,借鉴周国华等<sup>[16]</sup>、彭佳捷等<sup>[20]</sup>空间冲突倒“U”型演变轨迹及各可控性级别冲突的相关分析结果 $L_{CI}$ ,将其分为5个级别:无冲突(0,0.30)、轻度冲突[0.30,0.36)、中度冲突[0.36,0.42)、高度冲突[0.42,0.50)及重度冲突[0.50,1.00)。计算公式为:

$$L_{CI} = \frac{1}{3}AWMPFD + \frac{1}{3}FI - \frac{1}{3}SI \quad (2)$$

式中: $AWMPFD$ 为干扰度指数; $FI$ 为脆弱度指数; $SI$ 为稳定度指数。

### 2.2.1 土地利用干扰度指数

借助面积加权的平均斑块分形指数<sup>[8]</sup> (area-weighted patch fractal dimension, AWMPFD) 进行测算,数值越大表示土地利用类型相邻单元之间干扰程度越高,公式为:

$$AWMPFD = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ \frac{2 \ln(0.25P_{ij})}{\ln a_{ij}} \left( \frac{a_{ij}}{A} \right) \right], \quad (3)$$

式中:  $P_{ij}$  为第  $i$  类用地类型第  $j$  个斑块的周长;  $a_{ij}$  为第  $i$  类用地类型第  $j$  个斑块面积;  $A$  为评价单元总面积。

### 2.2.2 土地利用脆弱度指数

借助景观脆弱性 ( $FI$ ) 指数进行测算,并根据相关研究对土地利用类型进行生态风险系数赋值<sup>[11]</sup>。其中,建设用地赋值 6、未利用地赋值 5、水域赋值 4、耕地赋值 3、草地赋值 2、林地赋值 1,数值越大表示评价单元越脆弱,越易受到外界影响。计算公式为:

$$FI = \sum_{i=1}^n F_i \frac{a_i}{A}, \quad (4)$$

式中:  $a_i$ ,  $F_i$  和  $n$  分别为系统内各土地利用类型的面积、土地利用类型  $i$  的生态风险系数、土地利用系统包含的土地类型数量。其中,研究区的土地类型为 6 种,故  $n=6$ 。

### 2.2.3 土地利用稳定性指数

借助景观破碎度 ( $PD$ )<sup>[10]</sup> 的倒数进行计算,公式为:

$$PD = \frac{n_i}{A}, \quad (5)$$

式中:  $PD$ ,  $n_i$  和  $A$  分别为土地利用类型的破碎度指数、各土地利用类型的斑块数目和评价单元总面积。

## 2.3 地理探测器

地理探测器作为揭示潜在影响因子的一种统计学方法,被广泛应用于自然资源保护和社会经济问题的研究中<sup>[21]</sup>。模型不仅能探测单因子的空间分异,还可以探测 2 个因子的交互作用。因此,本文基于该方法对研究区土地利用冲突与各影响因素之间的相互关系进行分析。

### 2.3.1 因子探测器

主要用于分析不同因子,对土地利用冲突空间差异的分别影响程度,公式为:

$$q = 1 - \frac{\sum_{m=1}^n N_m \sigma_m^2}{N \sigma^2}, \quad (6)$$

式中:  $q$  为土地利用冲突影响因子的解释力指标 ( $0 \leq q \leq 1$ ),  $q$  值越大,说明该影响因子对土地利用冲突空间差异的影响程度越强;  $N$  及  $\sigma^2$  分别为整个区域的样本量和方差;  $N_m$  和  $\sigma_m^2$  分别为  $m$  ( $m=1, \dots, n$ ) 层样本量和方差。

### 2.3.2 交互探测器

主要用于识别不同因子之间的交互影响作用,即 2 个因子共同作用时,是否会增加或减弱对土地利用冲突空间差异的影响程度,双因子交互作用类型见表 2。表中  $\min$  和  $\max$  分别为最小和最大值。

表 2 交互作用类型

Tab.2 Types of interaction

判断依据	交互作用
$q(X_1 \cap X_2) < \min(q(X_1), q(X_2))$	非线性减弱
$\min(q(X_1), q(X_2)) < q(X_1 \cap X_2) < \max(q(X_1), q(X_2))$	单因子非线性减弱
$q(X_1 \cap X_2) > \max(q(X_1), q(X_2))$	双因子增强
$q(X_1 \cap X_2) = q(X_1) + q(X_2)$	独立
$q(X_1 \cap X_2) > q(X_1) + q(X_2)$	非线性增强

## 2.4 FLUS 模型

本文利用 FLUS 模型模拟预测 2030 年土地利用空间分布特征,该模型主要由基于人工神经网络 (artificial neural network, ANN) 的出现概率计算模块和基于自适应惯性竞争机制的元胞自动机 (cellular automata, CA) 模块 2 部分构成<sup>[22]</sup>。本研究中模型所选因子包括: 高程、坡度、距河流距离、距区县距离、距道路距离、GDP 和地均人口。需要说明的是,研究区干旱少雨,平原人工绿洲农业区年均降水量仅 200 mm,自然降水空间分布极不均匀且不能满足作物生长发育的需要,田间用水主要依靠冰川融水补给的河流灌溉。因此,本研究选择距河流距离这一因子取代降水因子。利用 2000 年、2010 年土地利用现状图,分别模拟 2010 年、2020 年土地利用空间分布状态,模型对比精度分别为 0.87 和 0.89, Kappa 系数分别为 0.73 和 0.75,精度可以满足研究要求。

## 3 结果分析

### 3.1 土地利用时空变化分析

研究区各土地利用类型空间分布分异明显 (图 2), 城乡建设用地及农业发展用地主要分布在研究区中部平原绿洲,草地、林地主要分布于研究区南部,未利用地则在研究区北部分布较广。

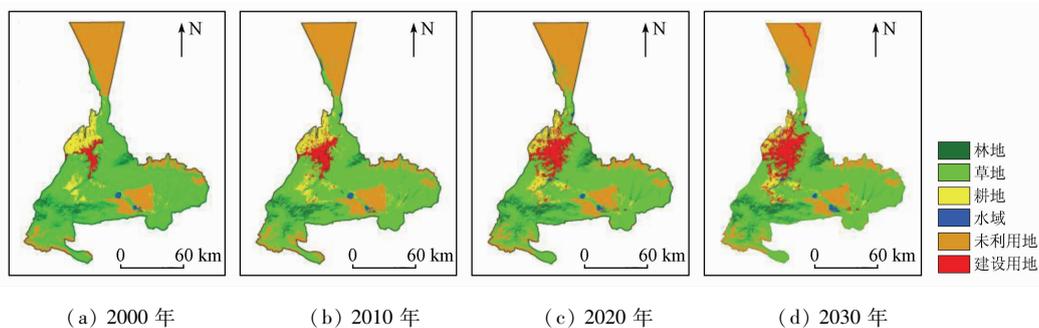


图2 土地利用格局分布

Fig.2 Distribution of land use pattern

2000—2020年,研究区土地利用整体呈“三增三减”特征。其中,建设用地、林地和水域处于持续增加态势,增加面积分别为 $674.85\text{ km}^2$ , $160.51\text{ km}^2$ 和 $47.58\text{ km}^2$ ;草地、耕地和未利用地处于持续减少态势,减少面积分别为 $464.49\text{ km}^2$ , $287.54\text{ km}^2$ 和 $130.92\text{ km}^2$ 。需要强调的是,草地面积虽然持续减少,但自2010年开始幅度却明显下降。与此同时,耕地面积减少的幅度则显著上升,充分突显了2010年以后乌鲁木齐市实施草原生态保护政策的效果。2020—2030年预测结果显示,各地类面积依旧呈“三增三减”变化趋势。建设用地、林地、水域持续增加,增加面积分别为 $253.93\text{ km}^2$ , $67.4\text{ km}^2$ 和 $20.35\text{ km}^2$ 。尤其是南部山区城镇组群,由于发展旅游业导致的建设用地面积扩张最为显著。此外,草地、耕地、未利用地持续减少,减少面积分别为 $147.04\text{ km}^2$ , $108.99\text{ km}^2$ 和 $85.65\text{ km}^2$ ,减少幅度有所缓和,生态用地得到有效保护。

### 3.2 土地利用程度分析

研究区土地利用程度综合指数表明,2000—2020年及预测年份2030年的土地利用程度综合指数都处于中低利用程度,分别为184.69,188.92,193.47和194.73(图3)。其主要原因在于,研究区内农业用地与建设用地比重较低,多年平均值仅分别为6.56%和4.89%,而草地比重则达到58.03%。加之西部、南部及东部环山,陡坡面积占比较大,自然因素限制导致整体土地集约化利用程度不高,且主要集中于中部及北部区域。但数据同时也显示,研究区2000—2010年、2010—2020年及2020—2030年土地利用程度综合变化指数分别为4.23,4.56和1.26,说明研究区土地利用一直处于发展期。尤其2000—2020年间,研究区土地利用的深度和广度不断增大。但在“三生三线”国土空间规划的控制下,预计2020—2030年土地利用程度指数变化量将减少到1.26。

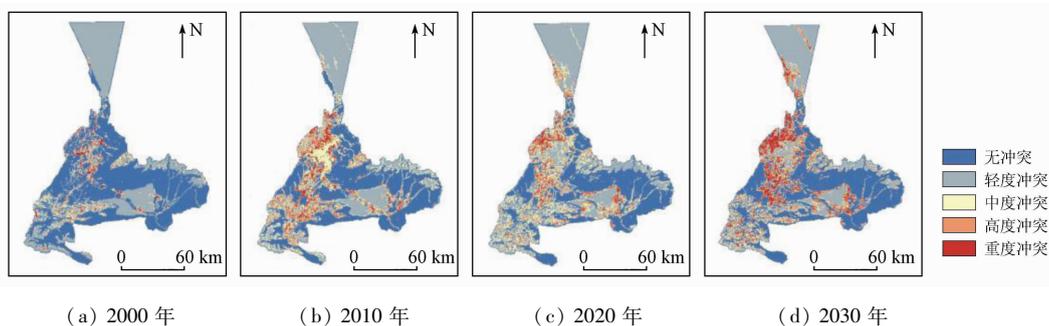


图3 土地利用程度格局变化

Fig.3 Changes in land use pattern

### 3.3 土地利用冲突时空演变特征

研究区土地利用冲突强度计算结果表明,2000—2030年间,研究区土地利用冲突空间变化显著(图4、图5)。总体来看,由于米东区及达坂城区内柴窝堡湖附近分布有大面积不适宜开发的荒漠戈壁,因此无冲突和轻度冲突区占比整体较高。其中,无冲突区域面积呈先减后增的U型变化,轻度冲突区域面积呈现双峰型。此外,中度冲突区域面积呈

正态分布,高度冲突区域逐年增加且增幅最大,重度冲突区域同样呈现梯次上升趋势。

具体而言,2000年重度、高度冲突占比较少,分别占1.4%和3.04%,主要分布在中心城区边缘地带。2010年伴随建设用地扩张,重度冲突上升至4.52%,高度冲突上升至8.89%,主要发生在建设用地和耕地集中区域。2020年重度、高度冲突占比分别为3.14%和8.74%,相较于前一阶段来说有所

缓和。2030 年重度冲突和高度冲突占比上升到 8.45% 和 10.13%，主要出现在中心城区北部及南

部集约经营的耕地范围内,且有明显的团状聚集。

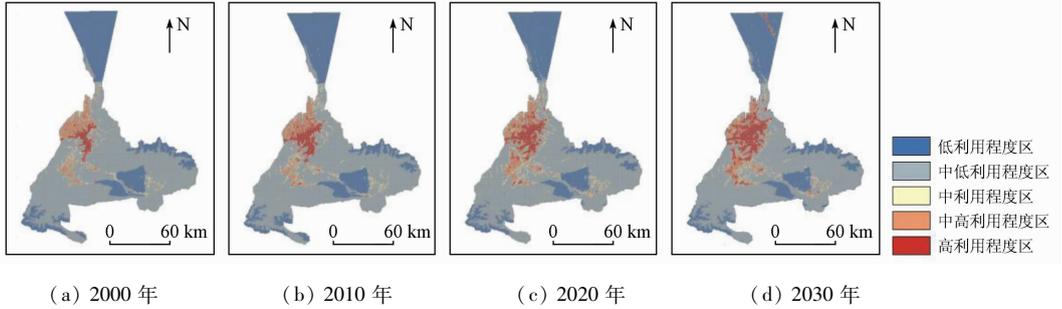


图 4 2000—2030 年土地利用冲突格局分布

Fig. 4 Distribution of land use conflict pattern from 2020 to 2030

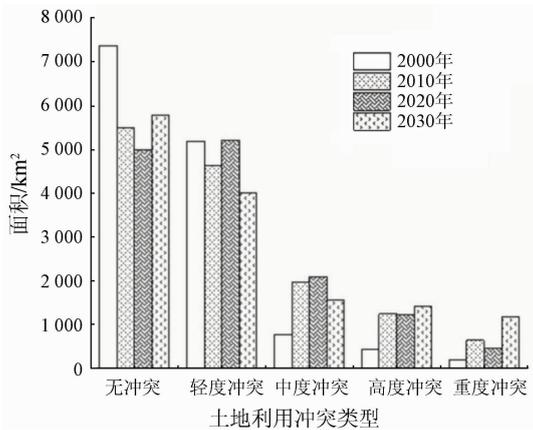


图 5 土地利用冲突各冲突等级面积变化

Fig. 5 Change of land use conflict area at different levels

### 3.4 土地利用冲突空间异质性

受不同地理因素制约,地区及地类之间的土地利用冲突会存在空间差异性。全局空间自相关分析结果表明,2000—2010 年,在服务型产业发展布局影响下,Moran's I 值从 0.65 增至 0.67,导致城镇化建设过程中土地利用冲突的空间集聚性增强,冲突加剧。2010—2020 年,由于城市土地用途实施管制措施,Moran's I 值从 0.67 减小至 0.65,区域土地利

用冲突的空间集聚性弱化,强度向好转变。土地利用冲突局部空间演变的冷热点分析结果显示(图 6),2000—2010 年,土地利用冲突热点区与 2010 年高冲突聚集区增加的区域高度吻合,在中心城区北及西南部聚集显著。至 2010—2020 年,热点区范围进一步扩张,蔓延至南部及北部山区林地周边及达坂城区盐湖两侧冲积扇附近;冷点区则与高冲突聚集减少区域相吻合,主要集中于中心城区周边以及东、南部的山区林地范围内,其原因是由于内部土地利用类型趋向于统一,斑块复杂性降低,冲突得以缓解,但空间分布上的集聚呈上升趋势。2020—2030 年,研究区的热点区主要分布在建设用地周边及山区林地附近。其中,受建设用地向其周边草地、耕地扩张影响,周边土类的连通性、稳定性下降,导致冲突等级加重。与 2010—2020 年相比,2020—2030 年未来 10 a 山区的热点区明显减少,中心城区南部的热点区将再一次南移至乌鲁木齐县的城镇组群,中心城区西北方向的热点区向其东北方向扩散。冷点区主要分布在盐湖、柴窝堡湖及山区林地附近,受生态交替影响,该区域的冲突等级有所下降。

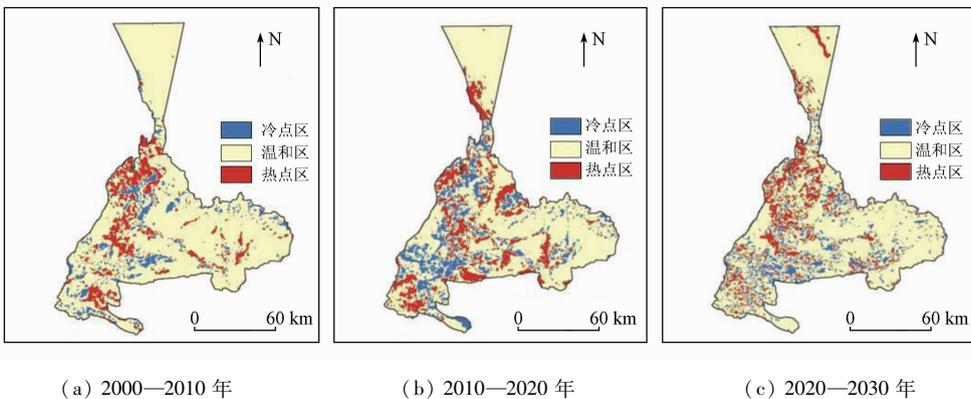


图 6 土地利用冲突冷热点时空演化

Fig. 6 Temporal and spatial evolution of cold and hot spots of land use conflict

### 3.5 土地利用冲突影响因素分析

#### 3.5.1 影响因素选取

土地利用冲突变化主要受到自然和人文因素共同影响,参照已有研究<sup>[23]</sup>与研究区实际情况,选取4个自然因子(图7),其中,高程、坡度因子主要用于反映地形状况对其分布的影响,斑块密度来主要

用于表征景观破碎度其分布的影响,距河流距离反映水资源格局对其形成变化的影响。选取4个人文因子(图8),其中,距区县距离、距道路距离主要用于反映人类活动的影响,GDP、地均人口主要用于反映研究区经济发展水平的影响。

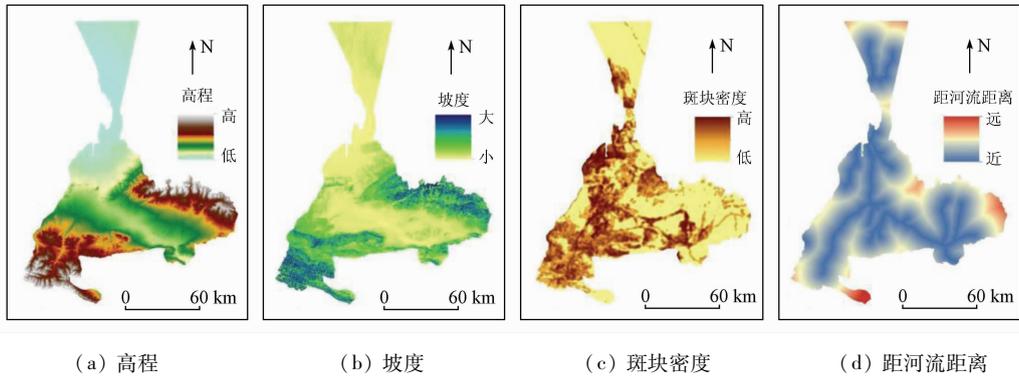


图7 自然环境驱动因子格局分布

Fig.7 Pattern distribution of natural environment driving factors

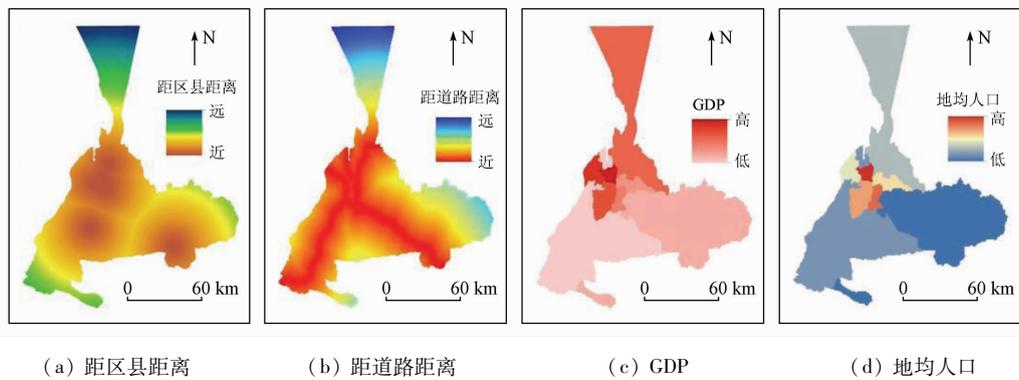


图8 社会经济驱动因子格局分布

Fig.8 Distribution pattern of socio-economic driving factors

#### 3.5.2 因子探测结果

结果表明,自然因子中的斑块密度  $q$  值最大(0.763 3),因此是土地利用冲突空间分异的自然主导因素,即景观破碎度在随着斑块密度增大而变大的同时,也使得土地利用冲突加重(表3)。社会因

子中的地均人口  $q$  值接近 0.1,在影响土地利用冲突空间分异的因素中位居第二,即随着人口规模扩大,对土地资源尤其是对建设用地的需求,造成了土地利用冲突水平提高。

表3 土地利用冲突的因子探测结果

Tab.3 Factor detection results of land use conflict

因子指标	斑块密度	地均人口	GDP	坡度	高程	距区县距离	距河流距离	距道路距离
$q$ 统计量	0.763 3	0.092 6	0.077 7	0.069 7	0.057 8	0.046 7	0.035 8	0.034 8
$p$ 值	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0

#### 3.5.3 交互探测结果

结果表明,任意两因子对土地利用冲突的交互作用效果均大于其他单因子的作用值(表4),即土地利用冲突空间分异是多种因子共同作用的结果,增强类型主要为非线性增强和双因子增强。具体而言,除高程  $\cap$  距河流距离、距河流距离  $\cap$  距道路距离

之间存在非线性增强的关系(数据加#处),其余因子之间皆存在着双因子增强(数据加\*处)关系。其中,高程与斑块密度交互作用对土地利用冲突的影响最强,影响度为 80.63%,也就意味着高程和斑块密度是研究区土地利用冲突的主要驱动因素;其次则为斑块密度  $\cap$  地均人口( $q$  值为 0.795 6)、斑块

密度 $\cap$ 距道路距离( $q$  值为 0.787 6)。总体而言,斑块密度与其他因子的交互作用力远高于任意因子之

间的交互作用力;地均人口与其他因子交互作用的解释力均大于 12.67%。

表 4 土地利用冲突的交互探测结果<sup>①</sup>

Tab. 4 Interactive detection results of land use conflict

因子	斑块密度	高程	距河流距离	坡度	距区县距离	距道路距离	GDP	地均人口
斑块密度	0.763 3							
高程	0.806 3 *	0.057 8						
距河流距离	0.767 7 *	0.098 7#	0.035 8					
坡度	0.781 3 *	0.104 8 *	0.096 9 *	0.069 7				
距区县距离	0.785 4 *	0.091 9 *	0.080 8 *	0.115 3 *	0.046 7			
距道路距离	0.787 6 *	0.092 2 *	0.096 4#	0.104 1 *	0.065 9 *	0.034 8		
GDP	0.785 6 *	0.131 6 *	0.112 7 *	0.131 7 *	0.114 9 *	0.108 1 *	0.077 7	
地均人口	0.795 6 *	0.161 6 *	0.128 3 *	0.161 7 *	0.134 9 *	0.126 7 *	0.164 9 *	0.092 6

①:表中加\*的交互作用为双因子增强,加#则为非线性增强,无标记代表无显著差异。

## 4 讨论

研究区三面环山且山地、丘陵和荒漠等地形分布范围较广,使得无冲突和轻度冲突空间占比较大。但在面积有限的平原人工绿洲区,重度、高度冲突占比却持续增长,甚至在预测年份的 2030 年达到近 19%,这与王珊珊等<sup>[24]</sup>研究结果一致。

在此过程中,尤其需要关注耕地的变化。《第三次全国国土调查主要数据公报》数据表明,全国现有耕地  $1.279 \times 10^8 \text{ hm}^2$ ,相比“二调”数据减少了  $10.53 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。新疆维吾尔自治区“三调”耕地与“二调”相比,虽净增加了  $1.92 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ,但建设用地总量较“二调”时增幅达 33.14%。参照《乌鲁木齐市土地利用总体规划(2006—2020 年)》来看,2020 年研究区耕地面积  $7.46 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,虽高于耕地保有量  $5.64 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,但自 2000 年以来,包括至预测年份 2030 年却持续下降,若叠加城镇工矿和基础建设的扩展需要,研究区未来耕地“占补平衡”任务仍十分艰巨。

就各地类空间分布及变化的单因子探测结果而言,斑块密度因子很好解释了,由于研究区耕地和建设用地大部分分布在地势较为平坦、水资源相对丰富的中部绿洲平原区,其较高的耕地覆盖率和较快的建设用地增长,必然导致土地利用冲突的高发。交互探测结果中斑块密度与其他因子的交互作用力远高于任意因子之间的交互作用力,也在一定程度上表明,研究区独特的地貌特征决定了土地利用冲突的空间分布。但地均人口、GDP 这 2 个因子与其他因子交互作用解释力均大于 10%,远高于除斑块密度外其他因子,则在一定程度上折射出社会人文因素在研究区土地利用冲突中的内在主导作用远高于自然因素。

因此,未来仍应高效集约利用生活、生产功能用

地,提高其社会效益、经济效益和生态效益。宏观全域层面,可划分山地森林生态保护区、山前丘陵森林草地生态敏感区、绿洲农业生态建设区、荒漠沙漠生态恢复区“四区”,对其中土地破坏、荒漠化严重地区开展土地整治工作。在此基础上,可在内部进一步划定优先保护、重点管控和一般管控 3 类环境管控单元,实施分类管控。其中,优先保护单元,应严格执行相关法律法规要求,严守生态环境质量底线,确保生态功能不降低。重点管控单元,应着力优化空间布局,不断提升资源利用效率,有针对性地解决生态环境质量不达标、生态环境风险高等问题。一般管控单元,应主要落实生态环境保护基本要求,推动区域环境质量持续改善。

微观城市建设层面,主要针对城镇建成区、工业园区和开发强度大、污染物排放强度高的工业聚集区等,在严格划定“三条红线”的基础上制定国土空间规划。同时,对城市不同区域划分为重点开发区、适度开发区、生态保护区和禁止开发 4 个等级,为未来城市发展的方向奠定基础。在此基础上,可充分考虑乌鲁木齐市产业类型及主要环境问题,结合市域总体性、普适性产业政策,从空间布局约束、污染物排放管控、环境风险防控和资源利用效率等方面,针对性制定生态环境准入清单。

## 5 结论

以乌鲁木齐市为研究对象,对 2000 年、2010 年、2020 年,以及模拟预测的 2030 年土地利用特征进行分析,探讨了各发展阶段研究区土地利用变化及其空间冲突特征。主要结论如下:

1)2000—2020 年研究区土地利用格局呈“三升三降”变化趋势,即建设用地、林地和水域面积增加,草地、耕地、未利用地面积减少。土地利用程度综合指数皆处于中低利用程度,但整体始终呈上升

趋势,2030年各地类面积虽仍保持该变化趋势,但“三降”减少幅度有所放缓。

2)2000—2030年间土地利用冲突空间变化显著。无冲突、轻度冲突区面积占比最大,仅中度冲突区面积呈正态分布,高度、重度冲突区逐年增加,且高度冲突区增幅最大。

3)2000—2010年,土地利用冲突热点区集中分布于中心城区北及西南部。2010—2020年,热点区范围蔓延至南部、北部山区林地周边及达坂城区盐湖两侧冲积扇附近。2020—2030年热点区仍主要分布在建设用地周边及山区林地附近,但山区的热点区明显减少。

4)单因子影响结果中,居前三位的分别是斑块密度、地均人口和GDP。交互探测影响结果中,斑块密度与其他因子的交互作用力远高于任意因子之间的交互作用力,解释力均高于79%;其次是地均人口与其他因子交互作用,解释力均大于12.67%。土地利用冲突各驱动因子独立作用的 $q$ 值解释力小于两因子交互作用,交互后的结果均为非线性增强或双因子增强。

5)土地利用空间冲突在表现形式、分类形式、演变特征、形成原因等方面,涉及因素极为复杂。本文根据土地利用冲突理论和研究区实际情况提出的空间冲突方法,仍存在一定的主观性。因此,后期不仅要对其评估指标体系继续完善,还需进一步针对其调控机理与模式进行深入探讨。

## 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 S, Meng J J. Process of land use conflict research: Contents and methods[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(3): 877-887.
- [2] 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.
- [3] Roehl W S, Fesenmaier D R. Tourism land use conflict in the United States[J]. Annals of Tourism Research, 1987, 14(4): 471-485.
- [4] Campbell D J, Gichohi H, Mwanqi A, et al. Land use conflict in Kajiado District, Kenya[J]. Land Use Policy, 2000, 17(4): 337-348.
- [5] Cortina-Villar S, Plascencia-Vargas H, Vaca R, et al. Resolving the conflict between ecosystem protection and land use in protected areas of the Sierra Madre de Chiapas, Mexico[J]. Environmental Management, 2012, 49(3): 649-662.

- [6] Ioans I, Sorensen A, Merciu C. Incoherence of urban planning policy in Bucharest: Its potential for land use conflict[J]. Land Use Policy, 2017, 60: 101-112.
- [7] Kim I, Arnhold S. Mapping environmental land use conflict potentials and ecosystem services in agricultural watersheds[J]. The Science of the Total Environment, 2018, 630: 827-838.
- [8] 杨国安,甘国辉. 基于分形理论的北京市土地利用空间格局变化研究[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 24(10): 131-137.  
Yang G A, Gan G H. Landscape pattern change research of land use in Beijing based on fractal theory[J]. Systems Engineering Theory and Practice, 2004, 24(10): 131-137.
- [9] 黎家琦,武雪玲,唐诗怡. 压力-状态-响应模型下的生态敏感性分析算法[J]. 测绘科学, 2020, 45(11): 75-83, 106.  
Li J Q, Wu X L, Tang S Y. Algorithm of analysis of eco-environmental sensitivity based on the pressure-state-response model[J]. Science of Surveying and Mapping, 2020, 45(11): 75-83, 106.
- [10] 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 L H, Dai W Y, Chen J, et al. Spatial conflict between ecological-production-living spaces on Pingtan Island during rapid urbanization[J]. Resources Science, 2017, 39(10): 1823-1833.
- [11] 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.
- [12] 李传昌,雍新琴. 基于国土空间开发适宜性的冲突空间识别与分析[J/OL]. 自然资源情报, 2022: 1-8. (2022-09-22). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1798.N.20220920.1732.027.html>.  
Li C C, Yong X Q. Recognition and analysis of spatial conflict based on suitability evaluation of land space development[J/OL]. Natural Resources Information, 2022: 1-8. (2022-09-22). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1798.N.20220920.1732.027.html>.
- [13] 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 B H, Lyu C H. The progress and prospect of land use conflicts[J]. Progress in Geography, 2006, 25(3): 106-115.
- [14] 王娟娟,毋兆鹏,王珊珊,等. 干旱区河谷绿洲土地利用冲突格局分析[J]. 自然资源遥感, 2021, 33(4): 243-251. doi:10.6046/zyzyyg.2021044.  
Wang J J, Wu Z P, Wang S S, et al. An analysis of the pattern of land-use conflicts in valley oases in arid areas[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2021, 33(4): 243-251. doi:10.6046/zyzyyg.2021044.
- [15] 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 of the land use conflict and mitigation mechanism during the urbanization in China[J]. China Popu-

- lation, *Resources and Environment*, 2013, 23(s2): 388–392.
- [16] 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 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(6): 717–723.
- [17] 徐馨裔, 刘志有, 董露, 等. 国土空间规划视角下产业结构与土地利用结构相互关系研究——以新疆乌鲁木齐市为例[J]. *生态经济*, 2020, 36(4): 69–74.  
Xu X Y, Liu Z Y, Dong L, et al. Research on the mutual relationship between industrial structure and land utilization structure from the perspective of national land space planning: Taking Urumqi of Xinjiang as an example[J]. *Ecological Economy*, 2020, 36(4): 69–74.
- [18] 桑潇, 国巧真, 潘应阳, 等. 基于TM和OLI数据山西省潞城市土地利用动态变化分析与预测[J]. *国土资源遥感*, 2018, 30(2): 125–131. doi:10.6046/zyzyyg.2018.02.17.  
Sang X, Guo Q Z, Pan Y Y, et al. Research on land use dynamic change and prediction in Lucheng City of Shanxi Province based on TM and OLI[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2018, 30(2): 125–131. doi:10.6046/zyzyyg.2018.02.17.
- [19] 李乃强, 徐贵阳. 基于自然间断点分级法的土地利用数据网格化分析[J]. *测绘通报*, 2020(4): 106–110, 156.  
Li N Q, Xu G Y. Grid analysis of land use based on natural breaks (jenks) classification[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2020(4): 106–110, 156.
- [20] 彭佳捷. 基于生态安全的长株潭城市群空间冲突测度研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2011.  
Peng J J. The analysis of spatial conflict measurement in Chang-Zhutan urban agglomeration based on ecological security[D]. Changsha: Hunan Normal University, 2011.
- [21] 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 J F, Xu C D. Geodetector: Principle and prospective[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116–134.
- [22] Liu X P, Liang X, Li X, et al. A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 168: 94–116.
- [23] 张金茜, 巩杰, 柳冬青. 地理探测器方法下甘肃白龙江流域景观破碎化与驱动因子分析[J]. *地理科学*, 2018, 38(8): 1370–1378.  
Zhang J X, Gong J, Liu D Q. Dynamics and driving factors of landscape fragmentation based on geo detector in the Bailongjiang watershed of Gansu Province[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(8): 1370–1378.
- [24] 王珊珊, 毋兆鹏. 基于生态安全的乌鲁木齐市土地利用冲突识别[J]. *湖北农业科学*, 2022, 61(1): 46–53.  
Wang S S, Wu Z P. Identification of land use conflicts based on ecological security in Urumqi City[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2022, 61(1): 46–53.

## Changes and spatial conflict measurement of land use in Urumqi City

TIAN Liulan<sup>1</sup>, LYU Siyu<sup>1</sup>, WU Zhaopeng<sup>1,2</sup>, WANG Juanjuan<sup>1</sup>, SHI Xinpeng<sup>1</sup>

(1. School of Geographic Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China; 2. Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Region of Xinjiang, Urumqi 830054, China)

**Abstract:** Identifying land use conflicts holds critical significance for sustainable socio-economic development and ecological civilization construction. Since Urumqi City is situated in the core region of the Silk Road Economic Belt, investigating the causes and manifestations of its land use conflicts arising from urban development, oasis agriculture, and ecological environment becomes an urgent and necessary task. With Urumqi as the study area, this study analyzed its land use characteristics in 2000, 2010, and 2020, as well as those in 2030 simulated from the FLUS model. Based on this analysis and the pressure-state-response (PSR) model, a land use conflict intensity measurement model was constructed to evaluate the land use conflicts over the four periods. Finally, a geographic detector was employed to quantitatively analyze the factors driving land use conflicts in the study area. The findings indicate that: ① The land use between 2000 and 2030 exhibited significant spatial differentiation, showing increased construction land, forest land, and water areas, but decreased grassland, arable land, and unused land; ② The comprehensive indices of land use indicate low to medium utilization degrees but an overall rising trend, suggesting land use in a development stage; ③ Significant spatial changes occurred in land use conflicts between 2000 and 2030. The conflict-free and mild conflict zones occupied the largest proportions, the moderate conflict zones showed normal distributions, and severe and high-level conflict zones increased annually, with the highest increase observed in high-level conflict zones; ④ From 2000 to 2010, the hotspots of land use conflicts were distributed primarily in the north and southwest of the central urban area. From 2010 to 2020, they spread to the periphery of forest land in the southern and northern mountainous areas, and the areas near the alluvial fans on both

sides of the salt lake in the Dabancheng District. From 2020 to 2030, the hotspots are still mainly located around the land for construction and near the forest land in mountainous areas but significantly decreased in the mountainous areas; ⑤ As demonstrated by one-way influence analysis of spatial differentiation drivers on land use conflicts, the influences of factors are in the order of patch density > population density > GDP > slope > elevation > distance from districts and counties > distance from rivers > distance from roads. Additionally, the interaction detection analysis indicates (patch density  $\cap$  elevation) > (patch density  $\cap$  average land population) > (patch density  $\cap$  distance from roads). This study serves as a reference for effectively managing the conflicting demands between economic development and ecological conservation in Urumqi and enhancing the future land use composition.

**Keywords:** FLUS model; land use change; land use conflict; geographical detector; Urumqi

(责任编辑: 李 瑜)