

基于逻辑回归的重庆市城镇开发边界划定及影响因素分析*

王月, 郭恩雪, 张虹, 孙德亮

(重庆师范大学地理信息系统应用研究重庆市高校重点实验室, 重庆 401331)

摘要:【目的】为控制城镇蔓延和保护生态空间格局,研究划定重庆市城镇开发边界,这对城镇规划与空间扩展具有重要现实意义。【方法】结合工程地质、水域环境、生态与农业、交通建设、社会经济共5类因子以及下属的12个二级因子构建城镇开发边界的划定体系;以2015年重庆市土地利用类型为基准,运用逻辑回归模型模拟未来城镇用地,基于评价结果划定2030年重庆市城镇开发边界并进行精度评价;运用地理探测器对城镇开发边界划定的影响因素进行因子分析和交互探究。【结果】逻辑回归模型划定2030年重庆市城镇开发边界为3 334.82 km²,初步构建了都市区城乡一体、协调发展的格局。模拟预测精确度和召回率分别位于0.8、0.7以上;准确率和Kappa系数分别为0.994、0.806;测试、训练和全体数据的AUC值均在0.95以上。其次,因子探测中的首位因子为夜间灯光数据和GDP数据。【结论】基于逻辑回归模型划定的城镇开发边界符合规划要求。重庆市内各区域发展差距较大,未来的城镇扩展预测规模:都市区最大,其次为一小时经济圈(除都市区),再次渝东北,最小的为渝东南地区,形成“多中心组团式”发展格局,体现了区域协同、高效发展。

关键词: 重庆市;城镇开发边界;逻辑回归;地理探测器

中图分类号: X24;F292

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2020)05-0059-14

改革开放以来,经济建设推进了中国城镇化的快速发展,一系列资源环境问题也随之而来^[1]。城镇开发边界(UGB)是限定城市无限蔓延的有效工具,提供城镇发展可控范围,以达到协调经济建设和生态空间格局的作用^[2]。城镇开发边界最早于20世纪70年代在美国波兰特规划中实施,主要基于农用地等级和城市发展影响因子综合划定,约束城市发展规模和边界^[3],这种方法已被诸多国家运用到城市管理实践中^[4-6]。在中国的国土空间规划中,城镇开发边界的划分也积累了较多经验和方法。由于城镇开发边界存在多元化的目标和功能,学术界形成了大致两种技术方法:初期是基于土地适宜性评价,以层次分析法^[7]、城市适应性评价^[8-9]、空间要素整合法^[10]为主;而后随着计算机科学的发展,形成了基于地理模拟算法与模型的划定方法,以元胞自动机^[11-12]、改进后元胞自动机(FLUS模型)^[13-14]、GNN-CA模型^[15]、最小阻力模型^[16]、ABM模型^[17]为主。近些年来,随着计算机技术研究深入,机器学习得到迅速发展;它是从已有样本数据中获取模式,基于模式进行预测为原理。逻辑回归模型作为机器学习的模型之一,它的方法客观、数学计算严密,相较于一般线性回归、GNN-CA模型、元胞自动机等模拟算法,它在变量和正态假设等方面更加简单且高效,目前已被成功应用于土地利用预测^[18]、网络异常流量挖掘^[19]、医学文本词提取^[20]、滑坡易发性区划^[21]、城市扩展模拟^[22]等研究领域。例如,吴楷钊等人^[18]建立了基于空间的逻辑回归模型,对新堡市土地利用变化进行预测,该方法较普通指数模型的精度提高14%;姜文亮等人^[22]采用优化组合模型和逻辑回归模型对深圳市龙岗区2006—2008年的城市规模和扩展进行模拟,预测精度均在60%左右。然而,目前的城镇开发边界划定研究还有待改进:1)逻辑回归在划定城镇开发边界领域的研究还比较少且预测精度有待提高;2)目前的研究主要针对城镇开发边界的划定及结果分析,而对划定结果合理性的定量检验还不足;3)在对城镇开发边界划定中,影响因素的重要性程度以及各因素之间的协同作用较为缺乏。

重庆市地处中国西南地区、三峡库区腹地,全市面积约为 8.24×10^4 km²,是中国重要的中心城市。作为中国西南唯一的直辖市、西南地区的综合交通枢纽,重庆市在西部大开发的战略布局中,始终居于重要地位。并且“一带一路”和长江经济带建设将为重庆市发展带来新优势,重庆市也基本形成了现代农业和工业、智能交通和

* 收稿日期:2020-05-16 修回日期:2020-07-03 网络出版时间:2020-10-12 9:59

资助项目:国家自然科学基金(No. 41807498);重庆市教育委员会科技项目(No. KJQN201800525)

第一作者简介:王月,女,研究方向为城镇规划、大数据与地质灾害,E-mail: 1915384185@qq.com;通信作者:张虹,女,副教授,博士,E-mail: zh_anh@cqnu.edu.cn

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20201011.1053.002.html

物流并存的经济地位^[23]。重庆市地处中国地势二、三级阶梯的过渡地带,区域内地形起伏度较大,以盆中方山丘陵、川东平行岭谷和盆周山地为主。这种特殊的山地环境,使得城镇发展与生态文明、农业生产之间的矛盾日益突出。近些年来,由于城镇建设跨越天然地势阻拦并不断向外围扩张,由此导致空间占地日趋严重,造成大气、土地、水等环境污染,威胁库区生态环境安全,产生热岛效应,降低城镇人居适宜度。2015 年年末重庆市常住人口 3 016.55 万人,其中城镇人口 1 838.41 万人,城镇化率达到 60.94%。《重庆市城乡总体规划(2007—2020 年)》指出:“坚持分类指导原则,着力建设都市区,加快培育大城市和区域性中心城市,重点发展中小城市和有条件的建制镇,推进城镇协调、可持续发展”。因此,重庆市作为长江上游生态屏障的最后一道关口,划定城镇开发边界对明确城镇发展方向,保护三峡库区生态环境安全和推进城镇化发展方针具有重要意义。

基于上述背景,本文以重庆市为研究对象,根据“多规合一”和“三线三区”的要求,引入生态保护红线和基本农田保护红线作为城市发展限制因子,构建基于高程、坡度、夜间灯光、人口、GDP 等 12 个城镇发展影响因子地理空间数据库,利用逻辑回归模型预测重庆市未来城镇用地并分区评价,分析空间格局与分布规律,最终划定 2030 年重庆市城镇开发边界;同时,还运用混淆矩阵、Kappa 系数和 ROC 曲线验证模型预测精度;此外,考虑到影响城市用地的划定涵括人类活动和生存环境的诸多因素且存在首要因子作用以及因子间相互作用的差异性,运用地理探测器探测、分析城镇开发边界空间分异的主导因子及交互作用,从而为重庆市城镇规划与发展提供理论参考。

1 数据与方法

1.1 数据来源

本文所涉及的数据均以 2015 年为基准,数据来源、类型和精度如表 1 所示。

表 1 数据及数据来源
Tab. 1 Data and data sources

| 数据名称 | 数据来源 | 类型 | 精度 |
|-------|---|----|-------------|
| DEM | ASTER 卫星 | 栅格 | 30 m×30 m |
| 地质资料 | 国家地质资料数据中心 | 栅格 | 1 : 250 000 |
| 土地利用 | 国家地球系统科学数据中心(http://www.geodata.cn) | 矢量 | 1 : 100 000 |
| 行政区划 | 国家地球系统科学数据中心 | 矢量 | 1 : 100 000 |
| 河网湖泊 | 国家地球系统科学数据中心 | 矢量 | 1 : 250 000 |
| 道路 | 国家地球系统科学数据中心 | 矢量 | 1 : 250 000 |
| 基本农田 | 重庆市国土空间规划阶段性成果 | 栅格 | 1 : 250 000 |
| 公益林 | 生态功能区划研究成果 | 矢量 | 1 : 250 000 |
| 自然保护区 | 生态功能区划研究成果 | 矢量 | 1 : 250 000 |
| 风景名胜 | 生态功能区划研究成果 | 矢量 | 1 : 250 000 |
| 生态红线 | 重庆市国土空间规划阶段性成果 | 矢量 | 1 : 250 000 |
| 夜间灯光 | 美国国家地球物理数据中心(https://ngdc.noaa.gov) | 栅格 | 1 km×1 km |
| GDP | 中国科学院资源环境科学数据中心(http://www.resdc.cn) | 栅格 | 1 km×1 km |
| 人口 | 中国科学院资源环境科学数据中心 | 栅格 | 1 km×1 km |

1.2 指标体系

城镇开发边界划定与生态环境和社会经济环境密切相关,客观地把握驱动城镇与限制城镇发展的主导因子及变化特征是识别城镇扩展的动力机制,分析时空差异特征的基础^[24]。研究从重庆市实际出发,分析影响城市空间拓展的正向因素和逆向因素,并参考相关文献^[25-26],最终确定工程地质(高程、坡度、断层)、水域环境(河流、湖泊和水库)、生态与农业(基本农田、公益林、自然保护区和风景名胜)、交通建设(高速公路、铁路、国道、省道)、

社会经济(夜间灯光、GDP数据、人口)共5类一级影响因子和12个二级影响因子,构建重庆市城镇开发边界评价体系,基于逻辑回归模型计算城镇用地转化为非城镇用地的概率,从而划定城镇开发边界。影响因子依据自身数据特点,获取路径也不尽相同^[27]。其中,坡度由DEM在ArcGIS 10.4软件中生成;断层由1:250 000地质图数字化获得;道路包含重庆市高速公路、主要公路和铁路;距断层距离、距水系距离、距交通距离、距湖泊水库距离、距基本农田距离、距公益林距离、距自然保护区和风景名胜距离均基于欧氏距离计算生成。以往的研究多以分级分类后的指标数据作为建立模型的基础,普遍存在分级标准的差异性和争议性,且目前没有统一的标准,因此主观性分类的可能性比较大,从而影响结果的准确性。为了避免以上问题,本文直接采用指标数据原始的连续值作为建模数据。另外,为了方便运算,将所有因子采用Albers等积投影,且重采样为500 m×500 m栅格数据(图1)。为消除不同因子量纲的影响,对12个因子的原始数值做归一化处理,使数值全部归一到[0,1]之间,归一化公式为:

$$X^* = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}},$$

其中: X^* 为归一化后的数据; X 为原始数据; X_{\min} 为数据最小值; X_{\max} 为数据最大值。

1.3 逻辑回归模型

逻辑回归(Logistic regression, LR)模型是经典的机器学习方法之一。它基于Sigmoid函数构建线性回归,通常用于解决二分类(因变量 $p=1,0$)的多元量化分析问题,借助该模型可探讨影响因子并定量分析事件发生的概率。相较于支持向量机和神经网络模型,逻辑回归模型在训练和识别时间上均有很大优势^[28]。基于该模型,城镇空间扩展概率和12个自变量间关系可表示为:

$$\lg P = Z = C + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \cdots + B_n X_n,$$

$$P = \frac{e^Z}{1 + e^Z},$$

其中: c 为模型的截距,表示无所选指标因子条件下城镇空间发展概率的误差值; B_1, B_2, \cdots, B_n 为逻辑回归系数, X_1, X_2, \cdots, X_n 为指标因子, P 为城镇空间扩展概率,位于[0,1]之间。当 P 接近1,表明该点城镇发展潜力大;当 P 接近0,表明该点的城镇发展潜力小。

1.4 地理探测器

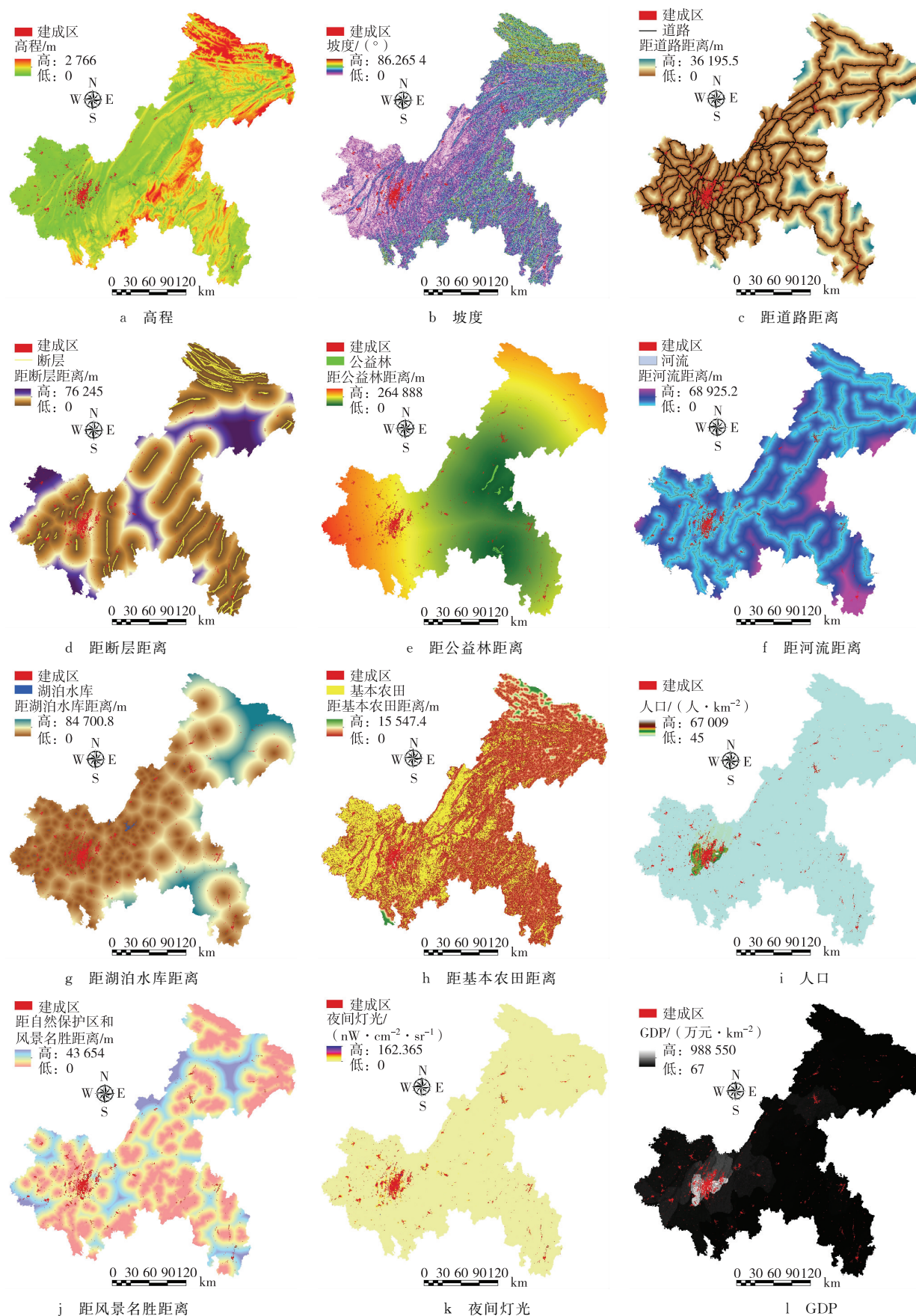
地理探测器是王劲峰等人^[29]提出的一种基于空间方差分析理论的统计学方法。它可探测影响因子的空间分异程度,也可以通过检验两个变量空间分布的耦合性来探测两变量之间可能的因果关系,包含因子探测器、风险探测器、交互作用探测器和生态探测器4个模块。其中,因子探测器是基于 q 值探测因子对城镇开发边界划定的贡献程度;交互探测器探测因子之间对城镇开发边界划定的交互作用,通过比较 $q(X_1), q(X_2), q(X_1) + q(X_2), q(X_1) \cap (X_2)$ 之间的大小来确定因子之间关系(表2)。本文运用以上两个模块对重庆市城镇发展的12个因子进行定量分析,获得各影响因子相对贡献率以及各因子间交互关系。因子探测公式为:

$$q = 1 - \frac{1}{N\sigma^2} \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2,$$

其中: q 是度量指标,位于[0,1]之间,值越接近1表明对城镇开发边界划定的贡献率越大; h 为指标分级数目; N_h, N 分别为第 h 级数量和某一指标全部数量; σ_h^2, σ^2 分别为第 h 级和全区的方差。

2 城镇开发边界划定

基于逻辑回归的重庆市城镇开发边界划定的技术路线主要包括5个步骤。第1步:训练前数据准备,首先划分重庆市2015年土地利用为城镇用地(1)和非城镇用地(0),选取12个影响因子构建重庆市城镇开发边界评价体系并进行归一化处理,结合城镇用地和非城镇用地进行共线性诊断,为模型训练做准备;第2步:模型训练,以归一化后的影响因子为自变量,城镇用地(1)和非城镇用地(0)为因变量,基于R studio软件建立逻辑回归模型计算每一个样本数据向城镇用地转换的概率;第3步:城镇用地评价结果及分区:将训练结果导入ArcGIS 10.4软件绘制、分区形成重庆市城镇用地评价结果;第4步:城镇开发边界划定:在城镇用地评价结果上,依据分区等级划定城镇开发边界;第5步:模型精度评价:运用混淆矩阵、Kappa系数和ROC曲线评价逻辑回归模型的预测精度。具体的技术路线如图2所示。



注:底图来源于中华人民共和国自然资源部网上政务服务平台(<http://www.mnr.gov.cn/fw/ywtb/>),审图号:渝 S(2019)045 号;下同

图 1 城镇开发边界划定影响因子专题图

Fig. 1 Thematic map of influencing factors for the delineation of urban growth boundaries

表 2 两个自变量对因变量交互作用类型

Tab. 2 Types of interaction between two independent variables and dependent variables

| 判据 | 交互类型 |
|---|----------|
| $q(X_1 \cap X_2) < \min(q(X_1), q(X_2))$ | 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 |

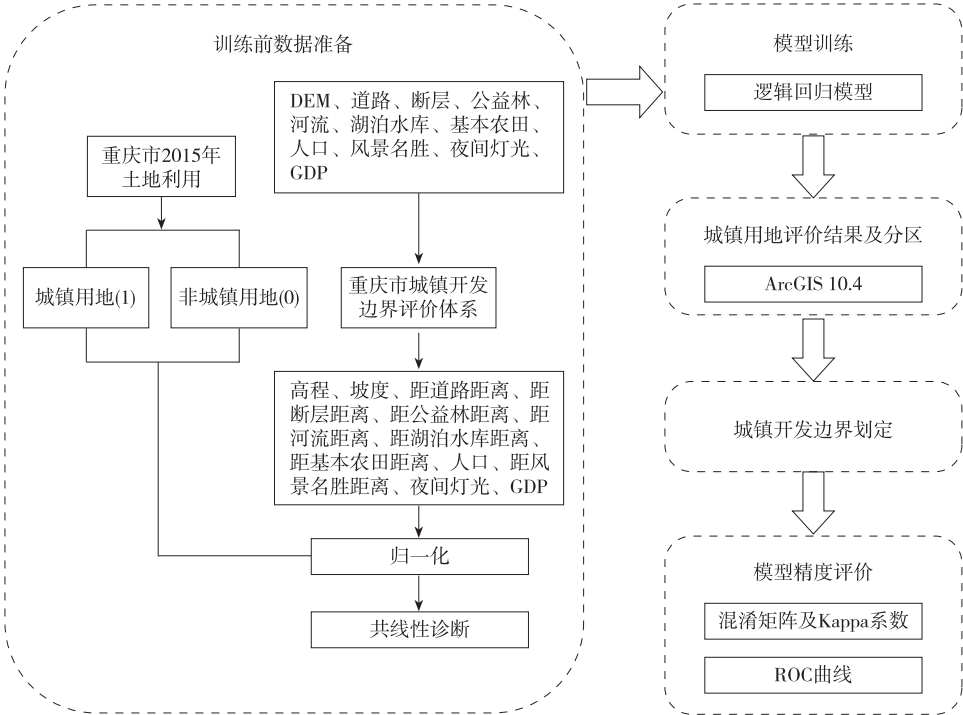


图 2 基于逻辑回归的城镇开发边界划定技术路线

Fig. 2 Demarcating technical route of urban growth boundary based on logistic regression

2.1 模型训练

以 2015 年重庆市土地利用为基础,剔除水域后,划分为城镇用地与非城镇用地,分别作为正负样本(1 和 0)构建数据集。由于影响因子之间可能存在多元共线性,会给逻辑回归带来严重偏差^[30],因此首先对因子进行共线性诊断。容忍度(TOL)与方差膨胀因子(VIF)乘积等于 1,是反映因子共线性严重程度的常用指标。一般来说,当 VIF 大于或等于 10,或者 TOL 小于或等于 0.1,表明影响因子间共线性程度高,不满足建模条件^[31]。本文基于 R studio 软件对 12 个影响因子进行多重共线性诊断。结果如表 3 所示,人口和夜间灯光未通过共线性检验(VIF 大于或等于 10),先剔除人口因子后再次检验,显示所有因子 VIF 均为 1 左右,满足建模条件,因此将剩余的 11 个因子进入模型训练。

2.2 结果分析

2.2.1 城镇用地评价结果及分区 根据模型训练结果,城镇用地评价的概率值越高,越容易发展为城镇用地。因此,基于 ArcGIS 10.4 软件,通过分布格局和地理区位等因素,模拟出研究区内城镇用地;并依据《中华人民共和国城乡规划法(2008 版)》,将城镇用地划分适宜建设区(1~0.157)、一般限建区(<0.157~0.054)、严格限建区(<0.054~0.006)和禁止开发区(<0.006~0)共 4 区,从而获得重庆市城镇用地评价结果(表 4,图 3)。适宜建设区具备承载城镇建设活动的基本条件、用地集中度高且具有良好的区位优势,主要位于地势低缓的川东平行岭谷都市区,因地形限制基本呈现南北条带状分布。在渝东北,渝东南的盆边缘山地,以区县城为中心,呈

现散点式分布;在渝西、渝西南地区,沿盆中方山丘陵呈现网络状分布,面积为 1 815.00 km²,占重庆市土地总面积的 2.20%。一般限建区具备一定程度上的城镇建设活动条件、用地集中度和区位优势度,主要分布在适宜建设区外围、山地丘陵腹地以及河流沿线平坦地区,面积为 1 497.50 km²,占重庆市土地总面积的 1.82%。严格限建区基本不具备城镇建设活动的要求,且用地集中度和区位优势度较差,多分布在众多山脉、自然生态保护区等重点区域的周围,面积为 40 093.50 km²,占重庆市土地总面积的 48.65%。禁止开发区是完全不能进行城镇建设的地区,这些区域用地集中度和区位优势都很差,分布在生态安全和景观格局的重点区域,是保障生态保护红线、基本农田保护红线的最后一道防线,面积为 39 017.75 km²,占重庆市土地总面积的 47.34%。

表 3 因子共线性诊断
Tab. 3 The collinear diagnosis of influencing factors

| 诊断次序 | 影响因子 | TOL | VIF | 诊断次序 | 影响因子 | TOL | VIF |
|-------|----------|-------|--------|-------|----------|-------|-------|
| 第 1 次 | GDP | 0.748 | 1.337 | 第 2 次 | GDP | 0.958 | 1.044 |
| | 距道路距离 | 0.870 | 1.149 | | 距道路距离 | 0.870 | 1.149 |
| | 距断层距离 | 0.963 | 1.038 | | 距断层距离 | 0.963 | 1.038 |
| | 高程 | 0.520 | 1.923 | | 高程 | 0.542 | 1.845 |
| | 距公益林距离 | 0.770 | 1.299 | | 距公益林距离 | 0.832 | 1.202 |
| | 距河流距离 | 0.789 | 1.268 | | 距河流距离 | 0.794 | 1.260 |
| | 距湖泊水库距离 | 0.646 | 1.548 | | 距湖泊水库距离 | 0.690 | 1.449 |
| | 距基本农田距离 | 0.700 | 1.428 | | 距基本农田距离 | 0.700 | 1.428 |
| | 坡度 | 0.726 | 1.378 | | 坡度 | 0.732 | 1.366 |
| | 人口 | 0.043 | 23.096 | | 夜间灯光 | 0.914 | 1.094 |
| | 夜间灯光 | 0.048 | 20.680 | | 距自然保护区距离 | 0.923 | 1.083 |
| | 距自然保护区距离 | 0.922 | 1.085 | | | | |

表 4 城镇用地分区统计
Tab. 4 Urban land zoning statistics

| 分区 | 发展概率 | 面积/km ² | 占土地总面积比/% |
|-------|--------------|--------------------|-----------|
| 适宜建设区 | 1~0.157 | 1 815.00 | 2.20 |
| 一般限建区 | <0.157~0.054 | 1 497.50 | 1.82 |
| 严格限建区 | <0.054~0.006 | 40 093.50 | 48.65 |
| 禁止开发区 | <0.006~0 | 39 017.75 | 47.34 |
| 总和 | 1 | 82 423.75 | 100.00 |

2.2.2 城镇开发边界划定 城镇开发边界的划定是以城镇用地评价结果为基础,在严守生态保护红线、基本农田保护红线的前提下,综合考虑现状城镇用地、未来城镇空间管控弹性等因素。由于城镇开发边界是未来一定时期城市用地的最大边界,以集中连片为优先考虑^[32],剔除研究区零星独立的细小图斑,填补细小孔洞后,整合城镇用地评价结果中的适宜建设区和一般限建区^[33],划定 2030 年重庆市城镇开发边界(图 4)。城镇开发边界在空间上用地集约程度较高,斑块较为完整,总面积为 3 334.82 km²,占全市总面积的 4.05%,与《重庆市国土空间总体规划阶段性成果》基本一致。

从空间上来看(图 3),建成区与城镇开发边界在空间分布上高度一致,重庆市初步构建了都市区城乡一体、协调发展的格局。城镇化进程加快,城乡差距缩小。在主城区的辐射带动作用,郊区及其各区县初步形成了点状和网络状的城镇空间结构。由建成区的空间分布可知,中心城区主要位于中梁山和铜锣山之间,模拟的各

地区城镇用地基本在原有的建成区基础上扩张,其中都市区扩张结果较为明显。城镇拓展方向主要以中心城镇

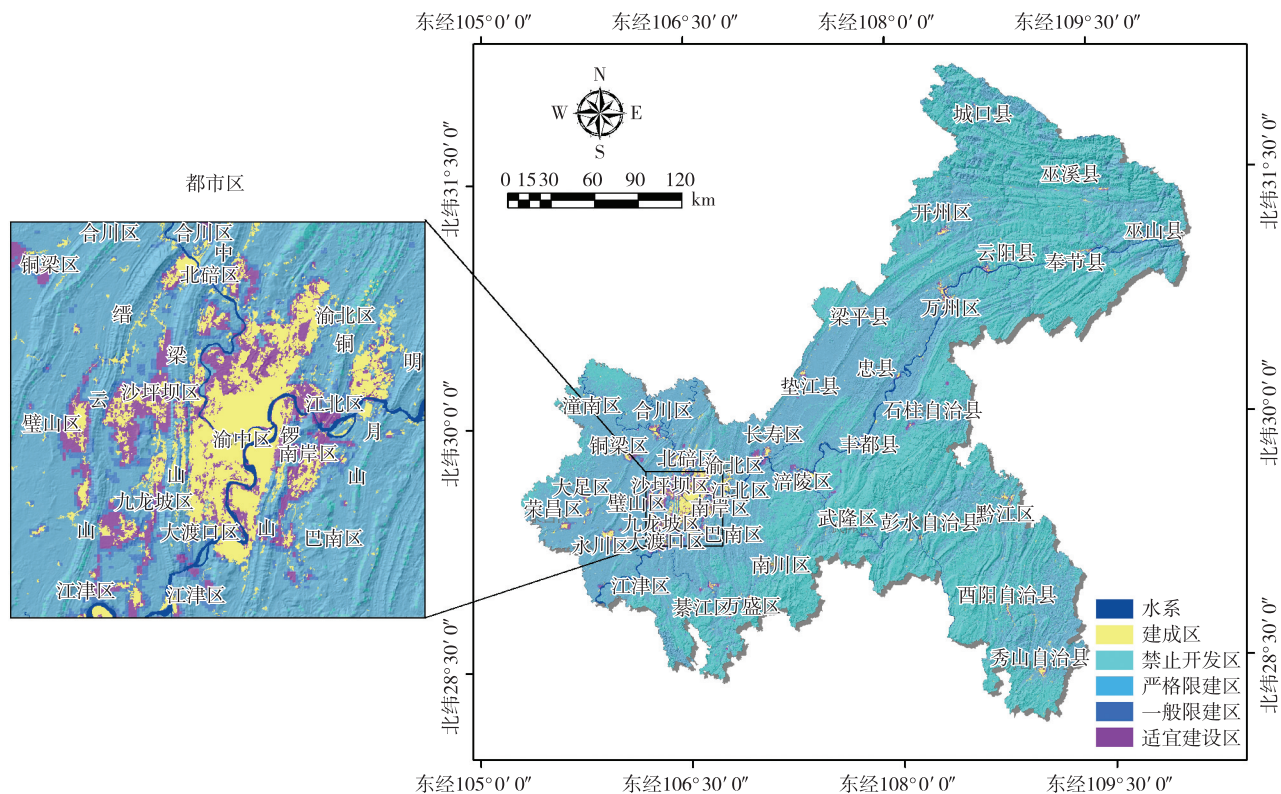


图 3 重庆市城镇用地评价结果

Fig. 3 Evaluation results of urban land in Chongqing

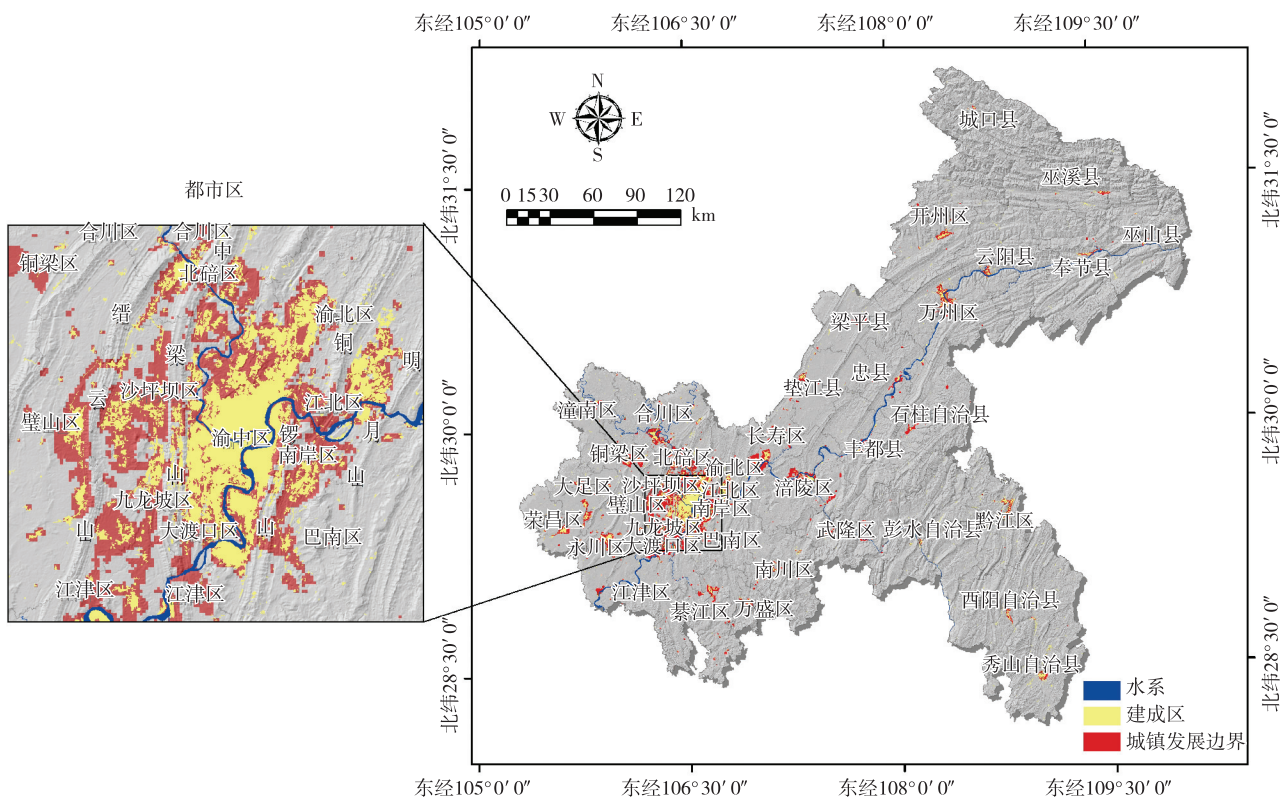


图 4 预计 2030 年重庆市城镇的开发边界

Fig. 4 Urban growth boundary of Chongqing in 2030

以北,中梁山以西以及铜锣山以东,这些区域坡度平缓,地形起伏度不大且均无大断裂带的分布,有利于城镇空间的扩张,这与《重庆市城乡总体规划(2007—2020 年)》规定基本一致。由于重庆市面向 2035 年的城乡总体规划还没正式发布,因此目前的规划方案依然具有重要的参考价值和指导意义。

从数量上来看(表 5),都市区范围内沙坪坝区面积增长最大,为 143.65 km²,其次是渝北区(133.72 km²)、九龙坡区(130.98 km²)。这些区域具备承载城镇建设活动条件、用地集中度高、区位优势明显。在都市区的辐射作用下,一小时经济圈中江津区城镇增长面积占比最大为 162.03 km²、其次是涪陵区(97.11 km²)、璧山区(88.22 km²)等,主要依托水、陆、空一体化综合交通网络,形成网络型的区域空间结构和城镇布局体系。渝东北地区包括万州区、开州区、垫江县、丰都县、忠县、云阳县、奉节县等 11 个区县。万州区的城镇增长面积最大,为 97.20 km²,其次是忠县、丰都县等沿江区县,垫江县、梁平县等地形平坦区县的城镇增长面积均在 20 km² 左右。而巫山县、巫溪县和城口县位于大巴山弧形褶皱带,地质构造复杂,四面都被高山峡谷所围困,交通极度不方便,发展受阻,城镇增长面积仅 2%~5%。总的来看,渝东北主要依托长江以沿江道路建设的轴线发展,形成以万州为核心、开州区和奉节县为主要节点、其他区县为基础的城镇发展区。渝东南地区包括黔江区、秀山土家族苗族自治县、酉阳土家族苗族自治县、石柱土家族苗族自治县、彭水苗族土家族自治县、武隆区等 6 个区、自治县。相比之下,石柱土家族苗族自治县的城镇增长面积最大,为 27.07 km²,其次为武隆区、酉阳土家族苗族自治县等区、自治县,主要由于典型的喀斯特山地地貌使得该地区城镇建设相对困难,扩展幅度小。渝东南整体形成沿乌江、高速公路和铁路的东南线发展轴。

表 5 2015—2030 年重庆城镇开发边界分区统计

Tab. 5 Statistics of urban growth boundary of Chongqing from 2015 to 2030

| 区县名 | 城镇面积/km ² | | 增长/km ² | 区县名 | 城镇面积/km ² | | 增长/km ² |
|------|----------------------|--------|--------------------|------------|----------------------|----------|--------------------|
| | 2015 年 | 2030 年 | | | 2015 年 | 2030 年 | |
| 渝北区 | 197.88 | 331.60 | 133.72 | 彭水苗族土家族自治县 | 11.72 | 21.82 | 10.10 |
| 渝中区 | 18.72 | 23.24 | 4.52 | 綦江区 | 15.59 | 65.85 | 50.26 |
| 巴南区 | 71.24 | 160.83 | 89.59 | 万盛经开区 | 13.80 | 33.18 | 19.38 |
| 北碚区 | 58.78 | 165.07 | 106.29 | 黔江区 | 43.42 | 48.00 | 4.58 |
| 江北区 | 79.07 | 138.74 | 59.67 | 荣昌区 | 21.89 | 57.01 | 35.12 |
| 南岸区 | 79.77 | 168.18 | 88.41 | 石柱土家族自治县 | 6.41 | 33.48 | 27.07 |
| 大渡口区 | 36.62 | 68.51 | 31.89 | 铜梁区 | 24.00 | 89.46 | 65.46 |
| 沙坪坝区 | 92.41 | 236.06 | 143.65 | 潼南区 | 21.01 | 39.76 | 18.75 |
| 九龙坡区 | 91.71 | 222.69 | 130.98 | 万州区 | 13.80 | 111.00 | 97.20 |
| 璧山区 | 32.17 | 120.39 | 88.22 | 巫山县 | 11.83 | 16.25 | 4.42 |
| 城口县 | 2.73 | 4.64 | 1.91 | 巫溪县 | 11.75 | 16.25 | 4.50 |
| 大足区 | 36.01 | 95.24 | 59.23 | 武隆区 | 7.57 | 31.78 | 24.21 |
| 垫江县 | 11.68 | 33.88 | 22.20 | 秀山土家族苗族自治县 | 39.75 | 41.63 | 1.88 |
| 丰都县 | 12.19 | 31.00 | 18.81 | 永川区 | 39.94 | 114.56 | 74.62 |
| 奉节县 | 11.48 | 27.75 | 16.27 | 酉阳土家族苗族自治县 | 23.50 | 39.78 | 16.28 |
| 涪陵区 | 23.89 | 121.00 | 97.11 | 云阳县 | 16.57 | 29.00 | 12.43 |
| 合川区 | 48.43 | 122.96 | 74.53 | 长寿区 | 30.83 | 145.71 | 114.88 |
| 江津区 | 31.83 | 193.86 | 162.03 | 忠县 | 5.13 | 33.50 | 28.37 |
| 开州区 | 29.39 | 48.50 | 19.11 | 南川区 | 21.26 | 39.41 | 18.15 |
| 梁平区 | 17.61 | 41.50 | 23.89 | 合计 | 1 391.64 | 3 334.82 | 1 943.17 |

2.3 模型精度评价

2.3.1 混淆矩阵及 Kappa 系数 精度评价是检验模型可预测性和可靠性至关重要的一步。混淆矩阵用于分析重庆市城镇开发边界划定的精度。表 6 显示了逻辑回归的混淆矩阵结果,城镇和非城镇的预测精确度分别为 0.882,0.996,均大于 0.8,具有较高的精确度。但非城镇的精确度高于城镇的精确度可能是由于非城镇区域较大,样本数量大,因此预测精确度较高。城镇和非城镇的召回率分别为 0.745,0.998,它们之间的差距相对较大,这也可能是由于正负样本数量不平衡导致的。但两者的召回率均高于 0.7,模型都具有较高的性能。实际上,与召回率相比,准确性可以更好地评估模型的性能。因此,本研究主要以准确性作为评价标准,召回率作为参考。总的来说,准确率达到 0.994,说明逻辑回归模型对重庆市的城镇开发边界的预测表现出显著的预测结果。另一方面,Kappa 系数可用于衡量模型的一致性^[34],该系数值在[0.61,0.8]之间表明模型具有高度一致性。通过计算得出 Kappa 系数为 0.806,表明逻辑回归模型具有高度的一致性。

表 6 逻辑回归模型混淆矩阵
Tab.6 Confusion matrix of logistic regression model

| 逻辑回归模型 | | 真实值 | | 精确度 |
|--------|----------|---------|----------|-------|
| | | 城镇用地(1) | 非城镇用地(0) | |
| 预测值 | 城镇用地(1) | 4 172 | 559 | 0.882 |
| | 非城镇用地(0) | 1 427 | 323 336 | 0.996 |
| 召回率 | | 0.745 | 0.998 | |
| 准确率 | | 0.994 | | |

2.3.2 受试者工作特征(Receiver operating characteristic, ROC)曲线 ROC 曲线下方部分的面积(Area under curve, AUC)值也可综合检验和评价逻辑回归模型预测精度^[35],当 AUC 值大于 0.5 且越靠近 1,表明模型预测精度越高。图 5 显示,逻辑回归模型训练样本、测试样本及全体数据 AUC 值分别为 0.961,0.957 和 0.959,均位于 0.95 以上,具有较高的预测精度,进一步说明了逻辑回归模型在重庆市城镇开发边界预测中有着较好的预测性能和应用价值。

3 影响因素分析

3.1 因子探测

分析各影响因子对城镇开发边界划定的贡献率和影响规律,识别主导因素,对控制城镇扩张,约束城镇空间形态,协调资源分配具有重要意义。本研究基于地理探测器,计算 11 个影响因子的贡献率(图 6)。由 q 值统计结果可知,总体上各因子贡献率呈陡降趋势。夜间灯光对城镇边界预测的贡献率最大,达 33.44%,可作为城镇开发边界划定的首位影响因子。夜间灯光数据利用可见光近红外成像,可反映一个地区经济发展的真实情况^[36];其次 GDP 是城市经济发展状况最直接的体现,贡献率为 9.67%;距河流距离、距道路距离、高程和坡度的重要性程度均为 2%左右;而距湖泊水库距离、距离基本农田等因子贡献率均小于 1%,对城镇

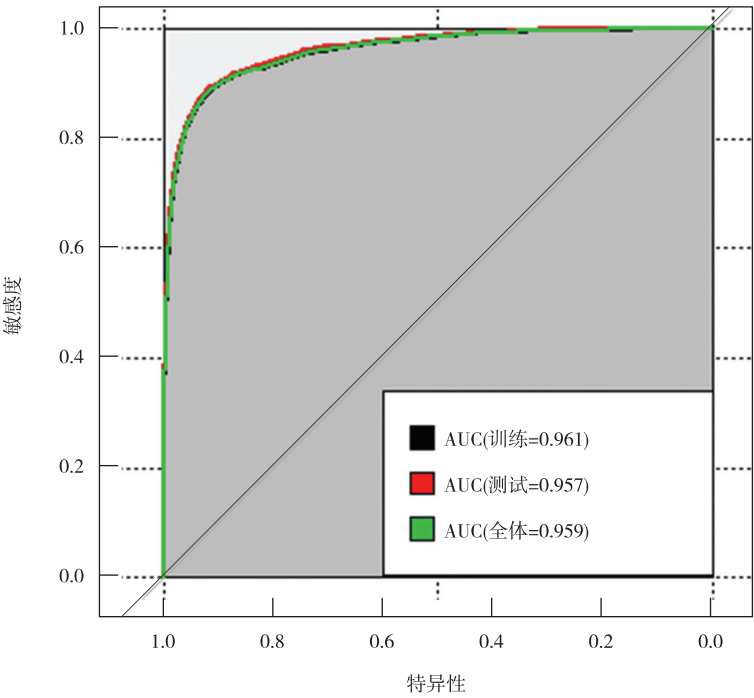


图 5 ROC 曲线及 AUC 值
Fig. 5 ROC curve and AUC value

开发边界预测的影响较小。贡献率呈现出的明显差异性表明了不同因子对城镇开发边界划定重要性不同,而识别其中的重要影响因子,舍弃影响作用不大的因子,对于数据降维,提高模型效率具有重要意义。

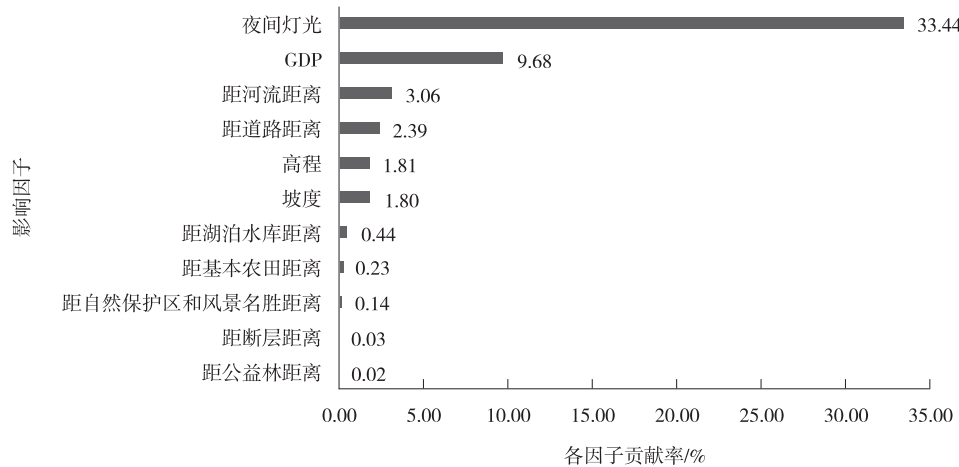


图 6 影响因子 q 值统计

Fig. 6 q value statistics of influencing factors

3.2 交互探测

借助交互探测器模块,判别 11 个影响因子对城镇开发边界划定是独立起作用还是两个因子相互作用的结果,其作用是增强还是减弱。结果如表 7 所示,11 个影响因子对城市扩展均存在交互作用,且多为非线性增强,少量存在独立性,解释了城镇发展是社会经济系统和自然生态环境综合作用的结果。夜间灯光与其他因子的协同作用最大,解释力均高于 30%,进一步证实了夜间灯光数据是影响城镇边界划定的首位因子。其中,夜间灯光和距基本农田距离因子的叠加作用最大(0.370),说明城镇扩张主要受早期农业发展和人口集聚影响。此外,GDP 与其他因子叠加大多也增强了对城镇开发边界划定的解释力,人类生产力活动结合自然环境要素是影响城镇发展的关键。

4 结论与讨论

城镇开发边界的划定对城镇空间增长的管理和控制具有重要意义。本文以重庆市 2015 年土地利用为基础,构建了城镇用地评价与城镇开发边界划定的技术路线。通过逻辑回归模型模拟未来城镇用地,并基于评价结果划定了 2030 年重庆市城镇开发边界,分析了城镇发展在不同区域之间的空间分布、数量差异性以及对模型的精度评价,最后运用地理探测器探究并分析了城镇开发边界划定中的首要因素及其因子交互作用。研究主要结论如下:

1) 运用逻辑回归模型模拟重庆市未来城镇用地并进行分区,结果显示,适宜建设区面积为 1 815.00 km²,占全市面积的 2.20%;一般限建区面积为 1 497.50 km²,占土地总面积的 1.82%。两区域面积相差不大,空间上用地集中度和区位都具有一定优势。而严格限建区、禁止开发区面积共为 79 111.25 km²,占总面积的 95.99%,多分布在众多山脉、自然生态保护区等重点区域的内围和外侧,需要严格控制在此区域内的开发建设活动,保证生态安全。

2) 基于城镇用地评价结果,整合适宜建设区和一般限建区作为 2030 年重庆市城镇开发边界,最终划分 3 334.82 km²,开发强度为 4.05%,符合国务院印发的 2030 年之前全国国土开发强度不超过 4.62%的规定,并与《重庆市国土空间总体规划阶段性成果》基本一致。空间上,基本形成了渝西都市区城乡一体、协调发展,渝东北沿长江轴线发展,渝东南城镇沿乌江、高速公路和铁路等轴线发展的格局。数量上,重庆市各地区城镇用地均有增长的趋势,但增长幅度差异较大。重庆市城镇扩展规模从大到小依次为:都市区、除都市区外的一小时经济圈、渝东北、渝东南。

3) 从逻辑回归模型对重庆市城镇开发边界模拟精度来看,城镇和非城镇的预测精确度均大于 0.8;在 ROC 曲线中,测试、训练和全体数据的 AUC 值均位于 0.95 以上,保障了城市规模预测中的科学性与合理性。

4) 基于地理探测器的影响因子重要性识别发现,夜间灯光、GDP 的贡献率分列第一、第二位,对进行城镇边

界划定结果起着关键作用;另外,影响因子间的交互作用大多增强了对城镇发展的解释力,说明城镇开发边界的划定需要考虑人为和自然各方面的共同影响和制约作用,才能更好预留合理发展空间。

表7 影响因子之间的交互作用

Tab.7 Interaction between influencing factors

| $D1/D2$ | $C=q(D1 \cap D2)$ | $A=q(D1)+q(D2)$ | C 与 A 大小比较 | $D1/D2$ | $C=q(D1 \cap D2)$ | $A=q(D1)+q(D2)$ | C 与 A 大小比较 |
|---------|-------------------|-----------------|----------------|---------|-------------------|-----------------|----------------|
| La/R | 0.052 | 0.026 | $C>A$ | R/D | 0.040 | 0.040 | $C=A$ |
| La/D | 0.078 | 0.020 | $C>A$ | R/S | 0.045 | 0.042 | $C>A$ |
| La/S | 0.062 | 0.020 | $C>A$ | R/Li | 0.341 | 0.341 | $C=A$ |
| La/Li | 0.370 | 0.337 | $C>A$ | R/N | 0.025 | 0.025 | $C=A$ |
| La/N | 0.016 | 0.004 | $C>A$ | R/Lk | 0.068 | 0.054 | $C>A$ |
| La/Lk | 0.100 | 0.033 | $C>A$ | R/Ri | 0.030 | 0.028 | $C>A$ |
| La/Ri | 0.016 | 0.007 | $C>A$ | R/Fo | 0.025 | 0.024 | $C>A$ |
| La/Fo | 0.002 | 0.002 | $C=A$ | R/Fa | 0.025 | 0.024 | $C>A$ |
| La/Fa | 0.004 | 0.003 | $C>A$ | R/G | 0.119 | 0.119 | $C=A$ |
| La/G | 0.179 | 0.099 | $C>A$ | S/Li | 0.348 | 0.348 | $C=A$ |
| D/S | 0.028 | 0.028 | $C=A$ | S/N | 0.019 | 0.019 | $C=A$ |
| D/Li | 0.337 | 0.337 | $C=A$ | S/Lk | 0.049 | 0.048 | $C>A$ |
| D/N | 0.019 | 0.020 | $C=A$ | S/Ri | 0.023 | 0.022 | $C>A$ |
| D/Lk | 0.051 | 0.049 | $C>A$ | S/Fo | 0.018 | 0.018 | $C=A$ |
| D/Ri | 0.022 | 0.022 | $C=A$ | S/Fa | 0.019 | 0.018 | $C>A$ |
| D/Fo | 0.018 | 0.018 | $C=A$ | S/G | 0.123 | 0.115 | $C>A$ |
| D/Fa | 0.018 | 0.018 | $C=A$ | N/Lk | 0.039 | 0.032 | $C>A$ |
| D/G | 0.114 | 0.114 | $C=A$ | N/Ri | 0.008 | 0.006 | $C>A$ |
| Li/N | 0.340 | 0.336 | $C>A$ | N/Fo | 0.003 | 0.002 | $C>A$ |
| Li/Lk | 0.339 | 0.339 | $C=A$ | N/Fa | 0.002 | 0.002 | $C=A$ |
| Li/Ri | 0.344 | 0.339 | $C>A$ | N/G | 0.100 | 0.098 | $C>A$ |
| Li/Fo | 0.334 | 0.334 | $C=A$ | Ri/Fo | 0.005 | 0.004 | $C>A$ |
| Li/Fa | 0.336 | 0.335 | $C>A$ | Ri/Fa | 0.005 | 0.005 | $C>A$ |
| Li/G | 0.350 | 0.35 | $C=A$ | Ri/G | 0.107 | 0.101 | $C>A$ |
| Lk/Ri | 0.041 | 0.035 | $C>A$ | Fo/Fa | 0.001 | 0.000 | $C>A$ |
| Lk/Fo | 0.031 | 0.031 | $C=A$ | Fo/G | 0.097 | 0.097 | $C=A$ |
| Lk/Fa | 0.032 | 0.031 | $C>A$ | Fa/G | 0.098 | 0.097 | $C>A$ |
| Lk/G | 0.131 | 0.127 | $C>A$ | | | | |

注:La为基本农田;D为高程;R为距道路距离;S为坡度;Li为夜间灯光;N为距自然保护区和风景名胜距离;Lk为距湖泊水库距离;Ri为距河流距离;Fo为距公益林距离;Fa为距断层距离;G为GDP

本研究基于逻辑回归模型模拟了2030年重庆市城镇开发边界,但这尚属初级预测结果。一方面,由于国家相关规定和政策的不断调整,重庆市城乡总体规划工作的持续进展,城镇开发边界依然存在不断修正与优化的可能。另一方面,永久基本农田红线和生态红线(两线)等束缚城镇发展的限制因子主要是基于《重庆市城乡总体规划(2007—2020年)》方案制定的,考虑的是近期的发展目标,而对未来2030年的城镇增长没有充分考虑,存

在一定的偏差。总体上,面向 2030 年的城乡总体规划需协调时间和空间两维度,统一各方面的规划目标。其次,城镇开发边界的划定,应按照“自上而下”和“自下而上”相结合的模式^[37],这也是在今后研究中需要弥补的环节。在今后的研究中更需认真落实“多规合一”的规划编制审批体系的建立,实施监督体系、法规政策体系和技术标准体系,努力实现以人为本、生态优先、城乡融合和多规合一的规划。

参考文献:

- [1] 何波,钱紫华.重庆市域城镇开发边界划定实践与思考[J]. 城乡规划,2019(3):24-30.
HE B, QIAN Z H. Practice and thinking on delimiting urban development boundary in Chongqing[J]. Urban and Rural Planning, 2019(3):24-30.
- [2] 李灿,汤惠君,张凤荣.基于建设用地适宜性评价的城市增长边界划定[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2017,42(7):105-111.
LI C, TANG H J, ZHANG F R. On delineation of urban growth boundary based on the construction land suitability evaluation[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2017, 42(7):105-111.
- [3] 朱一中,王韬,张倩茹.中国城市开发边界研究综述[J]. 中国名城,2019(6):4-9.
ZHU Y Z, WANG T, ZHANG Q R. A summary of the research on the boundary of urban development in China[J]. China's Famous Cities, 2019(6):4-9.
- [4] Pennsylvania State University. Grouping 'smart cities' into types may help aspiring city planners find a path[EB/OL]. [2020-07-25]. <https://phys.org/news/2019-10-grouping-smart-cities-aspiring-citc.html>.
- [5] ANDREAS H, JOCHEN M. Urban and infrastructure resilience: diverging concepts and the need for cross-boundary learning[J]. Environmental Science and Policy, 2019, 100: 211-220.
- [6] THEURER W, BAECHELIN W, PLATE E J. Model study of the development of boundary layers above urban areas [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1992, 41(1):437-448.
- [7] 王玉国,尹小玲,李贵才.基于土地生态适宜性评价的城市空间增长边界划定:以深汕特别合作区为例[J]. 城市发展研究,2012,19(11):76-82.
WANG Y G, YIN X L, LI G C. Delimitation of urban growth boundary based on land ecological suitability evaluation: a case of Shenshan special corporation zone[J]. Urban Development Studies, 2012, 19(11):76-82.
- [8] 钟珊,赵小敏,郭熙,等.基于空间适宜性评价和人口承载力的贵溪市中心城区城市开发边界的划定[J]. 自然资源学报,2018,33(5):801-812.
ZHONG S, ZHAO X M, GUO X, et al. Delimitation of urban growth boundary based on spatial suitability evaluation and population carrying capacity in Guixi county[J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(5):801-812.
- [9] 高晓路,吴丹贤,周侃,等.国土空间规划中城镇空间和城镇开发边界的划定[J]. 地理研究,2019,38(10):2458-2472.
GAO X L, WU D X, ZHOU K, et al. The urban space and urban development boundary under the framework of territory spatial planning[J]. Geographic research, 2019, 38(10):2458-2472.
- [10] 谢波,陈杰夫,张帆.大城市开发边界的整合与优化策略:以武汉市为例[J]. 规划师,2016,32(10):51-56.
XIE B, CHEN J F, ZHANG F. Spatial recognition and boundary region division of urban fringe area in Xi'an city [J]. Planners, 2016, 32(10):51-56.
- [11] 陈伟强,潘元庆,马月红,等.基于约束性 CA 模型的城市开发边界划定方法[J]. 农业工程学报,2017,33(4):278-284.
CHEN W Q, PAN Y Q, MA Y H, et al. Partition method of urban development boundary based on constrained cellular automata model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(4):278-284.
- [12] 苏伟忠,杨桂山,陈爽,等.城市增长边界分析方法研究:以长江三角洲常州市为例[J]. 自然资源学报,2012,27(2):322-331.
SU W Z, YANG G S, CHEN S, et al. Analysis method of urban growth boundary of the Changzhou city in the Yangtze River Delta, 2012, 27(2):322-331.
- [13] 张亚飞,廖和平,李义龙.基于反规划与 FLUS 模型的城市增长边界划定研究:以重庆市渝北区为例[J]. 长江流域资源与环境,2019,28(4):757-767.
ZHANG Y F, LIAO H P, LI Y L. Delimitation of urban growth boundary based on anti-planning and FLUS model: a case study of Yubei district, Chongqing, China [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(4):757-767.
- [14] 吴欣昕,刘小平,梁迅,等. FLUS-UGB 多情景模拟的珠江三角洲城市增长边界划定[J]. 地球信息科学学报,2018,20(4):532-542.
WU X X, LIU X P, LIANG X, et al. Multi-scenarios simulation of urban growth boundaries in Pearl River Delta based on FLUS-UGB[J]. Journal of Geo-Information Science, 2018, 20(4):532-542.
- [15] 胡业翠,付玲,李琦.北京城市增长边界预测[J]. 地球信息科学学报,2017,19(4):486-492.
HU Y C, FU L, LI Q. The Prediction of Beijing urban

- growth boundary[J]. Journal of Geo-Information Science, 2017,19(4):486-492.
- [16] 张青萍,杨柳,焦洪赞. 基于最小累积阻力模型的西南山地城市建设用地扩展路径研究:以贵阳市为例[J]. 西南大学学报(自然科学版),2016,38(12):89-94.
ZHANG Q P, YANG L, JIAO H Z. Reconstruction route of mountainous region, southwest of China land space based on improved minimum cumulative model: a case study of Guiyang city[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2016,38(12):89-94.
- [17] 张星星,刘勇,岳文泽. ABM模型支持下的城市增长边界划定研究:以重庆为例[J]. 现代城市研究,2018(3):123-131.
ZHANG X X, LIU Y, YUE W Z. Delineating urban growth boundaries using ABM model: a case of Chongqing [J]. Modern Urban Research, 2018(3):123-131.
- [18] 吴楷钊,吴波. 基于空间相关的逻辑回归模型的城市扩展模拟[J]. 河南大学学报(自然科学版),2010,40(3):267-273.
WU K Z, WU B. Simulation of urban expansion based on logistic regression with the consideration of spatial correlation[J]. Journal of Henan University (Natural Science), 2010,40(3):267-273.
- [19] 侯爱华,高伟,汪霖. 基于逻辑回归模型的流量异常检测方法研究[J]. 工程数学学报,2017,34(5):479-489.
HOU A H, GAO W, WANG L. Research on traffic anomaly detection method based the logistic regression model[J]. Chinese Journal of Engineering Mathematics, 2017,34(5):479-489.
- [20] 陈先来,韩超鹏,安莹,等. 基于互信息和逻辑回归的新词发现[J]. 数据分析与知识发现,2019,3(8):105-113.
CHEN X L, HAN C P, AN Y, et al. Extracting new words with mutual information and logistic regression[J]. Data Analysis and Knowledge Discovery, 2019,3(8):105-113.
- [21] CHEN W, XIE X S, WANG J L. A comparative study of logistic model tree, random forest, and classification and regression tree models for spatial prediction of landslide susceptibility[J]. Catena, 2017,151(4):147-160.
- [22] 姜文亮,张晓通,李霖,等. 基于GIS和空间逻辑回归模型的城市空间扩展预测:以深圳市龙岗区为例[J]. 测绘科学,2008(4):172-174.
JIANG W L, ZHANG X T, LI L, et al. Urban spatial expansion forecast based on GIS & spatial logistic regression model: a case study for Longgang, Shenzhen[J]. Science of Surveying and Mapping, 2008(4):172-174.
- [23] 王开泳,王甫园,陈田. 行政区划调整的政区位势理论与模型构建:以重庆市为例[J]. 地理学报,2019,74(12):2495-2510.
WANG K Y, WANG F Y, CHEN T. The theory and measurement model of administrative region potential from the perspective of administrative division adjustment using Chongqing city as a case study[J]. Acta Geographica Sinica, 2019,74(12):2495-2510.
- [24] 茆三芹. 基于GWR模型的耕地利用时空演变及驱动因素研究[D]. 武汉:华中农业大学,2013.
MAO S Q. Spatial-temporal variation and driving factors of cultivated land use based on GWR model: a study of Wuhan urban agglomeration[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013.
- [25] 邱思齐,岳文泽. 刚性与弹性相结合的城市开发边界划定:以浙江省义乌市为例[J]. 应用生态学报,2018,29(5):1607-1616.
QIU S Q, YUE W Z. Delineation of urban development boundary based on the combination of rigidity and elasticity: a case of Yiwu in Zhejiang province, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018,29(5):1607-1616.
- [26] 李晓荣. 基于RS和GIS的太原市主城区扩展及影响因素研究[D]. 太原:山西师范大学,2018.
LI X R. Based on RS and GIS in the main city of Taiyuan city urban sprawl and its influencing factors[D]. Taiyuan: Shanxi Normal University, 2018.
- [27] 谢朋,文海家,胡东萍. 山区公路沿线地震滑坡易发性区划研究[J]. 中国公路学报,2018,31(2):106-114.
XIE P, WEN H J, HU D P. Research on susceptibility mapping of earthquake-induced landslides along highway in mountainous region, 2018,31(2):106-114.
- [28] 官洪运,杨益伟,吴炜,等. 基于逻辑回归模型的火焰检测[J]. 信息技术与网络安全,2018,37(10):36-40.
GUAN H Y, YANG Y W, WU W, et al. Flame detection based on logistic regression model[J]. Information Technology and Network Security, 2018,37(10):36-40.
- [29] 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.
- [30] 孙德亮,吴健平,文海家,等. 山地斜坡灾变韧性大数据分析模型与应用研究:以城口县为例[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),2019,36(3):64-71.
SUN D L, WU J P, WEN H J, et al. Damage resistance mapping of mountain slopes based on geospatial big data mining [J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2019,36(3):64-71.
- [31] 魏红燕. 回归分析中多重共线性的诊断与处理[J]. 周口师范学院学报,2019,36(2):11-15.
WEI H Y. Diagnosis and treatment of multicollinearity in regression analysis[J]. Journal of Zhoukou Normal University, 2019,36(2):11-15.
- [32] 易丹,赵小敏,郭熙,等. 基于生态敏感性评价和 CA-

- Markov 模拟的平原型城市开发边界划定:以南昌市为例[J]. 应用生态学报, 2020, 31(1): 208-218.
- YI D, ZHAO X M, GUO X, et al. Delimitation of urban development boundary based on ecological sensitivity evaluation and CA-Markov simulation in plain city: a case of Nanchang, Jiangxi, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(1): 208-218.
- [33] 王颖, 顾朝林, 李晓江. 中外城市增长边界研究进展[J]. 国际城市规划, 2014, 29(4): 1-11.
- WANG Y, GU C L, LI X J. Research progress of urban growth boundary at home and abroad[J]. Urban Planning International, 2014, 29(4): 1-11.
- [34] VAKHSHOORI V, ZARE M. Is the ROC curve a reliable tool to compare the validity of landslide susceptibility maps[J]. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 2018, 9(1): 249-266.
- [35] 崔敬涛. 基于 Logistic-CA-Markov 模型的临沂市土地利用变化模拟预测研究[D]. 南京: 南京大学, 2014.
- CUI J T. Simulation and prediction of land use change in Linyi city based on Logistic-CA-Markov model[D]. Nanjing: Nanjing University, 2014.
- [36] 屈辰阳, 张莉, 汪鸣泉, 等. 基于 NPP/VIIRS 卫星夜光数据的新建高铁站所在县域的 GDP 估算模型[J]. 国土资源遥感, 2020, 32(2): 81-87.
- QU C Y, ZHANG L, WANG M Q, et al. GDP estimation model of county areas based on NPP/VIIRS satellite night time light data[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2020, 32(2): 81-87.
- [37] 周祥胜, 汤燕良, 李禅, 等. 广东省级城镇开发边界的划定思路与方法[J]. 规划师, 2019, 35(11): 75-79.
- ZHOU X S, TANG Y L, LI C, et al. Idea and method of provincial urban development boundary delimitation, Guangdong province[J]. Planners, 2019, 35(11): 75-79.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

Delimitation of Chongqing's Urban Growth Boundary and Identification of Influencing Factors Based on Logistic Regression

WANG Yue, GUO Enxue, ZHANG Hong, SUN Deliang

(Chongqing Key Laboratory of GIS Application, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: [Purposes] In order to control the spread of urban, and protect the ecological spatial pattern, the urban growth boundary of Chongqing has been delineated, which has practical significance for urban planning and spatial expansion. [Methods] A total of 12 secondary factors under the five categories of engineering geology, water environment, ecology and agriculture, transportation construction, and socio-economic factors are used as the influencing factors for the delineation of urban growth boundaries to build an evaluation system; based on the land use of Chongqing in 2015, logistic regression model was used to simulate future urban land use. On this basis, the urban growth boundary of Chongqing in 2030 was delineated and evaluated; using geographic detector to analyse the importance and interaction of influencing factors. [Findings] The logistic regression model delimits the urban growth boundary of Chongqing in 2030 as 3 334.82 km². The urban-rural integration and coordinated development pattern of urban areas are constructed initially. The simulation prediction accuracy and recall rate are greater above 0.8 and 0.7, respectively, and the accuracy rate and Kappa coefficient are 0.994 and 0.806, respectively. The AUC values of test, training and all data are all above 0.95; secondly, the most important factor of factor detection is night light and GDP. [Conclusions] Delimitation of urban growth boundary based on logistic regression model meets planning requirements. There is a large development gap among different regions in Chongqing, and the predicted scale of urban expansion in the future is as follows: the metropolitan area is the largest, the second place is the one-hour economic circle(excluding metropolitan area), the third place is the northeast of Chongqing, and the southeast of Chongqing is the smallest. Thus it forms "a multi-center group" development pattern, and reflects regional coordination and efficient development.

Keywords: Chongqing; urban growth boundary; logistic regression; geographic detector

(责任编辑 许 甲)