

引用格式:张世伟,魏璐瑶,金星星,等.基于FLUS-UGB的县域土地利用模拟及城镇开发边界划定研究[J].地球信息科学学报,2020,22(9):1848-1859. [Zhang S W, Wei L Y, Jin X X, et al. The land use simulation and delimitation of urban development boundary in county area based on FLUS-UGB[J]. Journal of Geo-information Science, 2020,22(9):1848-1859.] DOI:10.12082/dqxxkx.2020.190452

基于FLUS-UGB的县域土地利用模拟及城镇开发边界划定研究

张世伟^{1,2}, 魏璐瑶¹, 金星星^{1*}, 陆玉麒^{1,3,4}

1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 3. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023; 4. 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210023

The Land Use Simulation and Delimitation of Urban Development Boundary in County Area based on FLUS-UGB

ZHANG Shiwei^{1,2}, WEI Luyao¹, JIN Xingxing^{1*}, LU Yuqi^{1,3,4}

1. School of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China; 4. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment for the Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China

Abstract: Exploring the spatial extent of urban development within a county is helpful to clarify the spatial relationships between urban land, permanent farmland, and ecological land, which lays an important foundation for the urban sustainable development of a county. Currently, the urban growth boundaries, and the existing permanent farmland and ecological protection boundaries have great conflicts with each other in different maps. Based on the new territory land spatial planning system, it is necessary to realize the "Three-Line Coordination" during territory land planning. However, the existing models of the delimitation of UGBs are highly subjective. The determination of the weight of each factor is usually subject to artificial influence, or only considers the dominant land use type without considering the other land use types. Thus, the simulation results of small-scale land use changes greatly differ from the actual results in the surrounding area. In this paper, we presented a delimitation method of urban development boundary based on the "Three-Line Coordination" and FLUS-UGB. We selected the Feng County in Jiangsu, China, as the study area where agriculture was the main development direction. Under the scenario of permanent farmland protection and ecological control, we delimited the urban development boundaries of Feng County. Our results show that: (1) the overall accuracy of the model was 94.7%, and the kappa coefficient was 0.895, which demonstrated the high simulation accuracy of our method; (2) under the baseline scenario, the spatial pattern of urban area presented an expansion trend. Under the scenario of cultivated land protection and ecological control, the urban area expanded outwards radially outside the

收稿日期:2019-08-18;修回日期:2020-02-06.

基金项目:国家自然科学基金重点项目(41430635)。[**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China, No.41430635.]

作者简介:张世伟(1995—),男,江苏镇江人,博士生,主要从事城市与区域规划研究。E-mail: zsw@umd.edu

*通讯作者:金星星(1991—),女,福建霞浦人,博士研究生,主要从事经济地理与空间规划研究。E-mail: xxjin91@126.com

permanent farmland and ecological control areas with an orderly manner; (3) the predicted area of urban development in Feng County would increase to 80.29 km² in 2035 with the growth rate of 69.07%. The boundary results predicted in our study can be used to effectively avoid the occupation of permanent farmland and important ecological land regions by urban development, leading to a better spatial coordination between urban expansion, and existing permanent farmland and ecological land protection in future. Moreover, our delimitation method of the urban growth boundary simulation was based on the "Three-Line Coordination", which met the demand of permanent farmland and ecological land protection, and thus can reflect the urban land expansion of Feng County more accurately.

Key words: three-line coordination; FLUS-UGB; urban development boundary; UGB; land use change; Basic farmland; ecological land; Feng Country

***Corresponding author:** JIN Xingxing, E-mail: xxjin91@126.com

摘要:当前城镇开发边界的制定与已有基本农田和生态保护红线存在较大的龃龉,在新的国土空间规划体系下,需要科学划定县域合理的城镇开发边界以实现国土空间的可持续开发利用。对此,本文提出了基于三线协调和FLUS-UGB的城镇增长边界划定方法,以江苏省丰县为研究案例,在对其2011—2017年土地利用进行模拟和验证的基础上预测了至2035年的多情景土地利用变化,结合耕地保护与生态控制背景,最终确定城镇增长边界。结果表明:①2017年丰县土地利用模拟的总体精度达到94.7%,Kappa系数为0.895,模拟精度较高。②基准情景下,城镇用地呈现“摊大饼”的空间扩张趋势。在耕地保护与生态控制背景下,城镇呈“放射式”向外有序扩张。③预测2035年丰县城镇用地开发边界面积为80.29 km²,2017—2035年共17年增长幅度达到69.07%。明确划分城镇开发边界能够有效避免城镇用地对永久基本农田和重要生态用地的侵占,从而实现城镇扩张、永久基本农田和重要生态用地保护三者之间的良好空间协调。

关键词:三线协调;FLUS-UGB;城镇增长边界;城镇开发边界;土地利用变化;基本农田;生态保护红线;丰县

1 引言

2019年5月10日,国务院印发《关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见》^[1],主体功能区规划、土地利用规划、城乡规划等空间规划将融合为统一的国土空间规划,实现“多规合一”。意见要求在编制中坚持生态优先、绿色发展,科学划定生态保护红线、永久基本农田、城镇开发边界等空间管控边界,强化底线约束,为可持续发展预留空间。自十九大“城乡融合”和“乡村振兴”战略提出以来,作为城乡融合发展的枢纽,县域空间的城镇发展更加成为当前热议的焦点^[2]。因此探讨县域空间城镇发展的空间布局优化有利于厘清城镇用地、永久基本农田和重要生态用地三者之间的关系,为实现县域城镇可持续发展奠定重要基础。

为防止城镇的无序扩张,作为底线约束,首先需要合理制定城镇开发边界。在美国的塞勒姆市最早提出城镇增长边界(Urban Growth Boundary, UGB),用于划分城市土地和农村土地^[3]。随后在莱克星顿市和波特兰地区得到成功应用,有效阻止了城镇用地的无序蔓延;同时UGB的划分对于农业用地的保护和城市的精明增长起到促进作用^[4-6]。

国内对于UGB没有相对应的概念,最为接近的是城镇开发边界。住房和城乡建设部自2015年开始在14个城市进行城镇开发边界的划定的试点工作^[7]。近年来,国内对于城镇开发边界相关的研究主题包括:①基于土地承载力和生态适宜性评价结果确定发展方向,并结合人口规模预测划定城市增长边界^[8-10];②以传统CA模型^[11-12]、CLUE模型^[13-14]和SLEUTH模型^[15-17]等为代表的土地利用类型预测确定城市增长边界。前者在评分过程中主观性较强,各因子权重的判定受到人为影响较大;后者仅考虑占主导的土地利用类型,忽略了其他土地利用类型的分配机会,难以体现土地类型间的竞争及相互影响,对于城市及其周边的小范围土地类型变化的模拟结果与实际相差较大。Liu^[18]于2017年提出了一种基于元胞自动机理论的未来土地利用预测模型(Future Land Use Simulation, FLUS),其融合了“自上而下”的自适应惯性竞争机制,能够有效地进行多情景下的复杂土地利用变化模拟,针对城镇边界的划定问题,梁迅等^[19]在FLUS模型的基础上建立了FLUS-UGB模型,其在土地变化模拟的基础上融合了形态学腐蚀膨胀分割方法依据城市边缘状特征划定城镇开发边界,对珠江三角洲地区的城市

边界进行了划分。该模型能够对土地利用模拟结果有效进行边缘提取和分割细化,极大地提高了土地利用空间模拟的精度^[20]。同时 FLUS-UGB 模型剔除了主观因素对模拟和边界的影响,在小尺度范围内对边界的模拟具有一定的客观性和适应性。

国土空间规划体系的逐渐建立和完善,其中生态保护红线、永久基本农田保护红线和城镇开发边界的“三线协调”逐渐成为权衡城镇边缘土地开发与保护的重要关系。目前我国进入快速城镇化阶段,县域空间已成为城镇用地增长的潜在地区^[21]。而目前国内对于城镇开发边界的划定研究多见于城市群^[22]、城市人口 100 万以上的大城市^[23-24]及大城市郊区^[25],而对县域空间的研究较为鲜见。本文结合当前县域空间城镇扩展所面临的问题,引入 FLUS-UGB 模型,在权衡生态保护红线、永久基本农田和城镇开发边界的空间关系基础上以江苏省丰县为研究区,对其 2035 年土地利用变化进行模拟并合理划分城镇开发边界,为国土空间规划中县域城镇开发边界的制定提供方法上的科学参考。

2 研究方法

2.1 基于三线协调和 FLUS-UGB 的城镇增长边界划定方法

本研究通过 Markov chain 方法预测出各用地需求量,分别在基本农田限制和生态红线保护的背景下结合 FLUS-UGB 模型对丰县土地利用进行模拟^[19]。将基本农田保护红线、生态保护红线构成城镇用地扩张的刚性限制,划定出城镇开发边界。具体模拟流程图如图 1 所示。

2.2 FLUS-UGB 模型

FLUS-UGB 模型由 3 部分组成^[20-21]: ① 人工神经网络的适宜性概率分布估计(Probability-of-occurrence estimation using artificial neural network); ② 基于自适应惯性竞争的元胞自动机(Self-Adaptive Inertia and Competition Mechanism, CA); ③ 基于形态学腐蚀膨胀操作的边界分割方法。

(1) 适宜性概率分布模拟

人工神经网络(Artificial Neural Network, ANNs)是受生物神经网络启发的一系列机器学习模型,通常用于估计或近似非线性函数。人工神经网络的优势在于它能够通过一系列回忆迭代来学习和拟合输入数据和训练目标之间的复杂关系^[26],已

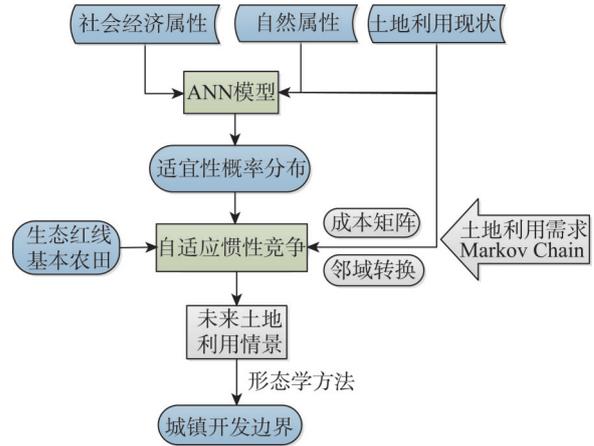


图 1 城镇开发边界模拟流程

Fig. 1 Simulation flow chart of urban development boundary

成功应用在非线性地理问题的分析和建模^[27]。其采用负反馈 ANN 训练和评估每个栅格土地利用类型发生的概率;运用自适应惯性竞争机制解决不同地类间的竞争问题。其中,负反馈 ANN 是一种多层前馈神经网络,基本构成包括一个输入层、一个或多个隐藏层和一个输出。该模拟过程实质是建立起各驱动因子同初始土地类型在空间上的作用强度关系,其具体过程见公式:

$$p(p, k, t) = \sum_j w_{j,k} \times \text{sigmoid}(\text{net} \sum_j (p, t))$$

$$= \sum_j w_{j,k} \times \frac{1}{1 + e^{-\text{net}_j(p,t)}} \quad (1)$$

式中: $p(p, k, t)$ 代表地类 k 在 t 时刻 p 象元上出现的概率; $w_{j,k}$ 是隐藏层与输出层之间的自适应权重。

(2) 自适应惯性竞争的元胞自动机

某个土地网格是否会发展成特定的土地利用类型,不仅依赖其发生概率,还取决于预测期内不同开发状态下的其他可变因素。因此,在基于自适应惯性竞争模型中,我们将发生概率与转换成本、邻域条件以及不同土地利用类型之间的竞争结合起来,用于估计每个土地网格的组合概率的类型。其过程可表达为:

$$TP_{i,k}^t = P_{i,k} \times \Omega_{i,k}^t \times C_{c \rightarrow k} \quad (2)$$

$$\Omega_{i,k}^t = \frac{\sum_{N \times N} \text{con}(c_i^{t-1}=k)}{N \times N - 1} \times \omega_k \quad (3)$$

$$Inertia_k^t = \begin{cases} Inertia_k^{t-1} & \text{if } |D_k^{t-1}| \leq |D_k^{t-2}| \\ Inertia_k^{t-1} \times \frac{D_k^{t-2}}{D_k^{t-1}} & \text{if } D_k^{t-1} < D_k^{t-2} < 0 \\ Inertia_k^{t-1} \times \frac{D_k^{t-1}}{D_k^{t-2}} & \text{if } 0 < D_k^{t-2} < D_k^{t-1} \end{cases} \quad (4)$$

式中: $TP'_{i,k}$ 是指元胞单元 i 从迭代时刻 t 从原始土地利用类型转换为目标土地利用类型 k ; $P_{i,k}$ 则由神经网络算法计算所得为 b 元胞单元 i 转换为用地类型 k 的城市发展概率, $C_{c \rightarrow k}$ 表示从用地类型 C 到用地类型 k 的转换成本。 $\Omega'_{i,k}$ 表示用地类型 k 出现在栅格 p 的概率; $\sum_{N \times N}^{con(c_i^{t-1}=k)}$ 表示在 $N \times N$ 摩尔窗口下 $t-1$ 时间用地类型 k 所占据栅格总数; ω_k 是不同用地类型之间的变量权重。 $Inertia'_k$ 表示 k 地类型在 t 时间的惯性系数; D'_k 表示在 $t-1$ 时间, 用地类型 k 的实际需求量与分配量之差。

2.3 Markov chain 需求量预测

Markov chain 是预测土地利用变化模拟的传统方法, 其预测结果具备无后效性^[28]。本文基于丰县 2011—2017 年土地利用现状, 使用 Markov chain 对 2035 年丰县土地利用指标需求量进行预测^[1]。

$$S_{t+1} = S_t \times P \quad P \in [0, 1) \quad (5)$$

$$P = \begin{matrix} & P_{11} & L & P_{v1} \\ M & O & M \\ & P_{ij} & L & P_{ij} \end{matrix} \quad (6)$$

式中: P 为状态转移矩阵; S_{t+1} 、 S_t 分别表示 t 、 $t+1$ 时刻的土地利用状态; 状态转移概率矩阵预测了事件发生的状态及其发展变化的趋势。

3 研究区概况、数据来源与预处理

3.1 研究区概况

丰县位于江苏省西北部(116°21'E—116°52'E, 34°24'N—34°56'N), 在苏、鲁、皖、豫四省交界处。地处淮海经济区中心地带和徐州都市圈内, 地理区位优势明显, 近年来经济发展速度较快, 城镇开发强度较大, 是江苏省重要的粮食、水果生产基地, 永久基本农田和生态红线区分别占全县总面积的 52.93% 和 35.80%。在城镇化转型阶段, 丰县的城镇用地扩张与基本农田和生态红线的融合和冲突问题日益凸显。

3.2 数据来源与预处理

本研究使用的多时期土地利用数据, 来源于丰县国土资源局所提供的符合由国土资源部指定的国家标准(GB/T 21010—2017)的 2011—2017 年的土地利用现状数据库^[30]。为平衡各类用地的差异性与均一性, 以凸显各类用地在研究区内的异质

性, 对原始土地利用类型进行重分类为耕地、林地、交通用地、水域、城镇用地、农村居民点和未利用地 7 类。由于在县域尺度内交通用地的空间尺度权重较大, 为确保最终城镇增长边界的完整性, 将其独立分为一类, 交通用地包括: 铁路用地、公路用地、农村道路、机场用地、港口码头用地、管道运输用地。土地利用分布格局是多种因素在一定地域空间内共同作用的结果, 社会经济和自然属性显著影响着土地利用变化的进程。综合已有研究^[31-34]对于城市扩张中土地利用变化驱动因子的分析, 并结合研究区土地利用现状、变化特征及数据可获取性, 本文从自然、社会经济和土地相关政策 3 个方面选取了以下 13 个驱动因子和基本农田、生态红线区 2 个限制因子(表 1)。本研究使用土地利用及因子数据的空间分辨率均为 30 m, 并投影到统一坐标系。

4 结果及分析

4.1 土地利用变化模拟

4.1.1 土地扩张潜力预测

土地利用变化是一个由多影响因子交互驱动的非线性复杂过程。本研究以 2011 年和 2017 年土地利用现状数据为基础, 通过对上述驱动因素进行归一化处理, 采用随机采样提取其栅格数据的 10% 像元作为训练样本, 并基于神经网络模块模拟土地利用类型的扩张潜力, 最终得到城镇用地扩张潜力分布(图 2)。可以发现城镇用地扩张潜力结果能够较好地反映未来城镇空间分布格局: 潜力较高的栅格大多分布在现有城镇范围及其周边区域; 而在交通干线附近城镇用地扩张潜力也存在高值。整体上看, 由于徐州市主城区位于丰县东南方向, 发展重心向东南倾斜, 因此除丰县中心城区外, 其城镇用地扩张潜力表现出由西北向东南逐渐递增的空间趋势。

4.1.2 参数测算

(1) 需求总量

本研究基于 2011 和 2017 年丰县土地利用数据, 采用 Markov chain 分别确定 2017 年和 2035 年丰县各土地利用类型总量, 将 2017 年的预测值与实际值对比, 总体预测精度达到 99.67%, 各用地类型需求像元总量如表 2 所示。

(2) 成本矩阵

成本矩阵代表各种地类之间的转换成本, 范围界于 0~1 之间, 其中, 1 代表转换成本最低, 容易发

表1 丰县土地利用变化驱动因子数据说明

Tab. 1 The explanation of land use change driving factors in Feng Country

类型	名称	数据描述	数据来源	年份	
驱动因子	自然属性	高程/m	GDEMDEM-30M 数字高程数据	地理空间数据云 ^[35]	2009
		坡度/°	由高程数据计算得到		2009
		植被覆盖度	由 Landsat 8 遥感数据计算 NDVI 指数	美国地质勘探局 ^[36]	2017
		土壤质量	由 Landsat 8 遥感数据计算 MSAVI 指数 ^[34]		2017
	社会经济属性	生活配套设施	百度地图 POI 数据	百度地图开放平台 ^[37]	2018
		到县城距离/km	到中心城区的欧式距离	全国基础地理数据库 ^[38]	2018
		到重点镇距离/km	到重点镇的欧式距离		2018
		火车站可达性/min	到火车站的时间距离		2016
		主干道可达性/min	到城市主干道和一级公路的时间距离		2016
		高速互通可达性/min	到高速公路出入口的时间距离		2016
		港口可达性/min	到港口的时间距离		2016
		人口分布	丰县人口分布数据	丰县规划局	2018
		经济分布	“珞珈一号”夜光数据	高分湖北中心 ^[39]	2018
		限制因子	限制区	基本农田分布	丰县永久基本农田分布
生态红线区分布	丰县生态红线区域分布			丰县生态红线区域保护规划 (2015)	2015

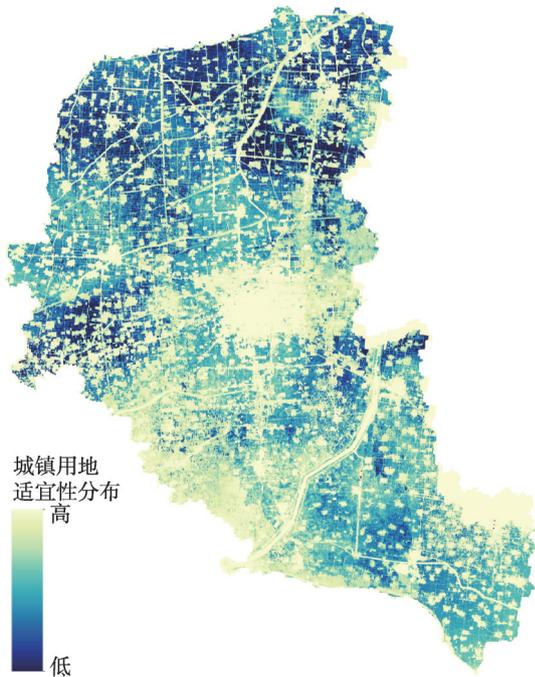


图2 丰县城镇用地适宜性分布

Fig. 2 Distribution of urban land suitability in Feng Country

生转换;0代表转换成本最高,不容易转换。以2011—2017年的土地利用转移矩阵(表3)为参考,辅以专家咨询法,最终确定丰县的成本矩阵(表4)。

(3)邻域权重

邻域权重表示各类土地利用类型的扩张概率,参数范围为0~1,越接近于1代表该土地类型的扩张能力越强。为了符合对各土地利用类型扩张规律的表达,本研究使用各土地类型的历史总面积变化量的无量纲量(表5)来确定邻域权重参数(表6),在保证邻域权重设置的客观性的同时满足数据结构的需求。

4.1.3 精度检验

本研究基于自适应惯性竞争的元胞自动机模型,采用测算参数值对2017年丰县土地利用情况进行模拟(图3),并将其结果与2017年丰县土地利用现状进行对比,在10%的随机采样水平下,模拟结果的Kappa系数为0.895,模拟精度达到94.7%。其模型精度较高地满足了研究要求。

表2 丰县各用地需求总量像元数

Tab. 2 Table of total demand in Feng Country

(个)

年份	耕地	林地	道路	交通用地	水域	城镇用地	农村居民点
2011	1 088 520	38 211	32 126	147 986	39 504	43 968	218 164
2017	1 091 236	37 334	34 070	141 929	32 429	58 723	206 738
2035	1 092 400	35 761	36 977	135 502	26 452	91 553	186 843

表3 2011—2017年丰县土地利用转移矩阵

Tab. 3 Land Use Transfer Matrix of Feng County from 2011 to 2017

(%)

土地利用类型		2011年						
		耕地	林地	交通用地	水域	未利用地	城镇用地	农村居民点
2017年	耕地	98.24	0.00	0.15	0.03	0.35	1.13	0.09
	林地	0.19	97.94	0.16	0.00	0.47	0.71	0.53
	交通用地	0.25	0.00	99.12	0.00	0.05	0.52	0.06
	水域	3.20	0.00	0.31	95.99	0.06	0.35	0.09
	未利用地	25.21	0.00	0.30	0.08	72.03	2.04	0.35
	城镇用地	1.64	0.00	0.00	0.08	0.00	97.41	0.87
	农村居民点	4.69	0.01	0.08	0.00	0.02	0.91	94.29

表4 丰县土地利用类型转换成本矩阵

Tab. 4 Land use type conversion cost matrix in Feng Country

转换成本	耕地	林地	交通用地	水域	未利用地	城镇用地	农村居民点
耕地	1	0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
林地	0.2	1	0.2	0	0.1	0.1	0.1
交通用地	1	1	1	1	0.1	0.2	0.1
水域	0.1	0.2	0	1	0	0	0
未利用地	1	1	0.2	1	1	0.3	0.2
城镇用地	1	1	0	1	0	1	0.2
农村居民点	1	1	0.1	1	1	0.2	1

表5 2011—2017年丰县土地利用面积变化量

Tab. 5 Land use area change in Feng Country from 2011 to 2017

(%)

	耕地	林地	交通用地	水域	未利用地	城镇用地	农村居民点
面积变化量	0.43	-2.11	6.29	-3.91	-17.72	33.74	-5.04

表6 丰县FLUS模型邻域权重系数

Tab. 6 The Weight of Neighborhood of FLUS model in Feng Country

	耕地	林地	交通用地	水域	未利用地	城镇用地	农村居民点
邻域权重	1	1	0.2	1	0.3	1	0.2

4.2 多情景下土地利用分布预测

4.2.1 基准情景

在基准情景条件下,不考虑任何限制因素,所有地类均可相互转换,转换成本均为1。根据2035年各类土地利用需求量预测结果(图4),2035年丰县城镇用地像元个数为85 946个,总面积为77.35 km²。其建设用地呈现“摊大饼”的空间趋势扩张,城镇内部水域及周边林地被侵蚀。

4.2.2 耕地保护情景

在耕地保护情景条件下,限制永久基本农田保护红线内土地类型转换,基本农田不得转换为其他

土地利用类型。2035丰县城镇用地像元个数为88 523个,总面积79.67 km²,耕地保护情景下城镇用地呈现集约式增长模式,在非基本农田区域内新增城镇用地呈现块状聚合(图5)。

4.2.3 生态控制情景

在生态控制情景条件下,限制生态红线区内土地类型转换,耕地、林地和水域不得转换为其他土地利用类型。2035年丰县城镇用地像元个数为88 671个,总面积79.80 km²,结果如图6所示。其城镇用地扩张空间趋势和数量与耕地保护情景大致相似,在非一致性区域内分异较大。

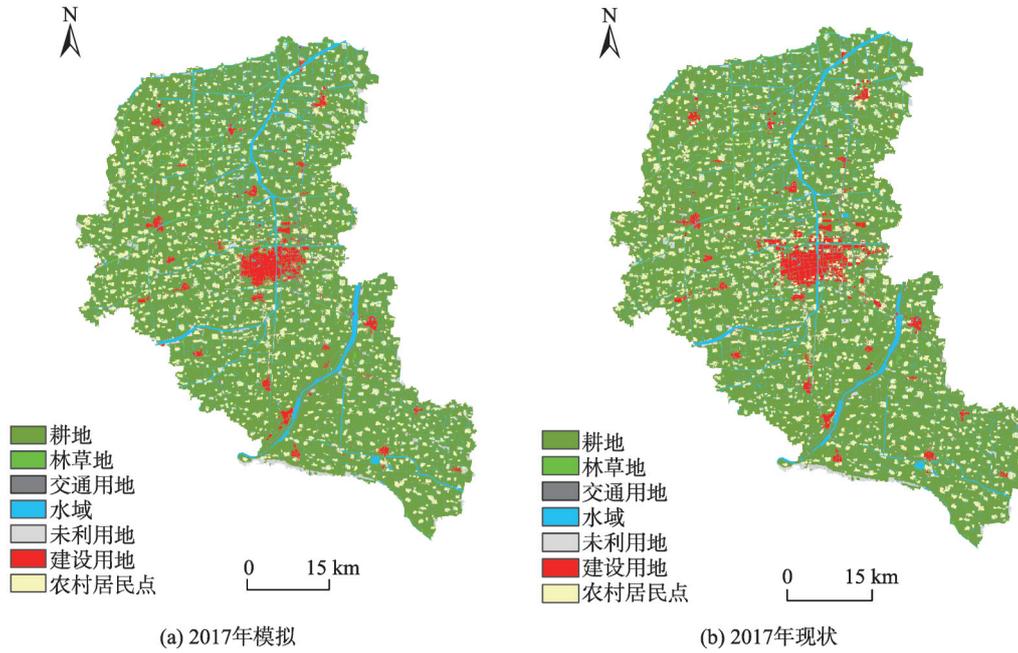


图3 2017年丰县土地利用模拟结果与现状对比

Fig. 3 Comparison of land use simulation and status in Feng Country in 2017

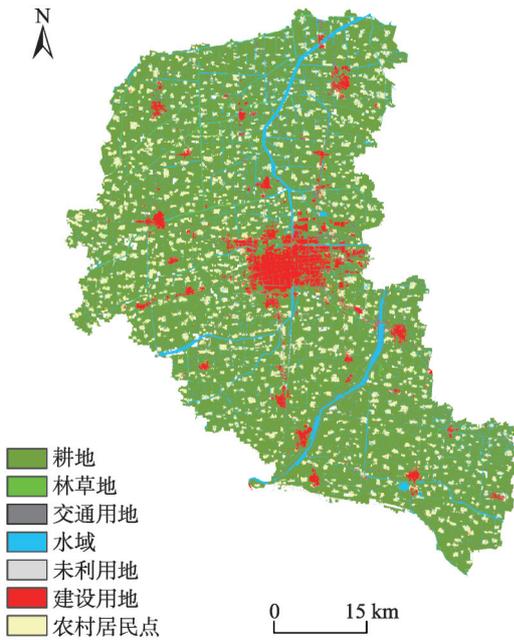


图4 基准情景下2035年丰县土地利用模拟结果
Fig. 4 Simulation of land use of 2035 in baseline scenario in Feng Country

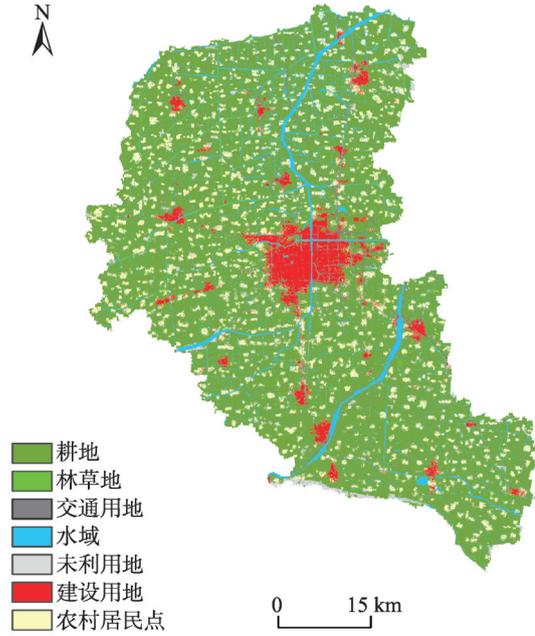


图5 耕地保护情景下丰县2035年土地利用模拟结果
Fig. 5 Simulation of land use of 2035 under farmland protection scenario in Feng Country

5 城镇开发边界划定

元胞自动机迭代生成的结果较为破碎,人工识别会带来主观判断的误差影响。形态学的膨胀腐蚀的开闭运算方法能够在城市边界的划定中得到

成熟应用,其开运算能够隔离狭长的城镇用地斑块;而闭运算能够填充城镇用地斑块的缺口与空洞,最终得到的城镇用地边界具有较少的冗余信息,能够较好地反映出城镇用地分布格局。在开闭运算下分别得到2035年耕地保护和生态控制情景

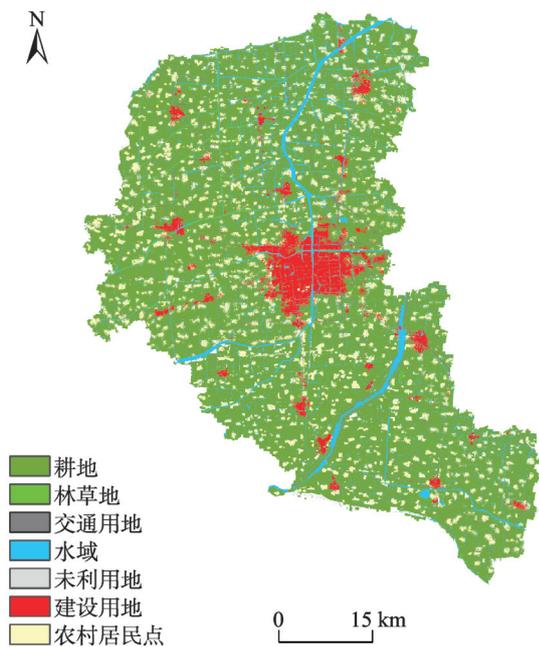


图6 生态控制情景下丰县2035年土地利用模拟结果
 Fig. 6 Simulation of land use of 2035 under farmland protection ecological control scenario in Feng Country

下丰县的城镇用地边界,将其结果与2017年城镇用地边界进行对比(图7)。灰色斑块为2017年丰县既有城镇用地,绿色斑块为生态控制情景下新增城镇用地,红色斑块为耕地保护情景下新增城镇用

地,紫色斑块为2种情景下2035年预测重合地区。

总体上看,2035年丰县城镇开发边界在生态控制和耕地保护情景下模拟出的城镇用地增长边界重叠区域较多,多集中在中心城区现有建成区周边,并向周边各中心镇沿交通干线“放射式”延伸。丰县南部的宋楼镇、大沙河镇以及梁寨镇大部分覆盖生态管制区,在耕地保护情景下城镇新增用地较多,而在生态保护情景下,新增城镇用地斑块数量较少。从转换类别来看,中心城区大部分以现有城镇用地向外围已有农村居民点扩张,少部分耕地转换为建设用地。值得注意的是,在中心城区的西北角,中阳里街道与常店镇交界处存在较多未纳入基本农田保护的耕地,在模拟中未转换为城镇建设用地。在未来规划中这片区域可纳入城镇增长的范围,以实现土地集约式利用。

将耕地保护和生态控制2种情景下预测的城镇用地边界进行叠加处理,得到丰县2035年丰县城镇开发边界(图8)。汇总统计各行政区的增长边界划定后的增长幅度和开发范围(表7、图9),2035年丰县城镇开发边界内面积为89.19 km²,较2017年城镇面积增长54.08%。具体而言,丰县新增城镇用地主要集中在凤城街道和孙楼街道,其中凤城街道的增长面积达到11.38 km²,占丰县新增城镇面积约三成。中阳里街道为老城区所在地,增量用地较少,

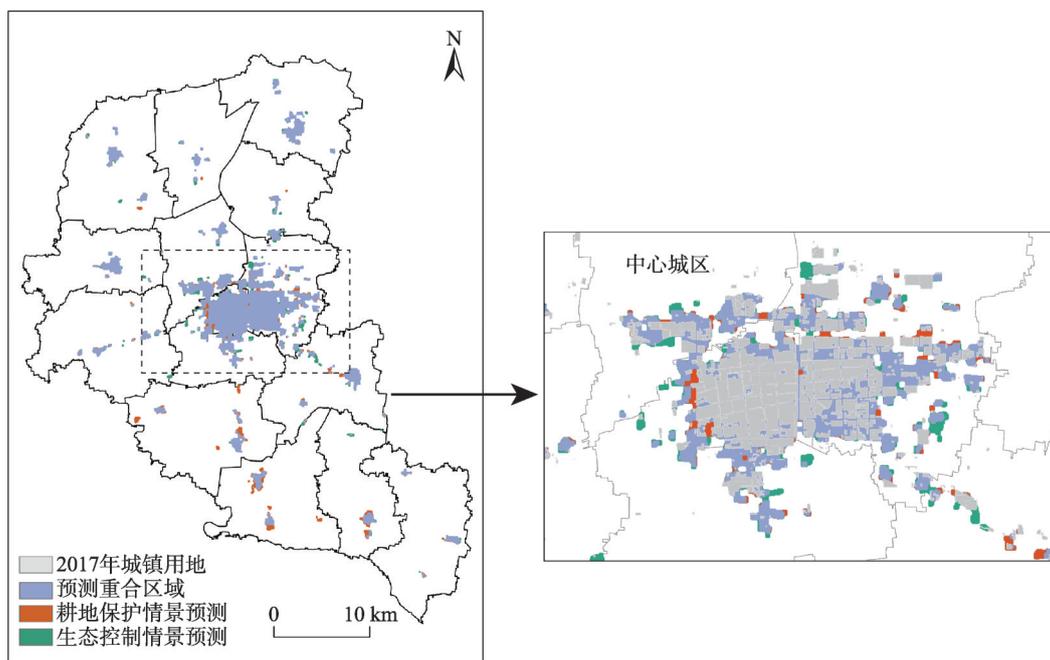


图7 丰县2017年城镇用地扩张预测与现状对比
 Fig. 7 Comparison of urban land expansions and status in Feng Country in 2017



图8 2035年丰县城镇开发边界划定
Fig. 8 The UGBs delineation of Feng County in 2035

城市化已存量用地为主,因此其城镇用地增长面积远低于另2个街道,增长幅度仅为11.10%。常店镇的城镇用地增长4.13 km²,增长面积在所有镇中居首。值得一提的是,大沙河镇和梁寨镇的城镇面积不升反降,分别小幅下降3.28%和3.68%,其大部分镇区位于生态保护红线区内阻遏了其城镇用地的扩张。

6 结论与讨论

在县域城镇迅速扩张的背景下,为实现国土空间规划中城镇开发边界与基本农田和生态红线的

表7 2035年丰县各行政区城镇开发边界面积
Tab. 7 The UGBs area of each administrative region in 2035 in Feng County

行政区	2035年新增面积/km ²	2035年城镇开发范围/km ²	增长面积/km ²	增长幅度/%
孙楼街道	2.52	7.31	4.79	190.16
欢口镇	1.94	5.32	3.38	174.08
师寨镇	0.68	1.65	0.97	142.36
常店镇	3.86	7.99	4.13	106.89
首羡镇	1.53	3.04	1.51	98.88
顺河镇	0.79	1.44	0.65	82.62
凤城街道	15.47	26.85	11.38	73.54
范楼镇	0.97	1.58	0.61	62.65
赵庄镇	2.32	3.12	0.80	34.40
华山镇	2.96	3.82	0.86	29.02
宋楼镇	2.37	2.99	0.62	26.11
王沟镇	2.16	2.43	0.27	12.42
中阳里街道	15.86	17.62	1.76	11.10
大沙河镇	2.61	2.52	-0.09	-3.28
梁寨镇	1.58	1.52	-0.06	-3.68
总计	57.62	89.19	31.57	54.80

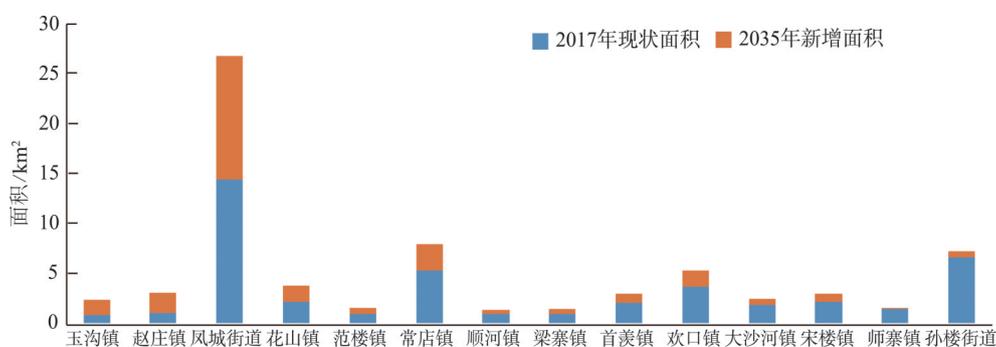


图9 丰县各区域城镇面积
Fig. 9 The area of urban land area in different areas of Feng County

的”三线协调“,本文在现有土地利用模拟研究上的提出了一种基于三线协调的县域城镇开发边界划定方法,适用于县域尺度的城镇开发边界划分,该方法能够协调县域城镇用地与基本农田和生态红线的空间冲突,达到城镇用地的有序增长的目的。本文以丰县为研究区进行模拟与划定,研究结果显示:

(1)FLUS-UGB模型对当前土地利用的模拟精度达到94.7%。基准情景下,未加限制的丰县城镇建设用地呈“摊大饼”状向周边农村居民点用地和耕地扩张;在耕地保护情景与生态控制情景下,建设用地转换依据相应情景规则,在基本农田和生态控制区外呈集约式增长,但在非一致性区域内分异较大。

(2)2035年丰县城镇用地面积为105.11 km²,城镇用地增长边界延交通干道向外“放射式”扩张,有效避免侵占永久基本农田和重要生态用地,实现了城市扩张与永久基本农田和重要生态用地保护的空间协调。

(3)在模拟土地利用变化过程中,基于“三线协调”的开发边界划定方法可以较好地平衡耕地与生态保护对城市扩张之间的冲突,不仅因地制宜地实现了丰县城镇用地在国土空间规划中的合理配置,也满足了永久基本农田和生态用地的保护需求,可以较准确地反应丰县城镇用地的扩张规律。

城镇开发边界的制定需要考虑一定地域内多种因素对土地利用变化的影响,其驱动过程在未来模拟中应是动态的。本研究在尝试组合土地利用变化因子时仅采用单一线性的驱动模式,因此在最后的模拟结果中存在同质性,未来研究中将探索动态驱动模型,引入动态驱动因子,从而提升模拟精度。同时对于政策的变化如何及时有效地表达也是今后研究中重点关注的内容。

参考文献(References):

[1] 中华人民共和国国务院.关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见[EB/OL]. http://www.gov.cn/zhengce/2019-05/23/content_5394187.htm,2019-5-23. [State Council of the PRC, Some opinions on establishing a system of land and space planning and supervising its implementation[EB/OL]. http://www.gov.cn/zhengce/2019-05/23/content_5394187.htm, 2019.5.23.]

[2] 刘彦随.中国新时代城乡融合与乡村振兴[J].地理学报, 2018,73(4):637-650. [Liu Y S. Research on the urban-rural integration and rural revitalization in the new era in

China. *Acta Geographica Sinica*, 2018,73(4):637-650.]

[3] Nelson, James B, Duncan, et al. *Growth management principles and practices*. Bishop APA Planners Press, Chicago, 1995:408.

[4] 段德罡,芦守义,田涛.城市空间增长边界(UGB)体系构建初探[J].规划师 2009,25(8):11-14,25. [Duan D G, Lu S Y, Tian T. Some preliminary exploration of UGB establishment-management system[J]. *Planners*, 2009,25(8):11-15.]

[5] Nelson A C, Pendall R, Dawkins C J, et al. The link between growth management and housing affordability: The academic evidence[M]. The Brookings Institution Center on Urban and Metropolitan Policy, 2002.

[6] Mubarak f. A urban growth boundary policy and residential suburbanization:Riyadh,saudi arabia[J]. *Habitat International*, 2004,4:125-129.

[7] 匡晓明,魏本胜,王路.规模与生态增长并举的城市开发边界划定——以东湖国家自主创新示范区为例.规划师, 2016,32(6):10-15. [Kuang X M, Wei B S, Wang L. Urban development boundary delimitation for both scale and ecology growth: East Lake innovation model district case[J]. *Planners*, 2016,32(6):10-15.]

[8] 周锐,王新军,苏海龙,等.基于生态安全格局的城市增长边界划定——以平顶山新区为例[J].城市规划学刊, 2014(4):57-63. [Zhou R,Wang X J, Su H L, et al. Delimitation of urban growth boundary based on ecological security pattern[J]. *Urban Planning Forum*, 2014(4):57-63.]

[9] 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.]

[10] 叶英聪,孙凯,匡丽花,等.基于空间决策的城镇空间与农业生产空间协调布局优化[J].农业工程学报,2017,33(16):256-266. [Ye Y C, Sun K, Kuang L H, et al. Spatial layout optimization of urban space and agricultural space based on spatial decision-making[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017,33(16):256-266.]

[11] 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[J]. *Journal of Natural Resources*, 2012,27(2):322-331.]

[12] 秦贤宏,段学军,李慧,等.基于SD和CA的城镇土地扩展

- 模拟模型——以江苏省南通地区为例[J].地理科学, 2009,29(3):439-444. [Qin X L, Duan X J, Li H, et al. Yutian.urban land expansion simulation model based on sd and ca: A case study of Nantong city[J]. Scientia Geographica Sinica, 2009,29(3):439-444.]
- [13] 叶高斌,苏伟忠,孙小祥.基于Dyna-CLUE模型的太湖流域建设用地空间扩张模拟[J].长江流域资源与环境, 2018,27(4):725-734. [Ye G B, Su W Z, Ye X X. Simulation of the construction land expansion based on the dyna clue model in Taihu basin[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018,27(4):725-734.]
- [14] Gong J, Hu Z, Chen W, et al. Urban expansion dynamics and modes in metropolitan Guangzhou, China[J]. Land Use Policy, 2018,72:100-109.
- [15] 何丹,金凤君,蔡建明.近20年京津廊坊地区城市增长模拟和预测研究[J].经济地理,2011,31(1):7-13. [He D, Jin F J, Cai J M. Simulation and prediction of urban spatial growth in the past 20 years in jing-jin-lang area[J]. Economic Geography, 2011,31(1):7-13.]
- [16] Li F, Wang L, Chen Z, et al. Extending the SLEUTH model to integrate habitat quality into urban growth simulation [J]. Journal of Environmental Management, 2018,217: 486-498.
- [17] Liu J, Zhang G, Zhuang Z, et al. A new perspective for urban development boundary delineation based on SLEUTH-Invest model[J]. Habitat International, 2017,70: 13-23.
- [18] 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.
- [19] 吴欣昕,刘小平,梁迅,陈广亮.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.]
- [20] 戴青云,余英林.数学形态学在图象处理中的应用进展[J].控制理论与应用,2001,18(4):478-482. [Dai Q Y, Yu Y L. The advances of mathematical morphology in image processing[J]. Control Theory and Applications, 2001,18 (4):478-482.]
- [21] 陆大道,姚士谋,李国平,等.基于我国国情的城镇化过程综合分析[J].经济地理,2007,27(6):883-887. [Lu D D, Yao S M, Li G P, et al. Comprehensive analysis of the urbanization process based on China's conditions. Economic Geography, 2007,27(6):883-887.]
- [22] 刘菁华,李伟峰,周伟奇,等.京津冀城市群景观格局变化机制与预测[J].生态学报,2017,37(16):5324-5333. [Liu J H, Li W F, Zhou W Q, et al. Simulation and prediction of changes in the landscape patterns of the Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region and their driving mechanisms. Acta Ecologica Sinica, 2017,37(16):5324-5333.]
- [23] 徐新良,郑凯迪,张学霞,等.上海市城市空间扩展时空特征与预测分析[J].地球信息科学学报,2012,14(4):490-496. [Xu X L, Zheng K D, Zhang X X, et al. Spatial-temporal characteristics and future prediction of urban expansion in Shanghai[J]. Journal of Geo-information Science, 2012,14(4):490-496.]
- [24] 梅梦媛,陈振杰,张云倩,等.居民活动空间与生态约束协调的城市开发边界划定方法——以长沙市为例[J].长江流域资源与环境,2018,27(11):2472-2480. [Mei M Y, Chen Z J, Zhang Y Q, et al. Study on the delineation method of urban growth boundary under the coordination of residential activity space and ecological constraint: A case study of Changsha,China[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018,27(11):2472-2480.]
- [25] 王海军,夏畅,张安琪,等.基于约束性CA的大都市郊区城镇增长的情景模拟与管控——以武汉市江夏区为例[J].地理科学进展,2016,35(7):793-805. [Wang H J, Xia C, Zhang A Q, et al. Scenario simulation and control of metropolitan outskirts urban growth based on constrained CA:A case study of Jiangxia district of Wuhan city[J]. Progress in Geography, 2016,35(7):793-805.]
- [26] Li X, Yeh A. Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 2002,16(4):323-343.
- [27] Openshaw S. Neural network, genetic, and fuzzy logic models of spatial interaction[J]. Environment and Planning A, 1998,30(10):1857-1872.
- [28] 胡碧松,张涵玥.基于CA-Markov模型的鄱阳湖区土地利用变化模拟研究[J].长江流域资源与环境,2018,27(6): 32-44. [Hu B S, Zhang H Y. Simulation of land-use change in poyang lake region based on ca-markov model [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018,27(6):32-44.]
- [29] 陆汝成,黄贤金,左天惠,等.基于CLUE-S和Markov复合模型的土地利用情景模拟研究——以江苏省环太湖地区为例[J].地理科学,2009,29(4):577-581. [Lu R C, Huang X J, Zuo T H, et al. Land use scenarios simulation based on CLUE-S and Markov composite model: A case

- study of Taihu Lake Rim in Jiangsu province. *Scientia Geographica Sinica*, 2009,29(4):577-581.]
- [30] GB/T 21010-2017土地利用现状分类[S]. 北京:中国标准出版社,2017. [GB/T 21010-2017 Present land use classification[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.]
- [31] 王静爱,何春阳,董艳春,等.北京城乡过渡区土地利用变化驱动力分析[J].地球科学进展,2002(2):201-208. [Wang J A, He C Y, Dong Y C, et al. Analysis of land use/cover driving forces in the urban fringe of Beijing city[J]. *Advances in Earth Science*, 2002,17(2):201-208.]
- [32] 杨梅,张广录,侯永平.区域土地利用变化驱动力研究进展与展望[J].地理与地理信息科学,2011,27(1):95-100. [Yang M, Zhang G L. Hou Y P. Advanced and prospects of the driving force of regional land use change research [J]. *Geography and Geo-information Science*, 2011,27(1): 95-100.]
- [33] 舒帮荣,李永乐,曲艺,等.不同经济发展阶段城镇用地扩张特征及其动力——以太仓市为例[J].经济地理,2013, 33(7):155-162. [Shu B R, Li Y L, Qu Y. Urban land expansion characteristics and its forces under different stages of economic development: A case study of Taicang city [J]. *Economic Geography*, 2013,33(7):155-162.]
- [34] 冯浩城,杨青山.基于遥感数据的建三江垦区城镇用地扩张时空特征及驱动力分析[J].地理科学,2017,37(8): 1178-1185. [Feng H C, Yang Q S. Spatio-temporal characteristics of urban expansion and its driving forces based remote sensing data in Jiansanjiang reclamation area[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2017,37(8):1178-1185.]
- [35] 地理空间数据云[EB/OL]. http://www.gscloud.cn/sources/dataset_desc/310?cdataid=302&pdataid=10&datatype=gdem_utm,2019-12-20. [Geospatial Data Cloud[EB/OL]. http://www.gscloud.cn/sources/dataset_desc/310?cdataid=302&pdataid=10&datatype=gdem_utm,2019-12-20.]
- [36] 美国地质勘探局[EB/OL]. <https://earthexplorer.usgs.gov>, 2019-12-20. [United States Geological Survey[EB/OL]. <https://earthexplorer.usgs.gov>, 2019-12-20.]
- [37] 百度地图开放平台[EB/OL]. <http://lbsyun.baidu.com>. [Baidu Map Location Based Services[EB/OL]. <http://lbsyun.baidu.com>,2019-12-20.]
- [38] 1:100万全国基础地理数据库[EB/OL]. <http://www.webmap.cn/commres.do?method=result100W>. [1:1000000 National Basic Geographic Database [EB/OL]. <http://www.webmap.cn/commres.do?method=result100W>,2019-12-20.]
- [39] 高分湖北中心[EB/OL]. <http://datasearch.hbeos.org.cn>, 2019-12-20. [Hubei center of high resolution earth observation system[EB/OL]. <http://datasearch.hbeos.org.cn>, 2019-12-20.]