

基于“反规划”理念及 FLUS 模型的 城镇用地增长边界划定研究 ——以徐州市贾汪区为例

朱寿红¹, 舒帮荣^{1*}, 马晓冬¹, 梁 迅², 姚 青¹

(1. 江苏师范大学地理测绘与城乡规划学院, 江苏 徐州 221116; 2. 中山大学地理科学与规划学院, 广东 广州 510275)

摘要: 城镇用地增长边界划定对城镇用地扩张调控与管理具有重要意义, 但当前仍无统一划定思路与方法。基于“反规划”理念, 引入 FLUS 模型探讨城镇用地增长边界划定思路, 并以徐州市贾汪区为例, 采用 2009 年和 2014 年数据对 FLUS 模型可靠性进行验证, 对 2020 年研究区土地利用变化进行情景模拟, 在此基础上辅以各部门近期用地需求划定城镇增长边界。结果表明: FLUS 模型模拟结果的 Kappa 指数达 0.95, 总体精度达 0.9628, 各类用地 ROC 值也较高, 说明 FLUS 模型模拟效果较理想; 对基本农田及生态红线严格约束后, 贾汪区城镇发展形态更加紧凑, 2020 年城镇用地增长边界面积为 5 606.39 hm², 占研究区总面积的 9.03%。该研究既遵循了土地利用变化客观规律, 又考虑了基本农田及生态红线等保护要求, 能够有效缓解城镇扩张与基本农田和生态保护之间的矛盾, 有利于引导城镇用地合理发展。

关键词: 城镇用地扩张; 城镇增长边界; FLUS 模型; “反规划”; 贾汪区

中图分类号: TU984 文献标识码: A 文章编号: 1672-0504(2017)05-0080-07

0 引言

经济快速增长使中国大陆城镇化水平从 1978 年的 18.12% 提高到 2015 年的 56.11%^[1], 导致城镇用地迅速扩张, 如 2000—2012 年我国大陆城市建成区面积增长了 1.03 倍^[2], 城市用地扩展弹性系数远高于 1.12 的合理阈值^[3], 表现为冒进式的城镇化^[4], 并已导致生态环境破坏、耕地资源流失等一系列问题。当前, 中国大陆正处于城镇化及工业化转型的关键时期, 未来 30 年城镇用地扩张过程仍将不可避免, 如仍延续过去“摊大饼”式的城镇扩张态势, 土地资源及生态环境将面临极大压力。因此, 如何治理城镇用地蔓延, 引导城镇用地合理扩张, 提高城镇用地利用效率, 提升转型期城镇化质量水平, 成为亟待研究的问题。

城市增长边界 (Urban Growth Boundary, UGB) 理论在治理城市无序蔓延方面的有效性已在欧美实践中得到证明。我国有关 UGB 的研究, 主要是在 2006 年《城市规划编制办法》提出“中心城区空间增长边界”后才全面开展^[5,6]。在实践层面, 为协调土地资源配置在粮食安全、经济增长及生态保护

之间的矛盾, 防止城镇用地盲目扩张, 我国在第三次土地利用总体规划中, 提出了通过确定建设用地扩展边界及规模边界对城乡建设用地进行空间管制的要求, 并在 2016 年土地利用规划调整与完善中进一步强调划定城镇用地增长边界。然而, 在实践中 UGB 的划定标准及操作规范尚不明确、统一。自 UGB 提出以来, 国内外许多学者开展了大量理论与实证研究^[7-9]。目前划定 UGB 的方法可分为两类: 一是从生态适宜性、生态安全格局角度, 用限建区、禁建区等划定^[6,10-13], 这类方法主要关注区域生态因素, 未考虑交通等其他要素对城镇用地空间布局的影响。二是运用各种城市空间增长模型 (如约束性 CA、CLUE-S、多智能体、SLEUTH 等)^[14-22] 对未来城镇用地扩张进行模拟, 进而划定城镇扩张边界, 这类模型兼顾城镇用地历史发展规律, 可为 UGB 划定提供重要参考价值, 但其自身转换规则的确定是其有效性的重要前提, 特别是传统 CA 模型从两期土地利用数据之间的变化进行采样, 用以计算转化概率, 可能造成两期数据间误差的传递。同时, 大部分模型常常单独训练和估计各种土地利用类型的转换概率, 忽略了各土地利用类型间的联系, 难以体现

收稿日期: 2017-07-01; 修回日期: 2017-08-15

基金项目: 江苏省社会科学基金项目 (14GLC005); 国家自然科学基金项目 (41101546、41471144); 江苏高校社科校外基地项目“特色小镇建设与土地管理”

作者简介: 朱寿红 (1991-), 女, 硕士研究生, 研究方向为土地利用规划与土地经济。* 通讯作者 E-mail: bangyunshu@126.com

土地类型间的竞争及相互作用。由刘小平等提出的基于 CA 及“自适应惯性竞争机制”的 FLUS(Future Land-Use Simulation)模型能够较好地解决以上问题,且与其他模型相比具有操作方便、精度较高等优势。在 UGB 划定思路,许多研究缺少对生态红线、基本农田红线及部门用地需求等方面的考虑,“反规划”^[23]通过优先控制不可建设区域进行城市空间规划,有利于引导城镇用地精明增长。因而,基于“反规划”理念,将 FLUS 模型用于划定城镇用地增长边界,可为当前我国城镇用地增长边界划定提供决策参考。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

贾汪区位于徐州市东北部(117°17'~117°42'E, 34°17'~34°32'N),北与山东省枣庄市接壤,东与邳州市为邻,西南与铜山区相连,属苏鲁交界的山前平原地带。2014 年,贾汪区土地总面积为 62 025.92 hm²,其中城镇用地 3 347.82 hm²,占土地总面积的 5.40%。2014 年常住人口 42.61 万人,城镇化率达 53.08%。贾汪区是国家第三批确定的资源枯竭型城市(区、县)之一,也是江苏省唯一的资源枯竭型城市。伴随着经济发展转型,贾汪区基本实现了由传统矿区向现代城区的转变,尤其是在“一带一路”、东陇海线开发战略及徐州市总体发展战略引导下,贾汪区城镇与基础设施建设进一步加快,城镇用地规模不断增加,但当前仍存在城镇“摊大饼”式发展、建设用地利用低效、结构不合理、矿地冲突、耕地保护形势严峻、生态恶化等方面的问题。因此,划定其城镇用地增长边界,对引导其城镇用地合理扩张,协调土地资源在各用地部门间配置的矛盾,具有重要意义。

1.2 数据来源与处理

影响土地利用空间布局的因素主要包括可达性、自然生态环境和相关政策等^[18,24]。根据研究区实际及数据可获取性,本研究选取以下影响因素:1)地形因素:地形条件是决定土地利用类型的关键因素之一^[25],其中高程和坡度是决定土地利用的主要因素^[26],故选择高程及坡度作为地形因素,采用 30 m 分辨率的 DEM 数据在 ArcGIS 支持下分析得出(图 1a、图 1b),DEM 数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。2)可达性因素:交通条件及城镇中心对土地利用(特别是城市建设用地开发)具有重要吸引作用,故本文选择到一般公路的距离、到高速公路的距离、到铁路的距离、到区中心距离和到镇中心距离(图 1c—图 1h)等^[27]作为可达性因素,这些因素通过 ArcGIS 的欧氏距离工具分析得到,其中公路及铁路数据来源于贾汪区交通现状图和规划图。3)自然生态环境因素:自然生态环境因素是土地利用的本底因素,主要包括陡坡、河流、重要生态敏感区、生态功能区、风景名胜区、水源保护地等,其对土地开发利用(特别是城镇用地开发)具有不同程度的限制,主要用于划定生态保护红线(图 2a)。4)相关政策因素:我国基本农田保护政策对城镇用地扩张具有重要约束作用,因此,本研究选择基本农田(图 2b)作为政策性因素,该数据源于贾汪区国土局。

此外,本研究还利用了 2009 年及 2014 年土地利用现状数据,来源于贾汪区国土局。根据研究需要,将土地利用类型调整为 7 类:城镇用地、其他建设用地、耕地、林地、其他农用地、水域及未利用地。其中其他建设用地包括农村居民点、其他独立建设用地、交通水利、原其他建设用地和采矿用地;林地包括园地及原林地。分析过程中,以上所有因素的图层栅格大小均为 30 m×30 m。

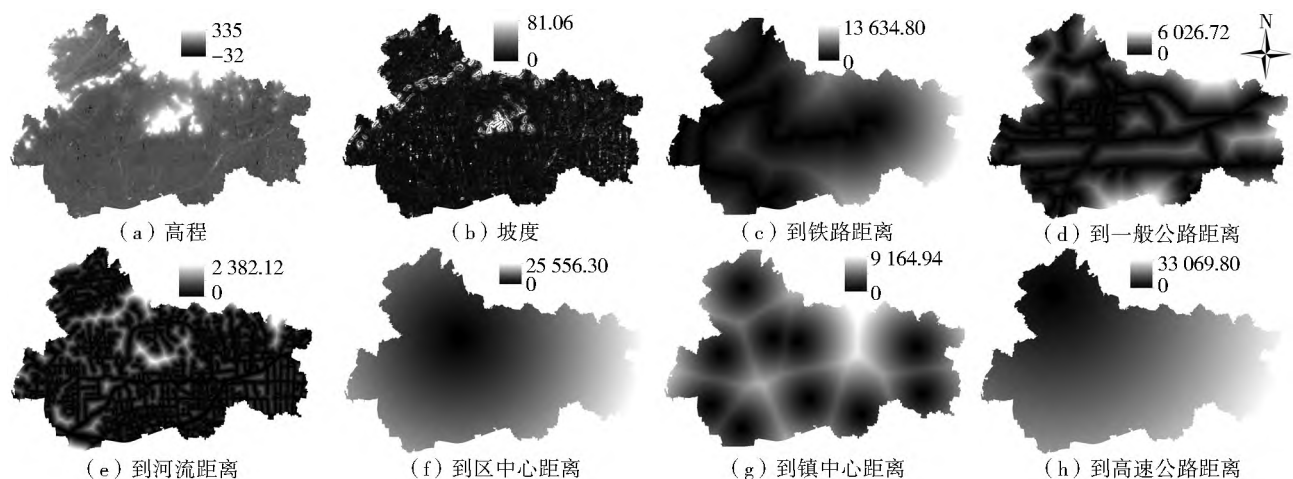


图 1 土地利用变化模拟变量
Fig. 1 Variables for land use change modeling

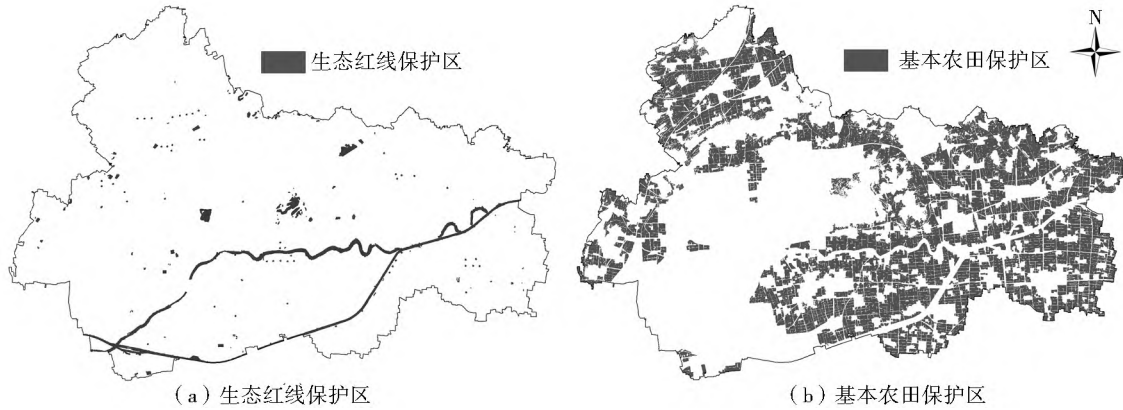


图 2 生态红线保护区和基本农田保护区
Fig. 2 The ecological red line and basic farmland protection areas

2 方法与思路

2.1 FLUS 模型

针对土地利用系统中多种土地利用类型间转变的复杂性,FLUS 模型^{①②}采用了能够有效处理非线性关系的人工神经网络(ANN)模型分析多种土地利用类型转换概率,并基于 CA 模型进行城镇用地空间配置。首先,采用 BP-ANN 训练和评估每个栅格土地利用类型发生的概率;其次,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,BP-ANN 是一种多层前馈神经网络,其基本构成包括一个输入层、一个或多个隐含层和一个输出层^[28]。BP-ANN 一般包括训练和预测两个阶段,其公式为:

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

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

式中: $sp(p, k, t)$ 为第 k 种用地类型在栅格 p 、时间 t 上的适宜性概率; $\omega_{j,k}$ 是隐藏层与输出层间的权值; $\text{sigmoid}()$ 是隐藏层到输出层的激励函数; $\text{net}_j(p, t)$ 表示在第 j 个隐藏层栅格 p 在时间 t 上所接收到的信号。对于 BP-ANN 输出的适宜性概率 $sp(p, k, t)$,在迭代时间 t 栅格 p 上,各类用地的适宜性概率的和恒为 1,即:

$$\sum_k sp(p, k, t) = 1 \quad (2)$$

对于自适应惯性竞争机制,其核心是自适应惯性系数,每种地类的惯性系数根据现有土地需求与土地数量的差异决定,并在迭代中自适应调整,从而使各类用地的数量向目标发展。第 k 种地类在 t 时刻的自适应惯性系数 $Inertia_k^t$ 为:

$$Inertia_k^t = \begin{cases} Inertia_k^{t-1} & |D_k^{t-2}| \leq |D_k^{t-1}| \\ Inertia_k^{t-1} \times \frac{D_k^{t-2}}{D_k^{t-1}} & 0 > D_k^{t-2} > D_k^{t-1} \\ Inertia_k^{t-1} \times \frac{D_k^{t-1}}{D_k^{t-2}} & D_k^{t-1} > D_k^{t-2} > 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中: D_k^{t-1} 、 D_k^{t-2} 分别为 $t-1$ 、 $t-2$ 时刻第 k 种用地类型的栅格数与需求数量之差。

根据以上步骤,分别计算出每个栅格的总概率,通过 CA 迭代,将各用地类型分配到栅格中。栅格 p 在 t 时刻转化为用地类型 k 的总概率 $TProb_{p,k}^t$ 可表示为:

$$TProb_{p,k}^t = sp(p, k, t) \times \Omega_{p,k}' \times Inertia_k^t \times (1 - sc_{c \rightarrow k}) \quad (4)$$

式中: $sc_{c \rightarrow k}$ 为土地利用类型 c 转为类型 k 的成本; $1 - sc_{c \rightarrow k}$ 表示发生转化的难易程度; $\Omega_{p,k}'$ 为邻域作用,其公式为:

$$\Omega_{p,k}' = \frac{\sum_{N \times N \text{ con}} (c_p^{t-1} = k)}{N \times N - 1} \times \omega_k \quad (5)$$

式中: $\sum_{N \times N \text{ con}} (c_p^{t-1} = k)$ 表示在 $N \times N$ 的 Moore 邻域窗口,上一次迭代结束后第 k 种地类的栅格总数,本文中取 $N = 3$; ω_k 为各类用地的邻域作用的权重。

在计算总概率的基础上,FLUS 模型采用具有随机特点的轮盘赌选择模型以实现土地利用类型的转换,从而反映现实世界土地利用变化的不确定性与土地利用的交替变化,更好地体现土地类型之间的竞争。为验证 FLUS 模型的有效性,这里采用历史数据进行模拟,运用总体精度(Overall Accuracy, OA)、ROC 及 Kappa 系数对其精度进行验证。其中,OA、ROC 与 Kappa 介于 0~1 之间,其值越接近于 1,模型精度越高。当 $0.7 < \text{ROC} < 0.9$ 时,有一定准确性,ROC ≥ 0.9 时模型具有较高准确性;当 Kappa ≥ 0.75 时,模型模拟精度较高,当 Kappa 介于 $0.5 \sim 0.75$ 时,模型模拟精度一般^[29]。

① LI X, CHEN G, LIU X, et al. A new global Land-Use and Land-Cover Change Product at a 1-km resolution for 2010 to 2100 based on human-environment interactions[J]. Annals of the American Association of Geographers, 2017(待刊).

② LIU X, LIANG X, XU J, 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(待刊).

2.2 基于“反规划”理念的城镇用地增长边界划定思路

与传统的建设用地规划相比,“反规划”理念认为城市土地利用规划应从非建设用地入手,强调先将绿地生态系统、农田系统及自然保护地系统等用地类型保护和控制起来,构成城镇扩张及土地开发利用不可突破的刚性限制,在此基础上安排建设用地布局规划^[23]。基于此思想,本研究采用以下思路划定目标年城镇用地增长边界。首先,对研究区生态敏感性、农田质量等进行综合评价,划定生态红线、永久基本农田等不宜建设区域。其次,结合土地利用规划中上级下达的用地指标及本地区社会经济发展情况,综合考虑规划期内城镇用地弹性控制需要,确定目标年城镇用地规模。第三,在采用历史数据对 FLUS 模型进行校准及精度验证后,将生态红线、永久基本农田等不宜建设区域作为绝对限制因素,结合目标年各类用地规模约束,采用 FLUS 模型对目标年土地利用空间布局进行情景模拟,并选择合适情景作为城镇用地增长边界划定基础。第四,将近期各用地部门的空间需求作为辅助,结合第三步模拟结果综合划定城镇用地增长边界。

考虑到研究区域属资源枯竭型城市,区域内具有大量采煤塌陷地等区域,因此对于永久基本农田的划定,本文充分考虑研究区矿地统筹需要,将采煤

塌陷严重区域涉及的基本农田全部调出,在综合考虑基本农田数量与质量占补平衡、质量提升等要求下划定永久基本农田。对于生态红线的划定,在充分考虑研究区采煤塌陷区复垦与再开发可能性的基础上,基于最坏情境理论的方法,综合纳入采煤塌陷严重区域、重要生态功能区、风景名胜核心区、水源保护地等区域,选取地质灾害、地形、生物多样性安全及人类安全等方面的生态风险评价因子构建指标体系,采用土地生态耐受度评价模型及 GIS 空间分析功能进行分析,进而划定生态保护红线。以上分析中,对可作为生态修复、复垦为耕地或再开发的区域,基本不作为模型模拟约束条件。

3 结果与分析

3.1 FLUS 模型校准及精度验证

采用 2009 年土地利用现状数据(图 3a,彩图见封 3)对 FLUS 模型进行校准,首先将各因素进行归一化,并提取 30%的栅格样本,进行 ANN 样本训练及适宜性概率计算,从而得到 ANN 参数;其次,将惯性系数初始值设为 1,并导入 ANN 参数及限制因素等图层,进而得到多地类 CA 参数;最后对 2014 年土地利用进行模拟,并将结果与 2014 年土地利用现状进行对比验证(图 3b、3c,彩图见封 3)。

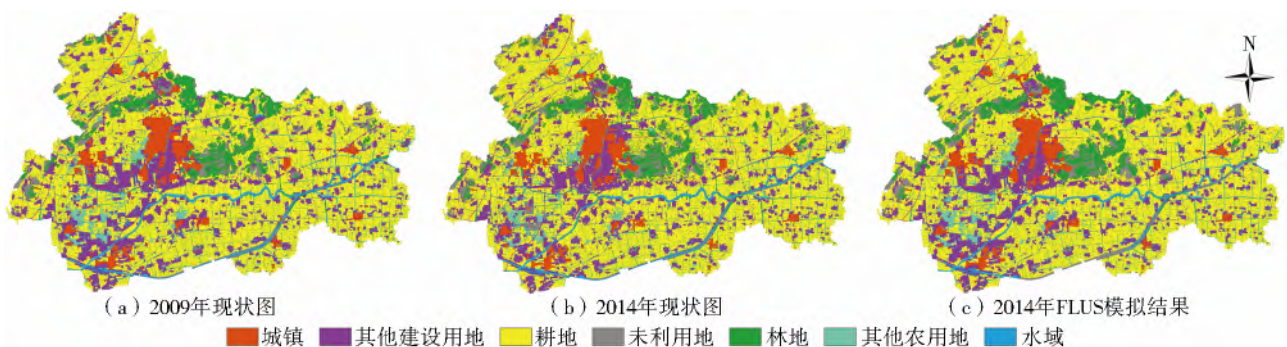


图 3 2009 年和 2014 年土地利用现状图与 2014 年 FLUS 模拟结果
Fig. 3 Land use map in 2009 and 2014 and the simulation result based on FLUS model in 2014

从目视对比检验看,基于 FLUS 的 2014 年土地利用模拟结果(图 3c)与 2014 年现状图相似度较高,但模拟结果中各类用地比土地利用图中各类用地空间布局更为紧凑。从精度验证指标看(表 1),FLUS 模型 2014 年模拟结果 OA 值达 0.9628,ROC 值除其他建设用地及其他农用地相对较低以外,其他用地类型均达 0.80 以上,总体 Kappa 指数达 0.95,比

李鑫等^[24]采用 CLUE-S 模型模拟的结果高,说明 FLUS 模型模拟效果较理想,能较准确地获取土地利用变化历史规律。Liu 等^②的研究也表明,FLUS 模型在土地利用动态模拟中比传统的 ANN-CA 和 CLUE-S 模型精度更高。因此,FLUS 模型适用于模拟未来土地利用变化,其结果用于划定城镇用地增长边界是可行的。

表 1 FLUS 模型 ROC、Kappa 与 OA 系数
Table 1 The values of ROC, Kappa and OA of FLUS model

城镇用地	其他建设用地	耕地	ROC				Kappa	OA
			林地	其他农用地	水域	未利用地		
0.92	0.74	0.80	0.93	0.70	0.93	0.85	0.9628	

3.2 城镇用地增长边界划定

考虑到生态红线及永久基本农田红线划定并非本研究重点关注内容,故本文不分析生态红线及永久基本农田划定结果,仅将其作为模型约束条件纳入 FLUS 模型,从而体现“反规划”理念。同时,对于规划目标年(2020)城镇用地规模,根据徐州市下达的各类用地指标,征求专家意见,对研究区城镇用地规模指标上浮 8%,共 4 280.23 hm²,从而体现规划目标年城镇用地增长边界的弹性控制。在此基础上,以基本农田及生态红线为双约束条件,以 2014 年土地利用现状为基期数据,对贾汪区 2020 年土地利用进行模拟。考虑到本研究主要针对城镇用地增长边界的划定,这里将模拟结果中的地类分为城镇用地及非城镇用地两类,结果如图 4 所示。

以上模拟结果表明,在基本农田保护及生态红线严格控制下,城镇用地呈现紧凑式发展模式,更有利于集约节约用地,体现出基本农田及生态红线对城镇用地发展的空间管制作用,有利于形成提高土地利用效率的倒逼机制。因此,基于“反规划”理念的模拟结果不仅考虑了生态本底及基本农田保护的需要,同时兼顾了城镇用地扩张历史规律,符合当前

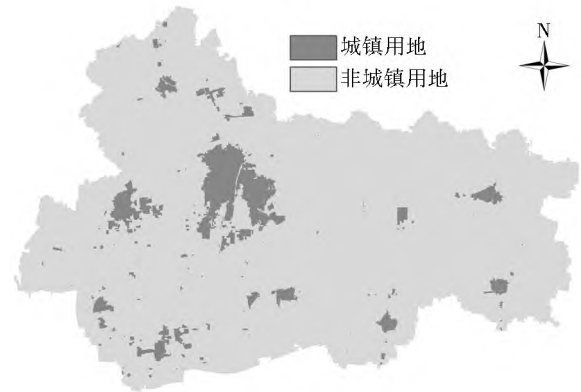


图 4 2020 年 FLUS 模型模拟结果
Fig. 4 Simulation result in 2020 based on the FLUS model

研究区的需要。需说明的是,由于 FLUS 模型考虑到土地利用变化过程中存在突变、混沌等特点,模拟结果会产生少量孤立破碎的城镇用地地块,这些地块不宜划入城镇增长边界,故在划定城镇增长边界时将其删除(图 5)。同时,考虑到不同土地利用部门近期需求,本研究在规划调整完善过程中通过召开各用地部门(交通、城建、农业等)咨询会,了解其近期城镇用地需求,并将其确定的空间位置(图 6)纳入到城镇用地增长边界内,最终划定 2020 年贾汪区城镇用地增长边界(图 7)。

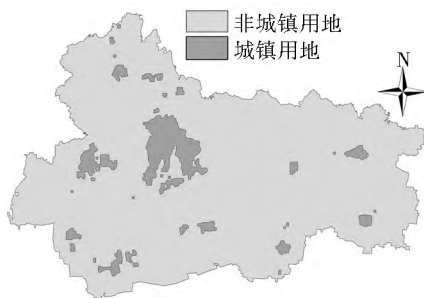


图 5 删除破碎点后 2020 年 FLUS 模型模拟结果
Fig. 5 Simulation results in 2020 based on the FLUS model after removing the broken points



图 6 近期新增城镇用地
Fig. 6 Newly added urban land areas

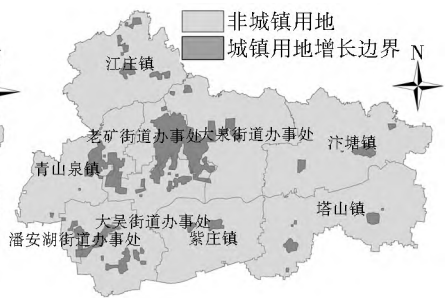


图 7 2020 年城镇用地增长边界划定结果
Fig. 7 The result of UGB in 2020

对城镇用地增长边界划定结果进行统计分析,结果显示,贾汪区城镇增长边界划定范围内总面积为 5 606.39 hm²,占研究区土地总面积的 9.03%,城镇用地增长边界面积较 2014 年城镇用地面积增加 2 258.57 hm²。通过统计得到各区域城镇用地范围及增量(表 2)。结果显示,用地增量较高的城镇多分布在大吴、大泉街道办事处及青山泉镇等区域,而紫庄镇、塔山镇及汴塘镇等新增城镇用地范围相对较小。当然,这里的城镇用地增量仅为城镇用地增长边界范围内的面积与 2014 年城镇用地面积之差,规划实施中实际城镇用地增量需根据研究区实际进行指标分配。

表 2 各区域城镇用地边界及增量面积
Table 2 The area of UGBs and new urban land area in different areas

区域	城镇用地范围(hm ²)	用地增量(hm ²)
大吴街道办事处	1 342.59	810.86
老矿街道办事处	1 213.82	189.11
潘安湖街道办事处	369.28	276.85
紫庄镇	191.72	67.00
塔山镇	224.03	78.53
江庄镇	388.74	190.72
大泉街道办事处	890.81	504.81
汴塘镇	242.26	75.16
青山泉镇	743.13	341.49

4 结论

本文以贾汪区这一资源枯竭型城市为研究区域,基于“反规划”理念将生态红线及永久基本农田

作为约束条件,运用 FLUS 模型,采用神经网络获取土地利用历史变化规律,并计算未来土地利用适宜性概率,采用自适应惯性竞争机制模拟 2020 年土地利用空间布局,并结合各用地部门用地需求划定城镇用地增长边界。研究结果表明:无论从目视对比还是从精度验证指标(OA、ROC 和 Kappa 系数)看,FLUS 模型的模拟精度均较高,特别是总体 Kappa 系数达 0.95,城镇用地、水域、林地等 ROC 值达 0.92 以上,说明 FLUS 模型能较好地反映土地利用变化历史规律。UGB 边界划定结果显示,2020 年贾汪区城镇用地增长边界面积为 5 606.39 hm²,占研究区总面积的 9.03%,该边界同时考虑了土地利用变化客观历史规律、生态红线、基本农田保护以及各用地部门需求,因而可以在充分保障生态环境和粮食安全的基础上满足经济发展与城镇化需要。

土地利用系统是一个复杂巨系统,城镇用地扩张也是一个复杂的过程,其增长边界的划定问题需要考虑多因素的综合作用,综合采用“反规划”理念及复杂系统模拟模型加以解决。FLUS 模型基于自适应惯性竞争的土地利用变化机制,能够处理复杂的土地利用变化,使模拟结果更符合现实世界,因而 FLUS 模型在土地利用变化模拟及城镇用地增长边界划定上具有很好的应用潜力。

当然,UGB 的划定除了考虑本研究的因素以外,还受人口增长、经济发展政策等因素的影响,因而在实际制定城镇用地增长边界时应尽可能选取更为全面的因素,从而使城镇用地增长边界更有利于引导城镇用地合理扩张。同时,土地利用变化模拟模型较多,今后有必要将 FLUS 模型与其他模型进行对比分析,并结合多种模型的优势划定城镇用地增长边界。

参考文献:

[1] 刘兆德,刘强,刘振明,等. 中国省域城镇化综合水平的空间特征与影响因素[J]. 城市发展研究,2017,24(3):95-101.

[2] 李小敏,陈多长. 我国人口城镇化与土地城镇化失调原因分析[J]. 改革与战略,2014,30(12):105-110.

[3] 舒帮荣,朱建军,李永乐,等. 不同经济发展阶段下城市用地规模扩张动力研究——基于省际面板数据的考察[J]. 中国土地科学,2013,27(11):65-71.

[4] 陆大道. 我国的城镇化进程与空间扩张[J]. 城市规划学刊,2007(4):47-52.

[5] 何京. 从“集中建设区”走向“城市开发边界”——试论上海的土地规划空间管制[J]. 上海城市规划,2015(5):81-86.

[6] 王振波,张蕾,张晓瑞,等. 基于资源环境承载力的合肥市增长边界划定[J]. 地理研究,2013,32(12):2302-2311.

[7] 龙瀛,沈振江,毛其智,等. 基于约束性 CA 方法的北京城市形态情景分析[J]. 地理学报,2010,65(6):643-655.

[8] GUNN S C. Green belts: A review of the regions' responses to a changing housing Agenda[J]. Journal of Environmental and Engineering Geophysics,2007,50(5):595-616.

[9] MUBARAK F A. Urban growth boundary policy and residential suburbanization,Riyadh,Saudi Arabia[J]. Habitat International,2004,28(4):567-591.

[10] 储金龙,王佩,顾康康,等. 基于生态安全格局的安庆市规划区空间管制分区研究[J]. 安徽建筑大学学报,2016(3):100-107.

[11] 刘焱序,彭建,孙茂龙,等. 基于生态适宜与风险控制的城市新区增长边界划定——以济宁市太白湖新区为例[J]. 应用生态学报,2016,27(8):2605-2613.

[12] 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.

[13] 吴健生,毛家颖,林倩,等. 基于生境质量的城市增长边界研究——以长三角地区为例[J]. 地理科学,2017,37(1):28-36.

[14] 舒帮荣,刘友兆,张鸿辉,等. 集成变权与约束性模糊 CA 的城镇用地扩张情景模拟[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2013,38(4):498-504.

[15] LIU X, MA L, LI X, et al. Simulating urban growth by integrating landscape expansion index(Lei) and Cellular Automata[J]. International Journal of Geographical Information Science,2014,28(1):148-163.

[16] LONG Y, HAN H, TU Y, et al. Evaluating the effectiveness of urban growth boundaries using human mobility and activity records[J]. Cities,2015,46:76-84.

[17] ZHOU R, ZHANG H, YE X, et al. The delimitation of urban growth boundaries using the CLUE-S land-use change model: Study on Xin Zhuang Town, Changshu City, China[J]. Sustainability,2016,8(11):1182.

[18] SHU B. Modeling urban expansion by using variable weights logistic cellular automata: A case study of Nanjing, China[J]. International Journal of Geographical Information Science,2017,31(7):1314-1333.

[19] 蒋海波,石培基,李寿国,等. 基于 SLEUTH 模型的酒嘉一体化城市扩展预测[J]. 干旱区资源与环境,2017,31(1):25-31.

[20] 刘辉,张志赞,税伟,等. 资源枯竭型城市增长边界划定研究——以淮北市为例[J]. 自然资源学报,2017,32(3):391-405.

[21] 吴佩君,刘小平,黎夏,等. 基于 InVEST 模型和元胞自动机的城市扩张对陆地生态系统碳储量影响评估——以广东省为例[J]. 地理与地理信息科学,2016,32(5):22-28.

[22] 徐杰,罗震东,尹海伟,等. 基于 SLEUTH 模型的昆山市城市扩展模拟研究[J]. 地理与地理信息科学,2016,32(5):59-64.

[23] 俞孔坚,王思思,李迪华,等. 北京城市扩张的生态底线——基本生态系统服务及其安全格局[J]. 城市规划,2010(2):19-24.

[24] 李鑫,马晓冬,肖长江,等. 基于 CLUE-S 模型的区域土地利用布局优化[J]. 经济地理,2015,35(1):162-167.

[25] 龚健,陈耀霖,张志. 基于多分类 Logistic 回归模型的区域土地利用变化及驱动因素研究[J]. 湖北农业科学,2016(17):4545

—4550.

155—162.

- [26] 张大川,刘小平,姚尧,等.基于随机森林 CA 的东莞市多类土地利用变化模拟[J].地理与地理信息科学,2016,32(5):29—36.
- [27] 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):

- [28] 付玲,胡业翠,郑新奇.基于 BP 神经网络的城市增长边界预测——以北京市为例[J].中国土地科学,2016,30(2):22—30.
- [29] 孟成,卢新海,彭明军,等.基于 Markov-C 5.0 的 CA 城市用地布局模拟预测方法[J].中国土地科学,2015,29(6):82—88.

The Delimitation of Urban Growth Boundary Based on the Idea of "Anti-planning" and FLUS Model: A Case Study of Jiawang District, Xuzhou City

ZHU Shou-hong¹, SHU Bang-rong¹, MA Xiao-dong¹, LIANG Xun², YAO Qing¹

(1. School of Geography, Geomatics and Planning, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116;

2. School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The delimitation of Urban Growth Boundary(UGB) is of great significance for the regulation and management of urban land expansion. However, there is no unified scientific delimitation method currently. Thus, based on the idea of "anti-planning", in this paper, the Future Land Use Simulation(FLUS) model was introduced to explore the delimitation method of UGB. Meanwhile, Jiawang district of Xuzhou city was taken as a case study area, and the data of 2009 and 2014 were used to calibrate and verify the reliability of FLUS model, and then the land use change under different scenarios in 2020 was simulated. Based on this, recent land use requirement of different sections was considered into the delimitation of UGB. The results showed that the performance of the FLUS model was good, for its Kappa value was 0.95, the Overall Accuracy was 0.9628, and the ROC of all kinds of land use types were high. The results also showed that the urban land growth morphology was compact under the strict control of basic farmland and ecological red line. The UGB of Jiawang in 2020 was going to be 5 606.39 hm², accounting for 9.03% of the study area. This study not only considers the rules of land use change, but also considers the requirement of the protection of basic farmland and ecological red line, thus it can effectively alleviate the contradiction among urban expansion, basic farmland and ecological protection, as well as contribute to guiding the rational growth of urban land.

Key words: urban land expansion; Urban Growth Boundary; FLUS model; "anti-planning"; Jiawang district

(上接第 55 页)

A Method of Depression Filling with Consideration of Local Micro-Relief Features

ZHOU Lei¹, JIANG Ru-qiao², ZHU Shi-jie³

(1. School of Geographic and Biologic Information, Nanjing University of Posts and Telecommunications,

Nanjing 210023; 2. Suzhou Industrial Park Geonet Information Technology Co., Ltd, Suzhou 215027;

3. Zhejiang Academy of Surveying and Mapping, Hangzhou 310012, China)

Abstract: Depression filling is a basic operation step in the study of distributed hydrological model based on Digital Elevation Models (DEMs). The Priority-Flood (PF) approach is a widely used method for traditional depression filling process due to its relative high efficiency when dealing with a small size of DEM. However, it is still a time-consuming procedure which should be improved significantly. With the increase of DEM resolution, it is a new breakthrough that the efficiency of depression filling should be further improved. In this paper, we find that significant redundant calculations in local micro-relief areas widely exist in conventional Priority-Flood algorithm. Although these redundant calculations seem acceptable when dealing with a small size of DEM, while it is quite time-consuming when dealing with large size of DEM. A Micro-relief Flood Fill (MFF) algorithm is proposed which takes local micro terrain features into full consideration. In this method, redundant points, depressions and flats will be processed optimally, in order to further promote the efficiency of depression filling. And then, 70 DEM data with different sizes are used to test the new algorithm. A comparative analysis is also conducted to investigate the accuracy and efficiency. Experimental results show that the MFF algorithm can not only fill the depression accurately, but also improve the efficiency up to 40.13% than that of W&L algorithm on average and 57.21% at most. This method is expected to provide a new approach to high-efficient hydrological analysis based on DEMs.

Key words: DEM; depression; hydrology analysis; Micro-relief Flood Fill(MFF) algorithm