

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¹

梅梦媛^{1,2}, 陈振杰^{1,2}, 张云倩^{1,2}, 张亚楠^{1,2}

(1. 南京大学地理与海洋科学学院, 江苏南京 210023; 2. 江苏省地理信息技术重点实验室, 江苏南京 210023)

【摘要】: 为了遏制长沙市城市的无序扩张, 促进土地节约集约、高效利用, 保障生态空间质量, 划定长沙市城市开发边界成为重要举措。基于居民活动空间扩展, 选取人口密度、居民活动分布、基础设施布局等多源时空数据, 通过量化居民活动空间扩展概率, 并利用植被覆盖度构建生态约束强度, 确定二者协调规则, 作为 CA 模型的约束条件, 进行城市建设用地模拟, 划定城市开发边界。结果表明: 划定的长沙市城市开发边界, 结果与长沙市“十三五”规划的城市空间发展框架基本一致, 对未来建设用地扩展方向预测合理, 而且避免了侵占重要生态资源, 达到了兼顾城市空间发展和生态资源保护的多重目的。

【关键词】: 城市开发边界 居民活动空间 生态约束 CA 长沙市

【中图分类号】: F301.23 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2018)11-2472-09

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201811009

随着我国社会经济发展和人口的迅速增长, 人类生产和生活的主要场所——城市建设用地空间迅速扩张, 城市化率由 1978 年的 17.90% 提高到 2016 年的 57.35%^[1]。由于缺乏管制约束, 城市的盲目扩张带来了耕地资源和生态绿地减少、空间格局破碎化等一系列城市问题^[2~6]。为抑制城市用地“摊大饼”趋势, 我国在《国家新型城镇化规划(2014-2020 年)》中要求“严格划定永久基本农田, 合理控制城镇开发边界, 优化城市内部空间结构, 促进城市紧凑发展, 提高国土空间利用效率”^[7]。合理划定城市开发边界, 可以实现土地节约集约利用, 优化城市空间布局, 保护农业用地和生态环境^[8, 9]。

关于城市开发边界划定方法, 国内外进行了许多探索性的研究, 如北京^[10, 11]、杭州^[12~14]、武汉^[15~17]、常州^[18, 19]等城市的开发边界划定工作, 划定方法也不尽相同。何春阳等^[20]利用 GIS 空间分析功能, 综合考虑区域环境敏感性和建设用地适宜性, “自下而上”、直观定量地确定区域建设用地扩展边界。徐康等^[21]整合 CA 模型与区域水文模型(SCS), 通过 CA 模型预测城市不透水面积的扩张范围和形态, 作为城市水文模型的参数, 评估城市淹水面积的比例及风险, 根据风险水平确定城市开发边界, 形成一种适用于城市内涝易发区的城市开发边界划定方法。Arsanjani 等^[22, 23]根据形态学理论将因子叠加分析得到城市发展倾向面, 并运用智能体模型预测德黑兰未来城市的扩张情况, 据此划定城市开发边界。Sakieh^[24]利用 SLEUTH 模型从紧凑和粗放两种情景预测城市建设用地扩展情况, 粗放式增长模式识别热点发展区域, 紧凑增长模式决定了城市增长的填充形式, 二者结合划定

¹收稿日期: 2018-03-14; 修回日期: 2018-05-23

基金项目: 国家重点研发计划项目课题(2017YFB0504205); 国家自然科学基金面上项目(41571378, 41571082); 国土资源部城市土地资源监测与仿真重点实验室开放基金资助项目(KF-2015-01-045)

作者简介: 梅梦媛(1994~), 女, 硕士研究生, 主要从事土地利用空间格局优化方面研究。E-mail: mmyl026@163.com

通讯作者 E-mail: chenzj@nju.edu.cn

城市开发边界。

长期以来的实践表明，城市开发边界界定了城市扩展区域和生态农业资源保护区域，在引导城市有序扩张、保护生态空间、实现城市可持续发展等方面起到了很大的推动作用，在多个国家和地区得到了广泛的研究与实践推广 [25~3°]。从各种研究方法看，适宜性评价和城市扩张兼而有之，但对城市内部发展动力和生态资源约束协调欠缺考虑。本研究探寻城市扩展的根源，以人为本，从居民活动空间扩展角度出发，选取人口密度、居民活动分布、基础设施布局等与居民活动空间相关的内部动力因子，进行居民活动空间扩展潜力评估，并基于植被覆盖度构建生态约束强度，以识别城市潜在供给土地，二者协调统筹，科学模拟城市建设用地扩展情形，据此划定城市开发边界。

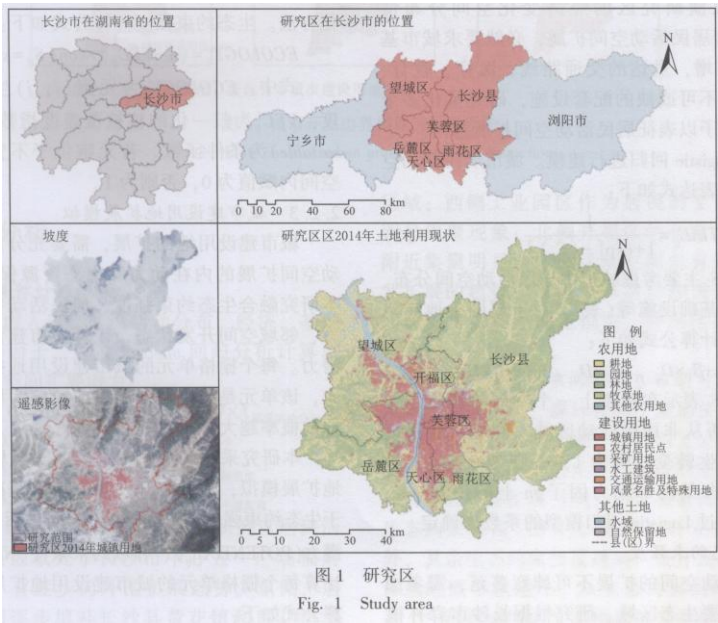
1 研究区概况

长沙市地处湖南省东部偏北，湘江下游和湘浏盆地西缘，是长江中游地区重要的中心城市。随着长沙市经济社会的快速发展，城市功能逐步完善，城市扩展迅猛，城市化率由 2002 年的 46.20% 增长至 2017 年的 77.59% [31~33]。然而，快速城市化导致土地供需矛盾突出、生态问题凸显，阻碍了长沙市的可持续发展。因此，如何科学划定城市开发边界，实现有效控制城市无序扩张、保护生态资源，是长沙市城市化进程中面临的重要问题。本研究的研究区包括长沙市的芙蓉区、雨花区、天心区、开福区、岳麓区、望城区和长沙县，总面积 3907.42km²，该区域人口聚集、城市扩展明显，划定城市开发边界，构筑合理城市空间结构刻不容缓。

2 数据源与研究方法

2.1 数据源

本研究所采用的数据主要有：①2009 年、2014 年土地利用现状数据（源自长沙市国土资源局）；②月际 NPP/VIIRS DNB（2014 年）和 DMSP/OLS（2009、2013 年）夜间灯光数据（源自 NGDC），月均 MODIS NDVI 数据，长沙市数字高程模型（DEM, 30m）数据（源自地理空间数据云平台）；③新浪微博用户签到数据、公交站点数据、地铁站点数据、医疗点数据、教育点数据、商服点数据等互联网大数据（2016 年 12 月，源自新浪微博官网、百度地图和大众点评网）；④长沙市土地利用总体规划，城市总体规划，环境保护中长期规划，基本农田保护专项规划成果等相关空间规划数据（源自长沙市国土资源局、城乡规划局）。



2.2 研究方法

2.2.1 城市居民活动空间分布

城市扩展的本质在于城市人口的增加引起的城市居民活动空间的扩大，包括居住空间、工作生产用地、交通、教育、医疗、商贸等基础设施用地的增加。本研究选取人口密度、经济变化、居民活动分布、距市中心距离、距区县中心距离、距主干道距离、地铁站点密度、公交站点密度、医疗点密度、教育点密度、商服点密度这 11 个与居民活动空间相关的内部动力因子，进行城市居民活动空间扩展潜力评价。

本研究采用夜间灯光数据反演城市人口密度，由于夜间灯光数据反映了城市灯光分布情况，在一定程度上展现的就是城市人口空间分布情况，已有大量的研究证明夜间灯光数据和人口分布之间存在显著的相关性 [34>35]。研究根据常住人口统计数据，采用 NPP/VIIRS 夜间灯光数据反演研究区常住人口密度空间分布情况。由于城市居民日常活动时采用新浪微博进行签到记录空间位置信息，研究采用新浪微博签到数据空间密度分析来体现居民的活动空间分布情况。城市居民生活生产的需求，会直接产生一些产业工作部门，引导城市经济结构调整升级，研究通过夜间灯光数据反演研究区的经济变化空间分布情况 [36]。城市居民活动空间扩展，必然要求城市基础设施的扩增，发达的交通路线、医疗、教育、商场等都是不可或缺的配套设施，研究量化多个基础设施因子以表征居民活动空间扩展意向。

表 1 城市居民活动空间扩展潜力评价因子

Tab. 1 Evaluation indicators for the potential of residential activity space expansion

类别	评价因子	单位
人口	常住人口密度	人/ km ²
	人口活动分布	个/ km ²
经济	经济变化	万元
区位	距市中心距离	km
	距区县中心距离	km
	距主干道距离	km
基础设施布局	交通	公交站点密度
		地铁站点密度
	医疗	医疗点密度
	教育	教育点密度
	商服	商服点密度

采用 Logistic 回归进行建模。城市居民活动空间扩展潜力表达式如下：

$$POTENTIAL_{ij}^t = \frac{1}{1 + \exp[-(S_{ij})]} \quad (1)$$

式中：S_{ij} 主要考虑城市中居民活动空间分布、交通干线、基础设施等（表 1）对于周围土地转化的影响力，计算公式如下：

$$S_{ij} = \text{cons} + \beta_1 \times D_{ij_f1} + \beta_2 \times D_{ij_f2} + \dots + \beta_n \times D_{ij_fn} \quad (2)$$

式中：S_{ij} 表示在城市上一个发展阶段内，元胞（i，j）是否从非居民活动区纳入到城市居民活动区，如发生转变，则为 1，否则为 0。D_{ij_fn} 是元胞（i，j）在某内部动力因子 fn 上的值。cons、β_n 等参数通过 Logistic 回归模型的系数来确定。

2.2.2 生态约束强度

居民活动空间的扩展不可肆意蔓延，需考虑避让城市重要生态区域。研究根据长沙市森林植被众多这一实际情况，计算研究区植被覆盖度反映生态资源分布情况。为提高模型的拟合精度，研究将植被覆盖度与 GoogleEarth 高分影像进行对比，分区域检验植被覆盖度计算结果并修正。通过梳理《长沙市环境保护中长期规划(2015~2030 年)》、永久基本农田划定结果，提取研究区范围内不可进行建设的重要生态区域，作为不宜开发扩展空间，二者结合构建生态约束强度量化方法。生态约束强度计算公式如下：

$$ECOLOGY_{ij}^t = (1 - VFC_{ij}^t) \times \text{con}(S_{ij} = \text{suitable}) \quad (3)$$

式中： $ECOLOGY_{ij}^t$ 为元胞(i, j)生态约束强度， VFC_{ij}^t 为归一化的植被覆盖度指数， $\text{con}(S_{ij} = \text{suitable})$ 为条件函数。若元胞位于不宜开发扩展空间内赋值为 0，否则为 1。

2.2.3 城市建设用地扩展模拟

城市建设用地的扩展，需要充分协调居民活

动空间扩展的内在动力和生态资源保护的需求，本研究融合生态约束强度、居民活动空间扩展潜力、邻域空间开发状态，计算城市建设用地扩展潜力。每个栅格单元的城市建设用地扩展潜力越大，该单元是城市建设用地或扩展为城市建设用地的概率越大。

本研究采用约束型 CA 模型实现城市建设用地扩展模拟，为城市开发边界奠定基础。模型基于生态约束强度($ECOLOGY_{ij}^t$)、居民活动空间扩展潜力($POTENTIAL_{ij}^t$)、邻域约束条件($NEIGHBORS_{ij}^t$)计算每个栅格单元的城市建设用地扩展概率。计算公式如下：

$$P_{ij}^t = ECOLOGY_{ij}^t \times POTENTIAL_{ij}^t \times NEIGHBOR_{ij}^t \quad (4)$$

$NEIGHBOR_{ij}^t$ 为 3×3 邻域在模型迭代过程中的土地开发密度，计算公式如下：

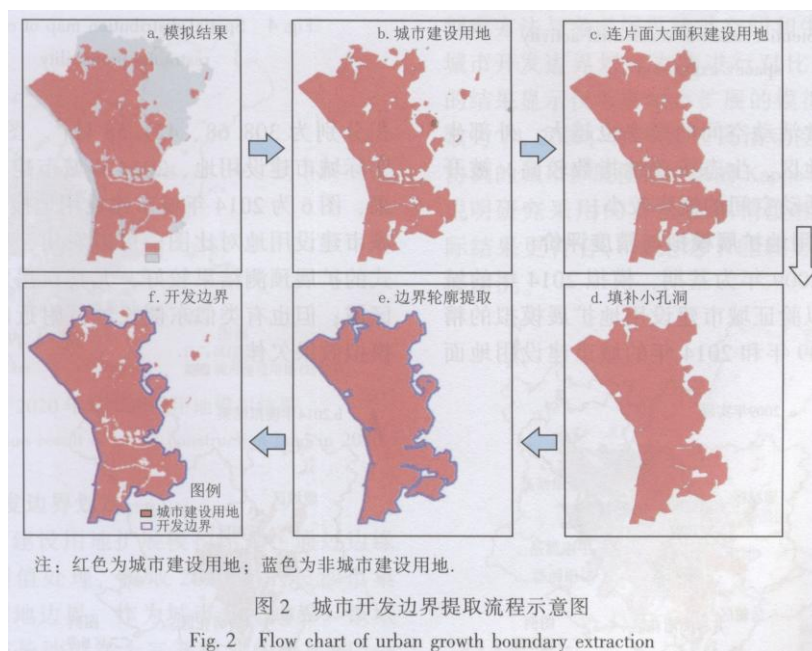
$$NEIGHBOR_{ij}^t = \frac{\sum_{3 \times 3} \text{con}(S_{ij} = \text{urban})}{3^2 - 1} \quad (5)$$

式中： $\text{con}(S_{ij} = \text{urban})$ 是一个条件函数，当元胞(i, j)是城市建设用地时，返回 1；否则返回 0。

2.2.4 城市开发边界划定

城市开发边界是未来一定时期允许城市建设用地扩展的最大边界，代表的是集中连片城市建设用地的连续轮廓，应尽可能多的包含连片的大面积城市建设用地。基于此，本研究通过边缘检测和面积阈值处理方法，提取城市开发边界。从城市建设用地模拟结果中提取出目标年的城市建设用地，根据面积阈值设置，剔除外围零星独立的细小斑块，保留中心区域大面积连续分布的建设用地斑块。融合保留的所有斑块，提取出整块不可分割的多边形，填补其中的较小孔洞。通过边缘检测，提取出多边

形的边界轮廓，制图综合形成城市开发边界。城市开发边界提取流程如图 2 所示。



3 结果分析

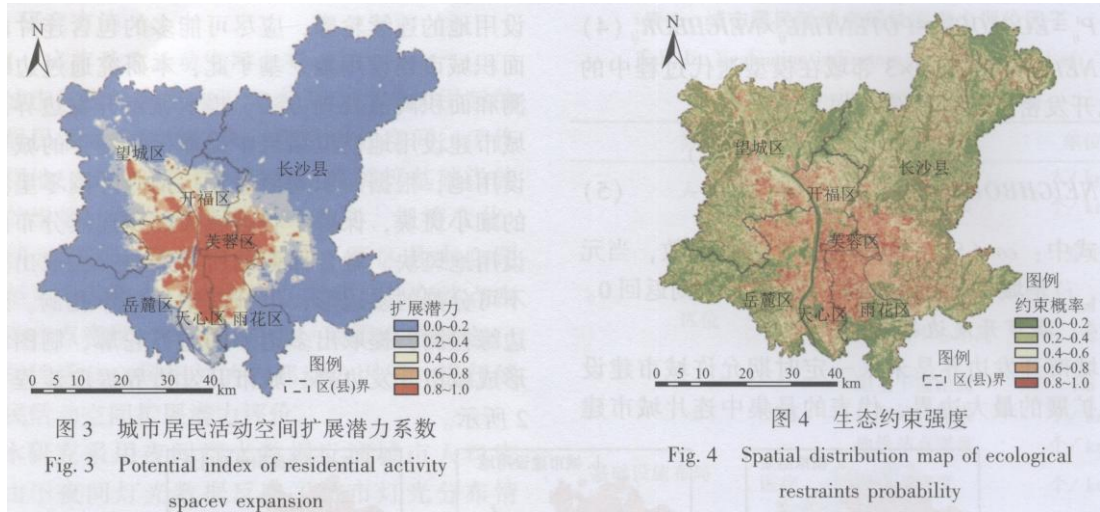
3.1 约束条件计算结果

综合考虑人口、居民活动分布、经济、基础设施布局等因子，通过 Logistic 回归分析计算城市居民活动空间扩展潜力：

$$S_{ij} = -2.02 + 55.54 \times X_{\text{商服点密度}} + 7.77 \times X_{\text{居民活动分布}} + 6.03 \times X_{\text{人口密度}} + 3.76 \times X_{\text{经济变化}} + 3.65 \times X_{\text{公交站密度}} + 2.75 \times X_{\text{教育点核密度}} - 1.85 \times X_{\text{距区中心距离}} - 0.12 \times X_{\text{距主干道距离}}$$

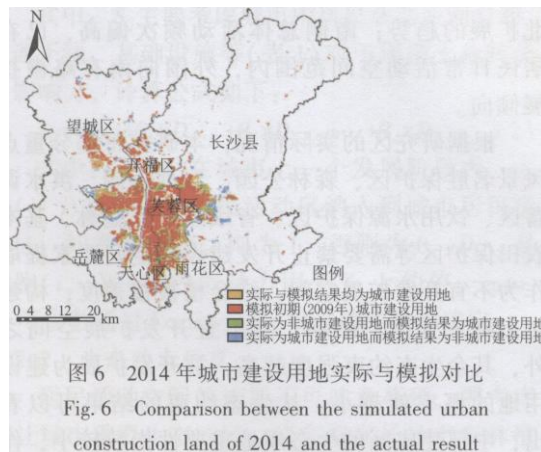
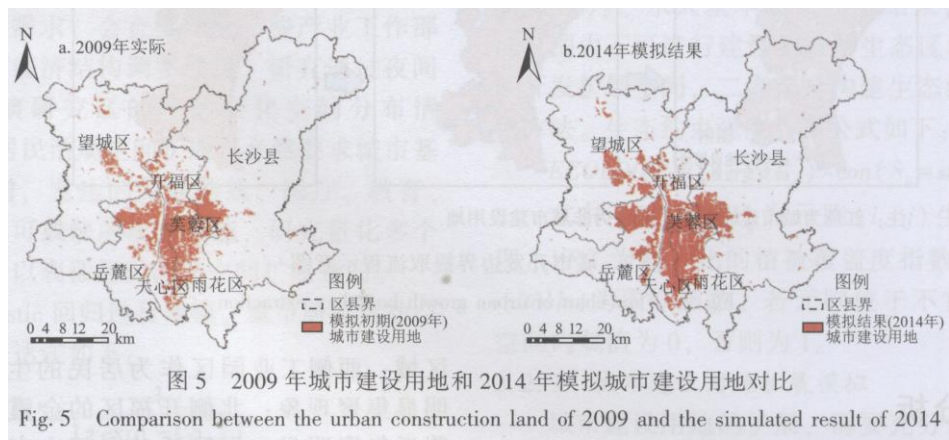
从计算结果(图 3)可以看出，研究区居民活动频次最高区域处于长沙市中心五一广场辐射范围圈内，有逐步向外围扩展趋势。东侧，居民活动空间逐步填补长沙县黄花镇和黄花机场区域；西侧工业园区作为居民的生产场所，有明显集聚现象；北侧开福区的金霞经济开发区附近集聚明显，居民活动空间也有进一步向东北扩展的趋势；南侧总体活动频次偏高，已在居民日常活动空间范围内，外围向南有略微扩展倾向。

根据研究区的实际情况，本研究将部分重点风景名胜保护区、森林公园、湿地公园、洪水调蓄区、饮用水源保护区、省级以上公益林、基本农田保护区等需要禁止开发建设的空间要素提取作为不宜开发扩展空间，结合植被覆盖度，构建生态约束强度(图 4)。除不宜开发扩展空间之外，其余生态约束强度越高，被开发扩展为建设用地的概率就越小。从生态约束的结果可以看出，中部建成区的生态用地重要性指数较小，作为城市居民日常活动空间的概率也越大，外部生态资源丰富的地区，生态重要性指数较高，被开发成居民日常活动空间的概率较小。



3.2 城市建设用地扩展模拟与精度评价

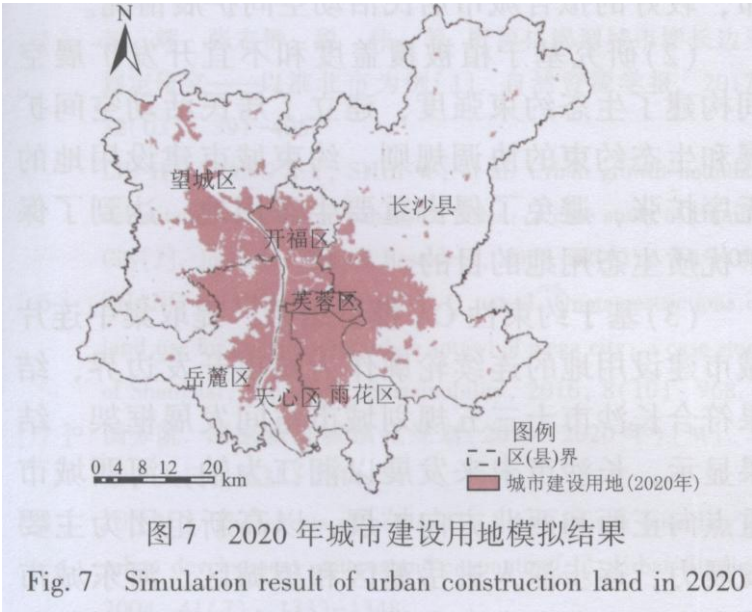
本研究以 2009 年为基期，模拟 2014 年的城市建设用地，以验证城市建设用地扩展模拟的精度。研究区 2009 年和 2014 年的城市建设用地面积分别为 308.68、421.58km²。图 5 为 2009 年实际城市建设用地、2014 年城市建设用地模拟结果，图 6 为 2014 年城市建设用地模拟结果与实际城市建设用地对比图。可以看出，模型对于集聚式的扩展预测结果较好，尤其在岳麓区西侧延伸区域；但也有类似东侧长沙县附近的跳跃式扩展模拟效果欠佳。



本研究采用 Kappa 系数评价模型的模拟精度，根据表 2 中的元胞统计数据，计算 2009–2014 年城市建设用地模拟的 Kappa 系数为 86.72%。根据 Cicchetti 等的研究，当 Kappa 系数大于 80%时，预测结果的一致性就达到极佳水平 [37, 38]。因此，本研究构建的模型模拟精度佳，可以用于模拟研究区未来城市建设用地空间布局。

表 2 2014 年模拟结果和实际地类混淆矩阵				
Tab. 2 Cell matrix of the simulated urban construction land of 2014 and the actual result				
		2014 年模拟		
		城市建 设用地	非城市建 设用地	总计
2014 年实际	城市建设用地	37 162	4 996	42 158
	非城市建设用地	4 996	343 588	348 584
	总计	42 158	348 584	390 742

以 2014 年为基期，以 2020 年为模拟目标年，模拟近期的城市建设用地空间格局演变。从模拟结果（图 7）可以看出，从 2009 年至 2020 年，城市居民活动空间不断向外扩展，其中正东和正西方向呈现高强度扩张模式；从 2014 年开始，长沙市城市建设用地在正北、西北和东南方位向外扩展明显。



3.3 城市开发边界划定

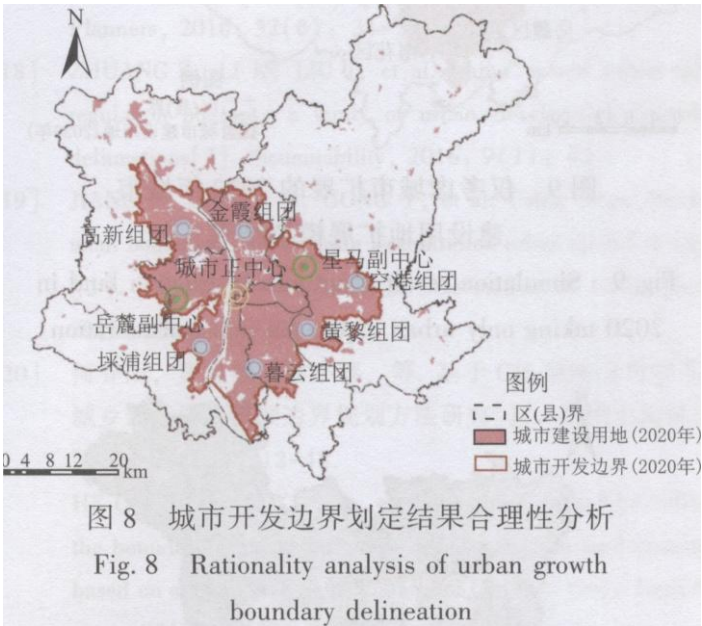
基于城市建设用地扩展模拟结果，通过边缘检测和面积阈值处理，提取 2020 年的长沙市集中连片建设用地边界，作为城市开发边界。该城市开发边界与长沙市在十三五规划中提出的“一轴两带多中心、一主两次六组团”的总体发展框架基本一致（图 8）。长沙市以湘江为发展轴，围绕滨水两岸打造湘江高端服务业功能集聚区，河西以湘江新区为战略平台，建设国家自主创新引领示范基地，河东利用独特的交通枢纽优势，打造临空经济示范区、智能制造经济带、高端服务经济产业带、文化旅游产业带，形成长沙对外开放发展的大格局。

模拟结果在东北方向填补了黄花岗镇与主城区之间的空白，使得东北部在整体向外延伸的同尺寸，用地更加集约紧凑，这与规划的星马空港联功高度一致；西部建设用地在正西方向从岳麓区延伸扩展至望城区，扩展主要分布在雷锋镇范围，在西北方向上沿湘江扩展延伸深入望城区内，这符合规划以高新技术产业开发区为核心，发展湘江新区，安排工业用地和配套设施

的要求；东南方向依托黄黎组团，向外略有扩展，与规划黄黎组团建设综合交通枢纽新城的要求吻合。总体上 2020 年的城市建设用地模拟结果在城市发展方向上是符合长沙市发展规划的，在城市建设用地模拟结果的基础上划定城市开发边界结果基本符合城市未来扩展趋势，同时因生态约束强度的限制，划定的城市开发边界也保护了城市的生态资源和农业资源。

3.4 讨论

研究将仅考虑城市扩展模拟的城市开发边界划定方法与考虑居民活动空间和生态约束协调的城市开发边界划定方法进行对比。模拟 2014 年的结果显示仅考虑城市扩展的模拟结果 Kappa 系数为 74.20%，而考虑居民活动空间与生态约束协调的城市扩展模拟结果的 Kappa 系数为 86.72%，说明研究采用的方法模拟精度相对较高，与实际结果更符合，相比之下能较好的反映城市扩展情况。



同样以 2014 年为基期，不考虑居民活动空间和生态约束，仅考虑城市扩展模拟 2020 年建设用地空间格局演变。从模拟结果可以明显看出，仅考虑城市扩展的模拟结果（图 9）是一种建设用地“摊大饼”式的扩展，内部填充无序导致许多生态用地被蚕食，包括湘江、捞刀河、谷山森岭公园、岳麓山等都或多或少的被侵占，而在生态约束下的城市扩展（图 7）避让了城市的重要生态节点，有效保护了重要生态资源。此外，仅考虑城市扩展的模拟结果（图 9）在原有建设用地基础上，聚集式的向外扩散，却忽略了居民活动空间格局变化，如城市的东侧，由于居民活动明显增多，考虑居民活动空间的建设用地模拟（图 7）在东侧明显有一点跳跃式组团发展，这和实际情况的空港组团大规模建设是符合的，而图 9 却在东侧没有向外延伸。从划定的城市开发边界（图 10）可以看出，仅考虑城市扩展的城市开发边界划定结果没有考虑生态用地需求（岳麓山公园、长沙园林生态园等区域被纳入城市开发边界范围内），没有包含跳跃式发展的城市建设用地（空港组团、暮云组团等区域），而居民活动空间与生态约束协调下的城市开发边界划定结果基本符合长沙市未来空间发展形态，保护了优质生态用地，保障了长沙市经济社会的可持续发展。

4 结论

本文基于多源时空数据，从居民活动空间扩展角度出发，选取多个与居民活动空间分布相关的城市扩展内部动力因子，用

Logistic 回归分析方法构建城市居民活动空间扩展潜力评价体系，基于植被覆盖度和不宜开发扩展区域计算量化生态约束强度，改进 CA 模型以模拟目标年城市建设用地，并据此划定长沙市城市开发边界。研究主要结论如下：

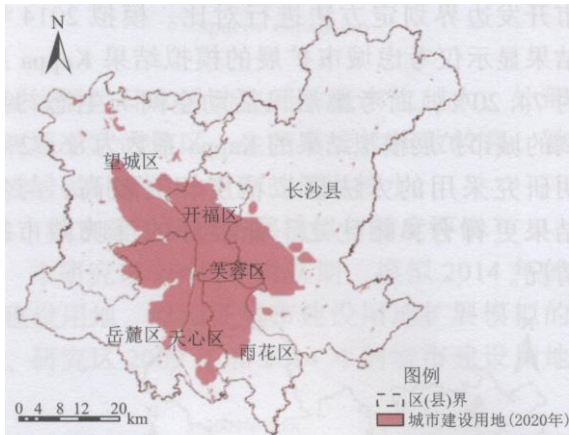


Fig. 9 Simulation result of urban construction land in 2020 taking only urban expansion into consideration



Fig. 10 Comparison of urban growth boundary delineation

- （1）综合运用夜间灯光数据、微博签到数据、公共服务设施等多源时空数据，量化城市居民活动空间分布情况，构建了城市居民活动空间扩展潜力模型，能够有效度量城市居民活动空间分布，较好的拟合城市居民活动空间扩展情况。
- （2）研究基于植被覆盖度和不宜开发扩展空间构建了生态约束强度，建立了居民活动空间扩展和生态约束的协调规则，约束城市建设用地的无序扩张，避免了侵占重要生态用地，达到了保护优质生态用地的目的。
- （3）基于约束性 CA 模型结果，提取集中连片城市建设用地的连续轮廓作为城市开发边界，结果符合长沙市十三五规划城市空间发展框架。结果显示，长沙市未来发展以湘江为轴，河西城市重点向正西和西北方向扩展，以高新组团为主要发展力，逐步深入进岳麓区和望城区。河东城市重点向正东和东南方向扩展，依托空港组团和黄梨组团，联动开福区、雨花区和长沙县，形成新的经济产业带。

研究提出的居民活动空间与生态约束协调的城市开发边界划定方法，从城市居民活动空间扩展出发，兼顾城市扩展和生态资源保护，通过模拟城市未来建设用地情况，进而划定城市开发边界。该划定思路适用于大部分城市的开发边界划定，尤其对土地后备资源匮乏、生态环境脆弱的发展中城市开发边界划定具有良好的应用前景，对其他类型城市的城市开发边界划定也具有一定的参考价值。由于每个城市发展模式、土地利用结构、生态用地资源等属性不同，城市扩展的影响因子和生态约束因子会有所差异，因此不同类型的城市需根据具体情况选取对应的影响因子，进行城市开发边界划定。

参考文献：

[1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京： 中国统计出版社，1978-2017.

[2] HUANG Z, WEI Y D, HE C, et al. Urban land expansion under economic transition in China: a multi-level modeling analysis[J]. Habitat International 2015(47) : 69-82.

-
- [3] WEI Y, ZHANG Z. Assessing the fragmentation of construction land in urban areas: an index method and case study in Shunde, China[J]. Land Use Policy, 2012, 29(2) : 417-428.
- [4]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.
- LIU Y X, PENG J, SUN M L, et al. Delimitation of urban growth boundary based on ecological suitability and risk control: a case of taibai lake new district in Jining City, Shandong, China. [J]. Chinese Journal of Applied Ecology. 2016: 27 (8) : 2605-2613.
- [5]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(03): 391-405.
- LIU H, ZHANG Z Y, SHUI W, et al. Urban growth boundary delimitation of resource-exhausted cities: a case study of Huaibei City [J]. Journal of Natural Resources, 2017 , 32(03) : 391-405.
- [6] ZHANG Y, CHEN Z, CHENG Q, et al. Quota restrictions on land use for decelerating urban sprawl of mega city: a case study of Shanghai, China[J]. Sustainability, 2016, 8(10): 968.
- [7]国务院. 国家新型城镇化规划(2014~2020 年)[M]•北 京: 人民出版社, 2014.
- [8] JUN M J. The effects of portland ' s urban growth boundary on urban development patterns and commuting[J] • Urban Studies, 2004, 41(7) : 1333-1348.
- [9] BALL M, CIGDEM M, TAYLOR E. Urban growth boundaries and their impact on land prices [J]. Environment & Planning A, 2014, 46(12) : 3010-3026.
- [10] 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(04): 486-492.
- HU Y C, FUL, LI Q. The prediction of beijing urban growth boundary [J]. Journal of Geo-Information Science, 2017 , 19 (04) : 486-492.
- [11] 龙瀛, 韩吴英, 毛其智. 利用约束性 CA 制定城市增长边界[J]. 地理学报, 2009, 64(8) : 999-1008.
- LONG Y, HAN H, MAO Q. Establishing urban growth bounda-ries using constrained CA [J] • Acta Geographica Sinica, 2009, 64(8) : 999-1008.
- [12] 杨建军, 周文, 钱颖. 城市增长边界的性质及划定方 法探讨——杭州市生态带保护与控制规划实践[J]. 华中 建筑, 2010, 28(1) : 122-125.
- YANG J J, ZHOU W, QIAN Y. Discussion on the character and defined methods of urban growth boundary: a case study of the protection and control planning of ecological ecological zone in Hangzhou [J]. Huazhong Architecture, 2010, 28 (1): 122-125.

-
- [13] 李咏华.生态视角下的城市增长边界划定方法——以杭州市为例[J].城市规划, 2011, (12): 83-90.
- LI Y H. Method of determining urban growth boundary from the view of ecology: a case study of Hangzhou [J]. City Planning Review, 2011, (12) : 83-90.
- [14] 张振广,张尚武.空间结构导向下城市增长边界划定理念 与方法探索——基于杭州市的案例研究[J].城市规划学 刊,2013, (4): 33-41.
- ZHANG Z G, ZHANG S W. The ideas and methods of spatial structure-oriented urban growth boundary delimitation — a case study of Hangzhou City [J]. Urban Planning Forum, 2013, 32 (4) : 33-41.
- [15] HE Q S, TAN R H, GAO Y, et al. Modeling urban growth boundary based on the evaluation of the extension potential: a case study of Wuhan city in China [J]. Habitat International, 2018(72): 57-65/
- [16] HU S, TONG L, FRAZIER A E, et al. Urban boundary extraction and sprawl analysis using Landsat images: a case study in Wuhan, China [J]. Habitat International, 2015, 47 (47): 183 -195.
- [17] 胡飞,何灵聪,杨昔.规土合一、三线统筹、划管结 合——武汉城市开发边界划定实践[J].规划师, 2016, 32 (6): 31-37.
- HU F, HE L G, YANG X. Urban planning and land use plan integration, three lines coordination, planning and management combination: Wuhan urban development boundary practice [J]. Planners, 2016, 32(6) : 31 -37.
- [18] ZHUANG Z, LI K, LIU J, et al. China's new urban space regulation policies: a study of urban development boundary delineations[J] • Sustainability, 2016, 9(1): 45.
- [19] JIANG P, CHENG Q, GONG Y, et al. Using urban development boundaries to constrain uncontrolled urban sprawl in China [J]. Annals of the American Association of Geographers, 2016, 106(6) : 1321-1343.
- [20] 何春阳,贾克敬,徐小黎,等.基于GIS空间分析技术的 城乡建设用地扩展边界规划方法研究[J].中国土地科学, 2010, 24(03): 12-18.
- HE C Y, JIA K J, XU X L, et al. Planning method for defining the boundary of the urban and rural construction land expansion based on spatial analysis technology of GIS [J] • China Land Science, 2010, 24(3) : 12-18.
- [21] 徐康,吴绍华,陈东湘,等.基于水文效应的城市增长 边界的确定——以镇江新民洲为例[J].地理科学, 2013, 33(08) : 979-985.
- XU K, WU S H, CHEN D X, et al. The urban growth boundary determination based on hydrology effect: taking Xinminzhou as an example [J]. Scientia Geographica Sinica, 2013 , 33(8): 979-985.
- [22] ARSANJANI J J, HELBICH M, VAZ E D N. Spatiotemporal simulation of urban growth patterns using agent-based modeling: the case of Tehran[J]. Cities, 2013, 32(32) : 33-42.

-
- [23] JOKAR A J, MARCO H, JAFAR M A. A morphological approach to predicting urban expansion [J]. Transactions in Gis, 2014, 18(2) : 219-233.
- [24] SAKIEH Y, AMIRI B J, DANEKAR A, et al. Simulating urban expansion and scenario prediction using a cellular automata urban growth model, SLEUTH, through a case study of Karaj City, Iran [J]. Journal of Housing & the Built Environment, 2015, 30(4) : 591-611.
- [25] LONG Y, HAN H, LAI S K, et al. Urban growth boundaries of the Beijing Metropolitan Area: Comparison of simulation and artwork [J]. Cities, 2013, 31(2) : 337-348.
- [26] MA S, LI X, CAI Y. Delimiting the urban growth boundaries with a modified ant colony optimization model [J]. Computers Environment & Urban Systems, 2017 , 62: 146-155.
- [27] 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.
- [28] TAYYEBI A, PIJANOWSKI B C, TAYYEBI A H. An urban growth boundary model using neural networks, GIS and radial parameterization : an application to Tehran, Iran [J]. Landscape & Urban Planning, 2011, 100(1-2) : 35—44.
- [29] HEPINSTALL C J, COE S, HUTYRA L R. Urban growth patterns and growth management boundaries in the Central Puget Sound, Washington, 1986-2007 [J]. Urban Ecosystems, 2013, 16(1) : 109-129.
- [30] 任君, 刘学录, 岳健鹰, 等. 基于 MCE-CA 模型的嘉峪关市城市开发边界划定研究[J]. 干旱区地理(汉文版), 2016, 39(5) : 1111-1119.
REN J, LIU X L, YUE J Y, et al. Delimiting the urban development boundary of Jiayuguan City based on MCE-CA model [J]. Arid Land Geography, 2016, 39(5) : 1111-1119.
- [31] 湖南省统计局. 长沙市统计局关于 2002 年国民经济和社会发展统计公报. [EB/OL]. http://www.hntj.gov.cn/tjfx/tjgb/szgb/zss/201507/t20150717_4326856.html, 2003-04-16.
- [32] 湖南省统计局. 长沙市 2017 年国民经济和社会发展统计公报. [EB/OL]. http://www.hntj.gov.cn/tjfx/tjgb/szgb/zss/201804/t20180403_4986306.html, 2018-04-09.
- [33] 长沙市人民政府. 长沙市土地利用总体规划(2006~2020 年)实施评估报告[Z]. 2017. 02. 08.
- [34] ELVIDGE C D, BAUGH K E, KIHN E A, et al. Relation between satellite observed visible-near infrared emissions, population, economic activity and electric power consumption [J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(6): 1373-1379.

-
- [35] MA T, ZHOU C, PEI T, et al. Responses of Suomi-NPP VIIRS- derived nighttime lights to socioeconomic activity in China' s cities [J] • Remote Sensing Letters, 2014, 5(2): 165-174.
- [36] LO C. Urban indicators of China from radiance-calibrated digita DMSP-OLS nightttime images [J]. Annals of the Association o American Geographers, 2002, 92(2) : 225-240.
- [37] FEINSTEIN A R, CICCHETTI D V. High agreement but loi kappa: I. The problems of two paradoxes[J]. Journal of clinici epidemiology, 1990, 43(6) : 543-549.
- [38] CICCHETTI D V, FEINSTEIN A R. High agreement but lo kappa: D . resolving the paradoxes [J] • Journal of clinic epidemiology, 1990, 43(6) : 551 -558.