

沈阳市城市扩展与土地利用变化多情景模拟

吴晓青^{1,2}, 胡远满^{1*}, 贺红士¹, 布仁仓¹, 郝凤明^{1,3}

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016;

2. 中国科学院烟台海岸带可持续发展研究所, 烟台 264003; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 利用基于遥感手段获取的沈阳市城市扩展与土地利用变化历史数据, 对 SLEUTH 城市扩展模型进行校正, 对未来 (2005~2030 年) 不同管理情景下的城市扩展与土地利用变化过程进行模拟, 并对其发展变化趋势和生态环境影响进行分析与比较。结果显示, 在三种管理情景下, 未来的沈阳市城市建设用地都将持续增加, 大量的耕地资源被侵占; 但不同管理情景下, 城市景观格局和区域面临的景观生态风险却表现出明显差异。SLEUTH 模型的模拟结果较好地反映了沈阳市不同土地利用政策、规划方案等对未来城市扩展和土地利用变化以及区域景观生态风险的潜在影响, 同时也指出了当前城市增长管理政策中存在的不足之处。

关键词: 城市扩展; 土地利用变化; 情景模拟; SLEUTH; 沈阳市

文章编号: 1000-0585(2009)05-1264-12

1 引言

元胞自动机 (Cellular Automata, CA) 作为一种微观动态模拟方法, 因其简洁性和具有模拟地理复杂系统时空演化过程的能力, 在城市扩展模拟中具有巨大的优势。许多学者在不断扩展标准 CA 的基础上, 结合分形理论^[1]、多因子评价模型^[2,3]、Logistic 模拟^[4]、神经网络^[5~7]、马尔柯夫链^[8]、多智能体^[9]等模拟方法和 GIS、RS 技术手段, 先后对城市系统动态进行深入研究, 构建相应的城市扩展 CA 模型, 并进行实际应用。通过这些基于 CA 的微观动态模型, 采用情景 (Scenario) 模拟方法, 用户可以实现基于历史发展趋势的未来预测; 产生不同的城市增长类型或者优化的城市形态和城市空间结构^[10,11]; 进行各种政府政策与城市规划的评估^[12,13]; 与其他环境评估模型结合, 探讨城市扩展所带来的生态环境效应^[14]等, 从而可以对复杂的城市增长系统进行模拟及调控实验, 为城市规划或者环境管理提供辅助决策依据。受制于数据要求、校正和验证方法以及应用的时空尺度, 大多城市扩展 CA 模型很难进行移植, 不具有普适性。比较而言, SLEUTH 模型具有较强的普适性^[15], 受到广泛应用, 在城市增长与景观变化模拟与预测、区域开发政策与城市规划方案评估以及环境影响评价方面具有较高的模拟效力和重要的应用价值^[12~16]。但是, 目前这个模型在我国的应用还很少^[17~19]。

近年来, 我国学者利用 CA 理论, 结合数据挖掘的各种方法和技术^[20~23], 直接从遥

收稿日期: 2008-06-07; 修订日期: 2009-06-09

基金项目: 中科院知识创新工程前沿领域项目 (O6LYQY1001) 和国家科技支撑计划资助项目 (2006BAJ10B05-03)。

作者简介: 吴晓青 (1978-), 女, 山东肥城人, 博士, 助理研究员。主要从事 GIS、遥感和景观生态学研究。

E-mail: xqwu@yic.ac.cn

*通讯作者: 胡远满, 研究员, 博士生导师。E-mail: hym@iae.ac.cn

感图像和 GIS 数据中自动获取 CA 模型的参数值和转换规则,对东莞、深圳、广州等城市的空间扩展过程进行了模拟。然而,这些模型大多只是通过模型构建来拟合历史数据,侧重于对城市扩展空间格局的模拟,缺乏对城市扩展机制的理解和相关理论的探讨,而且利用这些模型开展情景模拟分析,为城市发展提供决策支持的应用研究非常少。到目前为止,我国仍没有一个普遍通用的城市扩展动态模拟模型,这与我国快速的城市化国情显然不相称。在这种背景下利用国外成熟的模型进行我国城市扩展动态研究,不仅可以节省模型开发的时间和成本费用,为开发具有中国特色的模型积累丰富的经验,而且将会对现阶段我国城市化的健康发展起到重要的指导作用。

沈阳市是东北地区最大的中心城市,是辽宁中部城市群、“沈阳经济区”的核心。自解放以来,沈阳市经历了快速的城市化过程,特别是进入 21 世纪后,伴随着中心城区快速向外扩张,基本农田大量流失,区域景观和生态环境质量日益下降,给地区城市增长管理和可持续发展带来严峻挑战。本研究以沈阳市辖区为例,利用基于遥感手段获取的沈阳市城市发展与土地利用变化历史数据(1988~2004 年)对 SLEUTH 模型进行校正与准确性评估,对未来(2005~2030 年)不同管理情景下的城市扩展与土地利用变化过程进行模拟,并对其土地利用变化趋势和生态环境影响进行分析与比较,以期在城市增长管理与区域可持续发展提供决策支持。

2 数据和方法

2.1 SLEUTH 模型

SLEUTH (Slope, Land use, Exclusion, Urban extent, Transportation, Hillshade) 模型^[15, 24]基于地方尺度引入地形、现存城市分布、交通网络、时间因素和随机因素模拟城市区域的土地利用变化,特别是非城市土地利用类型到城市土地利用类型的转换,以考察新增长的城市区域是如何吞噬周围土地,影响自然环境的。它由两个 CA 模型即城市扩展模型 UGM (Urban Growth Model) 和土地覆被变化模型 LCDM (Land Cover Delta-tron Model) 组成。其中,UGM 模型可以独立运行,而 LCDM 需要与 UGM 耦合在一起运行。

SLEUTH 由标准 CA 结构构成:即元胞是同质的像元栅格空间;细胞状态为城市土地利用和非城市土地利用(UGM)或者安德森(Anderson)一级土地利用分类(LCDM);邻域是摩尔型邻居;土地利用转换规则包括四个增长规则和一个自修正规则,由五个增长系数或参数控制,每个系数的取值都是 0~100 内的整数(表 1)。四个增长规则即自发增长、新传播中心增长、边缘增长和道路影响增长,模型运行时按照上述顺序应用这些增长规则,并给予边缘增长主导性地位^[12]。模型运行中记录增长率,若超过或低于系统设定的临界高值或者低值,自修正规则就自动调节系数以准确反映城市增长的非线性过程^[25]。为减少不确定性,模型采用蒙特卡罗模拟(Monte Carlo, MC)方法,将迭代运算结果求平均值并记录到模型输出统计文件中(图 1)。

SLEUTH 模型的运行分为三个阶段即测试阶段、校正阶段和预测阶段。测试阶段确保模型正确编译和运行;校正阶段是模型应用中最重要而又最耗时的过程,目的是通过对历史时期城市增长的模拟来产生最好的预测未来城市增长的初始系数值;预测阶段即利用从校正阶段获得的一套最优系数,模拟不同管理情景下的城市扩展与土地利用变化格局,为城市增长战略制定及规划方案选择提供指导。

表 1 SLEUTH 模型模拟的增长类型

Tab 1 Summary of growth types simulated by the SLEUTH model

增长环顺序	增长规则	控制系数	模拟的增长类型描述
1	自发增长	扩散系数	新城市化细胞的随机发生
2	新传播中心增长	繁衍系数	从自发增长而来的新城市细胞成为未来的扩展中心
3	边缘增长	蔓延系数	新城市化细胞从现有城市中心向外或向内蔓延式增长
4	道路影响增长	道路引力系数, 扩散系数, 繁衍系数	新城市化细胞沿着交通网络的增长
贯穿	坡度阻抗	坡度阻抗系数	高坡度降低城市化概率
贯穿	排除图层	用户定义	用户定义完全或部分不可城市化的区域

注: 引自参考文献 [12].

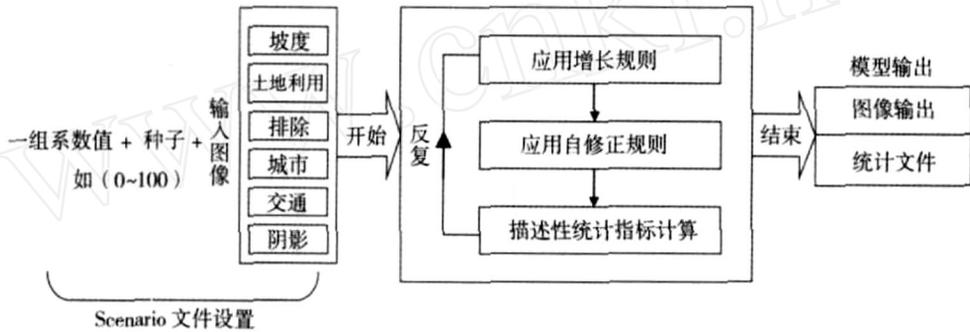


图 1 SLEUTH 模型基本模拟流程图

Fig. 1 Flowchart for basic simulation of the SLEUTH model

2.2 数据准备与处理

数据源包括 5 个时相的 Landsat TM 遥感影像 (1988、1992、1997、2000、2004)、地形图 (1:10 万, 1981)、DEM (25m)、城区航空影像图 (1997、2001)、沈阳城区图 (2000、2005)、沈阳市地区图 (1:21 万, 2004)、2004 年沈阳市土地利用图、1990s 郊区土地利用图及社会经济统计年鉴。首先, 利用地形图对 TM 遥感影像进行几何精纠正, 误差控制在 1 个像元以内。在地形图、航空影像图、沈阳城区图、土地利用图等相关图片的辅助下, 利用目视解译方法获得沈阳市辖区 5 个时相的城市范围图以及 1988 年和 2004 年的土地利用图, 并通过实地调查进行检核。其中, 2004 年土地利用图经过野外 GPS 定点检验, 分类精度达到 80.2%。土地利用类型包括耕地、林地 (含果园)、草地、水域、城市建设用地、其他建设用地和未利用土地七类。模型模拟时将草地并入未利用土地以提高模型模拟准确性。

交通图从地形图、沈阳市地区图以及 TM 影像上数字化得到, 年份与城市范围图匹配。基本要素包括县级以上的主干道, 并按照它们对城市发展的重要性分为二级, 分别赋值为 50、100。为产生较为准确的预测结果, 还在 2004 年交通图基础上, 按照 2004~2008 年间新道路的建设以及“十一五”沈阳市交通规划绘制了 2008 年的交通图, 添加了沈彰、沈抚新线、沈西开发大道、沈北开发大道等主要交通线, 并修改了某些道路的权重。排除图层示出了不同土地单元不可被城市化的概率 (0~100%), 是进行城市扩展情景模拟的有效工具。用于模型校正的排除图层 (a) 参考了地形图和 1988 年的 TM 影像, 包括主要的公园 (80%) 和水体 (100%)。百分比坡度图层和山体阴影图层由 DEM 计算

得到。所有的数据在 ArcGIS 中进行处理，并转换为 60m 分辨率的 Grid 图像。

2.3 模型校正与情景设计

利用 SLEUTH 模型进行沈阳市城市扩展与土地利用变化模拟，模型运行阶段与参数设置见表 2。SLEUTH 模型的校正采用“强力校正” (brute force) 方法，即利用计算机反复计算不同参数组合所产生的模拟结果与实际情况的拟合度^[26]，以找到能最好地模拟沈阳市区 1988~2004 年间城市扩展格局的一套控制系数值。本文选取 compare, population, Lee-Sallee, F-match^[25] 4 个指标的乘积作为综合值来选取最优系数，最终获得研究区的五个增长系数分别为：6 (扩散系数)、100 (繁衍系数)、26 (传播系数)、15 (坡度阻抗系数) 和 34 (道路引力系数)。然后，利用获取的最优系数集初始化模型的预测模块，重建历史时期 (1988~2004) 的城市扩展过程，并对模型的模拟准确性进行定量评估。

表 2 SLEUTH 模型运行阶段与参数设置

Tab 2 Operation phases and settings of coefficients in SLEUTH model

项目	模型校正	历史模拟	管理情景模拟			
			CT	PP	ES	
模拟期	1988~2004	1988~2004	2004~2030	2004~2030	2004~2030	
分辨率 (m)	60	60	60	60	60	
输入数据	城市范围图层	1988、1992、1997、2000、2004	1988	2004	2004	
	土地利用图层	1988、2004	1988	2004	2004	
	道路图层	1988、1992、1997、2000、2004	2004	2004、2008	2004、2008	
	排除图层	(a)	(a)	(b)	(c)	(d)
	坡度与阴影图层	DEM 计算生成，保持不变				
	扩散系数	6	6	6	50	6
	繁衍系数	100	100	100	100	25
增长系数	传播系数	26	26	26	100	
	坡度阻抗系数	15	15	15	15	
	道路引力系数	34	34	34	100	34
自修正规则参数	boom = 1.01, bust = 0.9					
坡度限制 (%)	> 21 %	> 21 %	> 21 %	> 21 %	> 15 %	

通过修改 SLEUTH 模型的输入图层和调整模型参数可以实现不同管理情景下的城市扩展与土地利用变化预测。其中，排除图层是情景设计的主要媒介，用户借助 GIS 在排除图层中定义不被城市化区域的概率即排除概率 (0~100%) 来反映不同的城市发展和环境保护政策。本研究主要通过修改排除图层和模型增长系数设计了三种城市发展管理情景：1) 目前趋势发展情景 (CT)，即未来城市扩展保持 1988~2004 年间的发展趋势，其排除图层 (b) 基本保持校正阶段的排除要素，只是根据 2004 年的 TM 影像进行了某些地理要素的更新，比如丁香湖范围的扩大 (图 2A)；2) 城市规划与区域发展情景 (PP)，考虑沈阳市最新修编的 2005~2020 年城市发展总体规划和新近提出的浑南大开发、沈北大开发，以及辽宁省积极推进的“沈阳大经济区”建设等区域开发政策对未来城市扩展的可能影响。首先，设计 6 条自中心城区向外辐射的发展轴带作为未来城市扩展的主要空间，而对城市规划近期为城市用地和绿地的区域分别给予 0% 和 60% 的排除概率；其次，

保持 CT 情景下的排除要素, 并对上述排除区之外的区域给予 100 % 的排除概率以控制城市扩展, 目的是突出政策与规划的影响, 保护远离城市聚集区的基本农田与林地 (图 2B); 同时, 提高模型扩散系数与道路引力系数以较好地反映城市规划与区域发展政策对城市扩展的影响; 3) 生态环境保护管理情景 (ES), 限制城市用地侵占连续成片的林地、基本农田、水体和东部水源涵养地等对区域生态安全起重要作用的生态系统, 保护生态环境, 寻求城市区域的可持续发展。为此, 对排除要素设置不同缓冲区, 给予不同程度的保护 (图 2C), 并相应调高传播系数和调低繁衍系数。三种管理情景均是以 2004 年作为起始预测年份, 对未来 2005 ~ 2030 年间的城市扩展与土地利用变化过程进行模拟。模型运行时都加入 2008 年的交通图层, 蒙特卡罗迭代次数设置为 100。

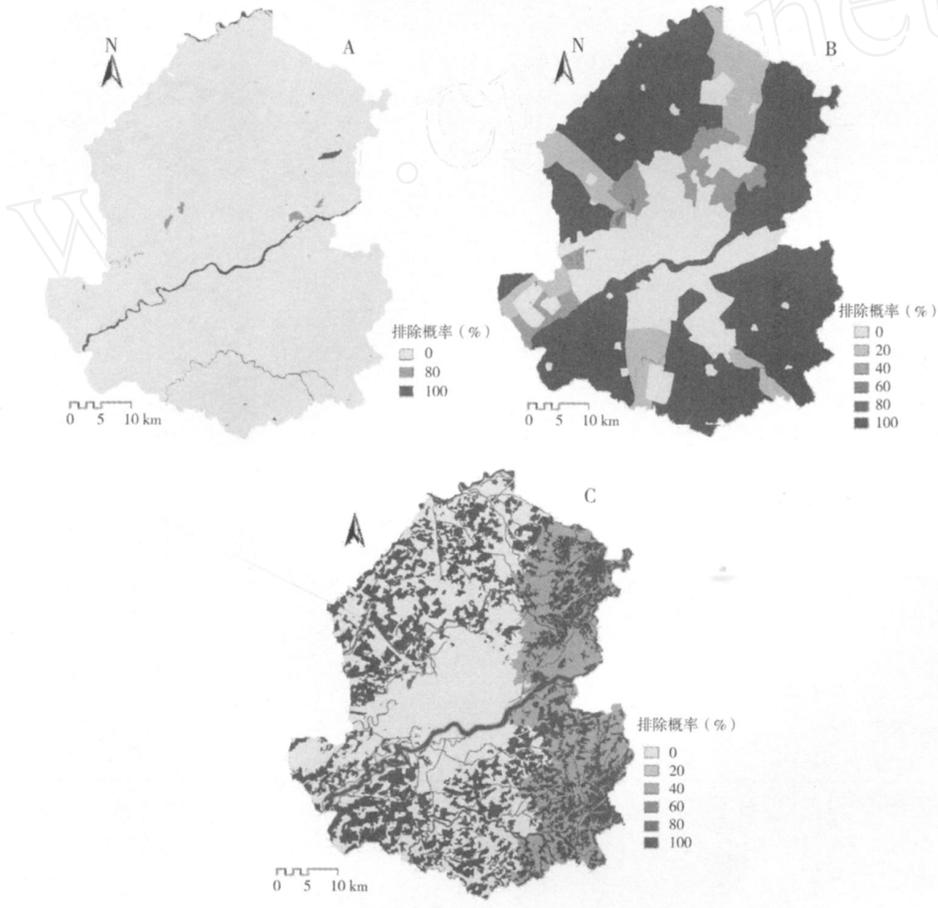


图 2 不同城市发展管理情景下的排除图层

A. 排除图层 (b): 目前趋势发展情景 CT; B. 排除图层 (c): 城市规划与区域发展情景 PP;
C. 排除图层 (d): 生态环境保护管理情景 EP

Fig. 2 Exclusion layers for different urban management policy scenarios, (A) Scenario CT;
(B) Scenario PP; (C) Scenario EP

2.4 景观生态风险评价

基于景观结构和土地利用信息构建综合生态风险指数, 用于描述不同管理情景下城市扩展引起的景观生态风险的相对大小, 计算公式如下:

$$ER = \sum_{i=1}^N \frac{A_i}{TA} \times E_i \times R_i \quad (1)$$

式中： ER 为综合生态风险指数； N 为景观组分类数量； A_i 为区域内第 i 种景观组分的面积； TA 为区域总面积； E_i 是基于景观格局的生态环境指数； R_i 为生态风险强度参数。

$$E_i = aC_i + bS_i + cD_i \quad (2)$$

式中： C_i 为破碎度； S_i 景观分离度； D_i 为面积加权平均斑块分维数；三个指标从不同角度来衡量景观格局变化的生态效应； a 、 b 、 c 为指标权重，且 $a + b + c = 1$ 。根据专家打分和层次分析法，以上三种指数分别赋以 0.5、0.3、0.2 的权值，从而计算出各类景观的格局指数。生态风险强度参数 R_i 是根据不同景观组分类类型所反映出的综合生态风险程度，参考前人的研究成果^[27~29]，采用专家咨询法确定，分别为：城市建设用地 0.91、耕地 0.31、林地 0.16、水域 0.18、其他建设用地 0.69、未利用土地 0.35。

3 结果与分析

3.1 模型校正与重建结果分析

经过三个序列阶段的校正，模型拟合优度从 0.6069 提高到 0.6208。其中，关键性指标 F-match 的值从 0.8972 提高到 0.9125，说明模型校正取得了较好的结果。Kappa 统计显示，2004 年土地利用观测图与模拟图之间的总体 Kappa 统计值达到 0.758，而城市建设用地类型的 Kappa 统计值则更高一些，达到 0.767，这说明该模型的模拟准确性达到了应用的基本要求。

对 1988~2004 年间的城市增长与土地利用变化模拟图与观测图进行一致性分析^[30]。结果显示，在 60m 分辨率下，两幅图的总体一致性达到 86.37%，其中偶然一致性为 16.67%，数量上和位置上的一致性分别为 27.09% 和 42.61%。在不一致性组成中，位置上的不一致性为 10.67%，数量上的不一致性为 2.96%（图 3）。说明模型对土地利用变化数量上的拟合度要好于对土地利用变化位置上的拟合度。经过叠加发现，模拟图与观测图的不一致性主要分布在中心城区周边和河流附近未利用土地类型分布地区。随着分辨率的降低，土地利用变化观测图与模拟图的总体一致性上升，位置上的不一致性降低，表明模型对土地利用变化空间位置和邻域关系的表达趋于提高（图 3）。总体来说，SLEUTH

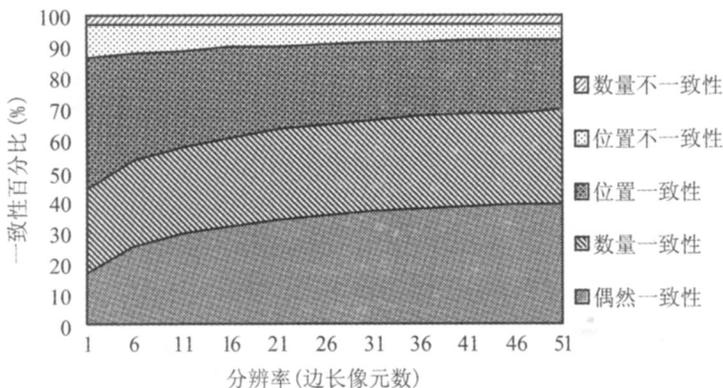


图 3 2004 年土地利用观测图与模拟图的多分辨率误差预算

Fig. 3 Multiple-resolutions error budget between the observed and simulated land use maps for 2004

模型对过去 16 年间沈阳市城市扩展与土地利用变化总体趋势拟合较好, 可以用来进行区域未来城市扩展与土地利用变化的预测与情景模拟。

3.2 未来城市扩展与土地利用变化趋势

按照 1988~2004 年的发展趋势, 2030 年沈阳市城市建设用地面积将达到 739.2 km², 比 2004 年增加 277.0 km², 年均增长 10.7 km² (表 3)。其他用地类型面积均有不同程度的减少, 其中耕地流失量最大, 达到 135.2 km²; 林地、其他建设用地和未利用土地分别减少 44.4 km²、58.2 km² 和 31.6 km²; 水域面积变化不大, 缩减 7.6 km²。分析发现, 由城市化进程导致的城市建设用地扩张在未来土地利用演变过程中仍占据主导地位。据预测, 26 年间耕地、林地、水域、其他建设用地和未利用土地向城市建设用地的转换面积分别占到城市增长面积的 81.2%、5.3%、2.7%、10.2% 和 0.6%, 年损失量分别为 864.6 ha、56.1 ha、29.2 ha、108.9 ha 和 6.5 ha (表 3)。耕地和其他建设用地是城市建设用地增加的主要来源, 26 年间共有 224.8 km² 的耕地和 28.3 km² 的其他建设用地被侵占或融合。从城市扩展空间格局上来看, 未来城市扩展将集中在现有城镇边缘, 沿道路发展的趋势也较为明显, 沈阳经济技术开发区、浑南新区、辉山农业高新区以及主要城镇都将获得较程度的发展 (图 4A、B)。但是, 在无较强约束和管理条件下, 对区域生态安全起重要作用的林地和水域也不可避免地受到城市建设用地的侵占 (图 4B)。

表 3 不同管理情景下土地利用面积变化和城市建设用地对其他用地类型的侵占面积比例和速率

Tab 3 Change area of land use types and area percent and rate of resources loss resulting from urban growth under different policy scenarios

土地利用类型	2030 年各类型面积 (km ²)			各类型变化面积 (km ²)			侵占速率 (ha · a ⁻¹)			侵占面积比例 (%)		
	CT	PP	EP	CT	PP	EP	CT	PP	EP	CT	PP	EP
城市建设用地	739.2	666.9	809.1	277.0	204.6	346.8	-	-	-	-	-	-
耕地	2041.4	2079.3	1988.4	-135.2	-97.3	-188.2	864.6	667.8	1085.7	81.2	84.9	81.4
林地	288.7	304.5	291.5	-44.4	-28.6	-41.6	56.1	16.3	38.6	5.3	2.1	2.9
水域	87.4	90.6	90.4	-7.6	-4.4	-4.6	29.2	17.1	17.7	2.7	2.2	1.3
其他建设用地	314.2	327.7	292.9	-58.2	-44.7	-79.5	108.9	84.1	187.9	10.2	10.7	14.1
未利用土地	6.6	8.7	5.3	-31.6	-29.5	-32.8	6.5	1.7	3.8	0.6	0.2	0.3

城市规划与区域发展情景和生态环境保护情景下, 土地利用类型面积变化趋势与目前趋势发展情景下的发展变化相似, 即城市建设用地面积增加, 其他用地类型面积减少, 城市扩展过程在土地利用演变中具有重要作用。相比而言, 在生态环境保护情景下, 因鼓励城镇沿现有建设用地向外边缘式扩展, 城市建设用地面积增加较快, 达到 346.8 km²; 造成每年 1085.7 ha 的耕地被城市建设用地侵占, 187.9 ha 的其他建设用地被融合为城市用地, 分别占到城市增长面积的 81.4% 和 14.1%。但是耕地、林地、水域和未利用土地类型损失面积比例较低, 说明生态环境保护政策对重要的生态系统和自然资源起到良好的保护作用。城市规划与区域发展情景下, 城市扩展受到较强的空间限制, 边缘增长类型受到约束, 城市增长面积低于目前趋势发展情景, 为 204.6 km²; 每年有 667.8 ha 的耕地和 84.1 ha 的其他建设用地被城镇建设用地侵占。但是, 与另外两种情景相比, 耕地的损失比例较高, 达到 84.9%。原因是该情景下, 鼓励城镇沿道路向外扩展和自发式增长, 发展轴带内较大面积的非基本农田被城市建设用地侵占。从城市扩展空间格局上来看, PP

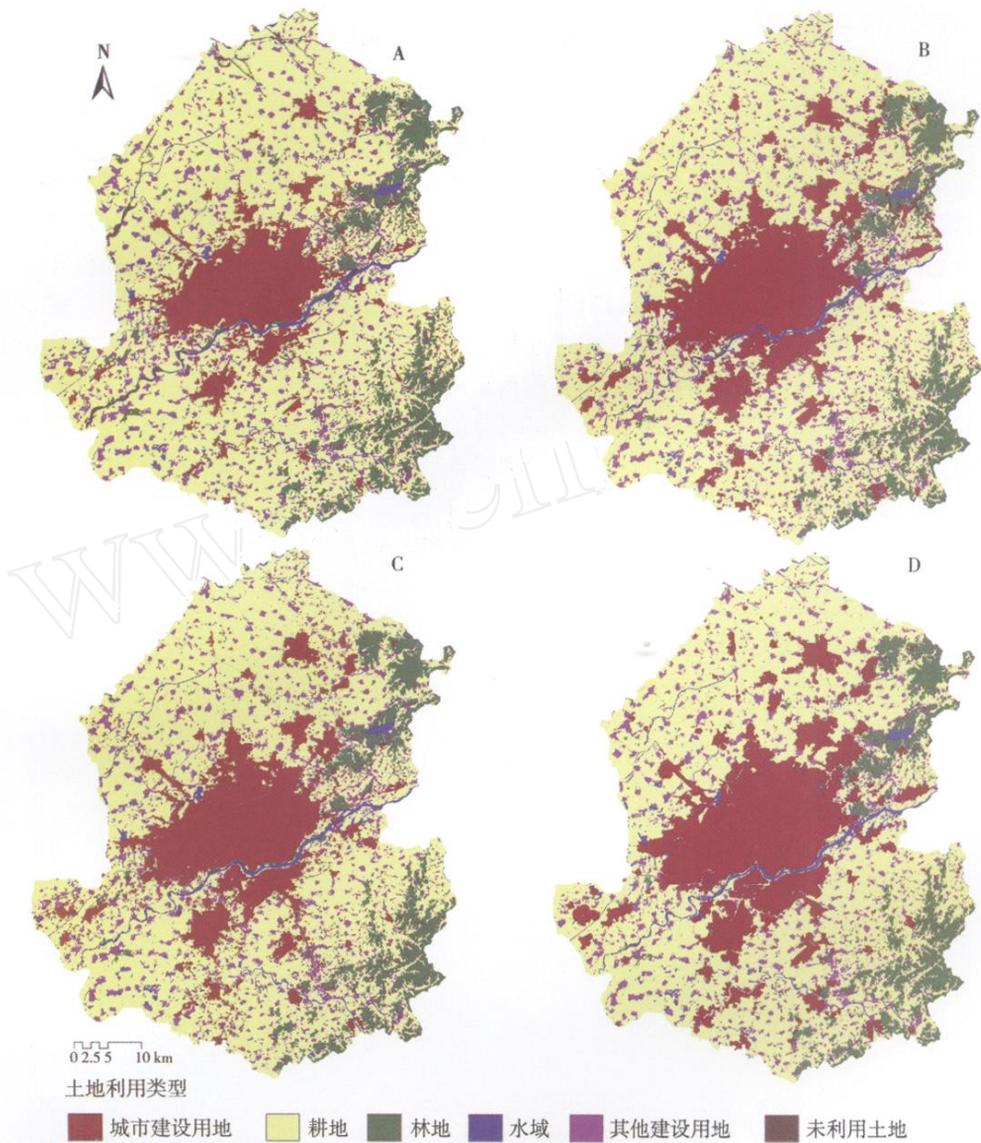


图 4 不同管理情景下 2030 年沈阳市的土地利用格局

(A)：2004 年土地利用格局；(B)：目前趋势发展情景 CT；

(C)：城市规划与区域发展情景 PP；(D)：生态环境保护管理情景 EP

Fig. 4 Land use pattern of Shenyang City in 2030 under different urban management policy scenarios ,

(A) Land use for 2004; (B) Scenario CT; (C) Scenario PP; (D) Scenario EP

和 EP 情景与 CT 情景存在明显的空间差异。城市规划与区域发展情景下，城市扩展集中在六条开发轴带内，新城镇不断产生，且城镇沿道路扩展的趋势较为明显，整个城市建设用地格局比较分散（图 4C）。相比之下，生态环境保护情景下，城市扩展格局非常紧凑，辉山农业高新区与中心城区、苏家屯地区与浑南新区几乎连接成片（图 4D）。总的来说，两种管理情景下城市建设用地对东部具有重要生态功能的林地威胁较小，但对非基本农田之外的耕地占用较多（图 4C、D）。

3.3 景观生态风险分析

由表 4 可知, 不同管理情景下 2030 年土地利用类型景观生态风险大小存在差异。CT 情景下城市扩展导致的综合景观生态风险最大, EP 情景最小, PP 情景居中。生态环境保护管理情景下, 城市建设用地面积大, 其景观生态风险值却低, 原因在于其景观格局指数低, 也就是城市建设用地类型的破碎度、分离度和分维数都很低, 表明此管理情景下城市发展格局比较紧凑, 斑块形状也比较规则。这在一定程度上说明鼓励城市边缘式扩展和保护的生态环境政策起到了良好的效果。尽管 CT 情景与 PP 情景下景观生态风险值相差不大, 但是仔细分析发现, 两者土地利用类型景观结构存在明显差异。PP 情景下, 城市建设用地景观格局更为分散和复杂化, 而耕地的破碎化程度却较低。原因在于, PP 情景下城市扩展被约束在城市规划与区域开发范围内, 外围的农田受到严格的保护。由此可见, 不同管理情景下沈阳市面临的综合景观生态风险的大小主要取决于城市建设用地和耕地景观类型的景观生态风险值。因此, 在未来的沈阳市城市发展管理中, 要处理好城市建设用地与耕地的关系, 切实保护好基本农田。

表 4 不同管理情景下 2030 年沈阳市景观生态风险计算值

Tab 4 Landscape ecological risk values for Shenyang City in 2030 under different policy scenarios

管理情景	土地利用类型	破碎度 G_i	分离度 S_i	分维数 D_i	景观格局 指数 E_i	面积比重 A_i/TA (%)	景观生态 风险 ER
目前趋势 发展情景	城市建设用地	0.255	2.348	1.187	1.069	21.258	0.207
	耕地	0.445	0.849	1.353	0.748	58.702	0.136
	林地	0.333	6.008	1.225	2.214	8.303	0.029
	水域	0.236	19.856	1.171	6.309	2.514	0.029
	CT 其他建设用地	0.991	5.496	1.126	2.369	9.035	0.148
	未利用土地	0.135	264.723	1.073	79.699	0.189	0.053
合计							0.601
城市规划 与区域发展 情景 PP	城市建设用地	0.307	2.602	1.199	1.174	19.177	0.205
	耕地	0.381	0.834	1.357	0.712	59.791	0.132
	林地	0.291	5.699	1.219	2.099	8.755	0.029
	水域	0.246	19.163	1.168	6.106	2.605	0.029
	其他建设用地	0.905	5.273	1.122	2.259	9.423	0.147
	未利用土地	0.170	200.165	1.075	60.349	0.250	0.053
合计							0.594
生态环境 保护管理 情景 EP	城市建设用地	0.117	2.147	1.167	0.936	23.265	0.198
	耕地	0.339	0.872	1.343	0.700	57.177	0.124
	林地	0.296	5.953	1.240	2.182	8.382	0.029
	水域	0.216	19.201	1.171	6.102	2.600	0.029
	其他建设用地	1.010	5.895	1.127	2.499	8.422	0.145
	未利用土地	0.128	326.082	1.071	98.103	0.153	0.053
合计							0.578

4 结论与讨论

未来一段时期, 沈阳市城市建设用地将会持续扩张, 大量的耕地会被占用, 城市景观

格局将发生明显变化。据预测,按照 1988~2004 年间的发展趋势,到 2030 年沈阳市城市建设用地面积将达到 739.2km^2 ,比 2004 年增加 277.0km^2 。同时, 224.8km^2 的耕地被侵占,年流失量达到 864.6ha 。不加约束和管理情景下,各级城镇都获得较程度的发展,表现出比较分散的景观格局,且东部林地受到扩展威胁,区域生态风险较高。城市规划与区域发展情景和生态环境保护情景下,土地利用类型面积变化趋势与 CT 情景下的发展变化相似,但土地利用空间格局却明显不同。PP 情景下,城市扩展局限在有限的空间内,城市建设用地面积增长速度慢,空间格局则更为分散,区域生态风险大大增加。EP 情景下,城市扩展集中在现有城市建设用地边缘,城市建设用地景观格局显得非常紧凑,林地、水域等自然资源的损失率较低,区域景观生态风险相对较低。

在本研究中, SLEUTH 模型的预测结果较好地反映了不同土地利用政策、规划方案等对未来城市扩展和土地利用变化以及区域生态风险的潜在影响,同时也指出了管理政策中存在的不足之处。城市规划与区域发展政策促进了城市建设用地沿对外联系通道向外扩展和小城镇的不断出现,却使得城市扩展格局变得过为分散化,远离中心城区的耕地受到很大威胁。因此,在当前的城市规划方案与区域开发政策执行过程中,要注意优化城市空间分布格局,妥善处理好城市与耕地的关系,切实保护好基本农田。严格的生态环境保护政策和紧凑集约式的城市发展对策大大降低了城市化过程导致的景观生态风险,但是需要警惕摊大饼式城市扩展带来的负面效应,需采取有力措施适当高效地集约利用现有土地资源,减少公共设施的建设费用以及对能源和土地资源的消耗。

SLEUTH 模型为城市土地资源可持续利用提供了一种有用的规划工具。在 GIS、遥感技术支撑下,通过修改模型的输入图层和各种参数设置,可有效地模拟不同管理情景下的城市扩展与土地利用变化过程。当然对管理情景的表达不是简单、随意的,比如对排除要素缓冲区的设置应该具有生态学和区域环境管理的意义。本研究借助 GIS 技术,结合区域开发与环境管理相关理论,将不同管理政策给予较好地表达,其情景设计方法和模拟分析结果将对沈阳市未来城市规划和政府决策提供有益的参考。但是, SLEUTH 模型过分强调边缘式的城市增长,限制了用户对其他城市增长类型的模拟,从而影响 PP 情景的模拟效果,降低了情景设计对未来城市规划方案和土地利用政策选择的实际指导意义。未来的研究需要进一步提高模型情景设计与模拟方法,或者对模型作较大修改,深入考虑社会、经济等人为驱动因素对城市扩展过程的影响,以提高模型情景模拟的实际应用性。

参考文献:

- [1] Batty M, Xie Y. From cells to cities. *Environment and Planning B: Planning and Design Supplement*, 1994, 21(7): S31~S48.
- [2] Wu F. SimLand: A prototype to simulate land conversion through the integrated GIS and CA with AHP-derived transition rules. *International Journal of Geographical Information Science*, 1998, 12(1): 63~82.
- [3] Wu F, Webster C J. Simulating artificial cities in a GIS environment: urban growth under alternative regulation regimes. *International Journal of geographical information science*, 2000, 14(7): 625~648.
- [4] 杨青生,黎夏. 基于动态约束的元胞自动机与复杂城市系统的模拟. *地理与地理信息科学*, 2006, 22(5): 10~15.
- [5] Pijanowski B C, Brown D G, Shellitoc B A, et al. Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2002, 26(6): 553~575.
- [6] Li X, Yeh A G O. Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 2002, 16(4): 323~343.

- [7] 黎夏, 叶嘉安. 基于神经网络的元胞自动机及模拟复杂土地利用系统. 地理研究, 2005, 24(1): 19~27.
- [8] Wang Y Q, Zhang X S. A dynamic modeling approach to simulating socioeconomic effects on landscape changes. Ecological Modelling, 2001, 140(1-2): 141~162.
- [9] Xie Y, Batty M. Integrated urban evolutionary modeling. Presented at Geocomputation, Southampton, England, 2003.
- [10] Barredo J, Demicheli L, Lavallo C, et al. Modelling future urban scenarios in developing countries: an application case study in Lagos, Nigeria. Environment and Planning B: Plan and Design, 2004, 32: 65~84.
- [11] 黎夏, 叶嘉安. 约束性单元自动演化 CA 模型及可持续发展城市形态的模拟. 地理学报, 1999, 54(4): 289~298.
- [12] Jantz C A, Goetz S J, Shelley M K. Using the SLEUTH urban growth model to simulate the impacts of future policy scenarios on urban land use in the Baltimore-Washington metropolitan area. Environment and Planning B: Planning and Design, 2003, 31: 251~271.
- [13] Yang X, Lo C P. Modelling urban growth and landscape change in the Atlanta metropolitan area. International Journal of Geographical Information Science, 2003, 17(5): 463~488.
- [14] Cogan, C B, Davis F W, Clarke K C. Application of urban growth models and wildlife habitat models to assess biodiversity losses. University of California-Santa Barbara Institute for Computational Earth System Science. U. S. department of the Interior, US geological Survey, Biological Resources Division, Gap Analysis Program, Santa Barbara, CA, 2001.
- [15] Clarke K C, Hoppen S, Gaydos L. A self modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay Area. Environment and Planning B: Planning and Design, 1997, 24: 247~261.
- [16] Jantz C A, Goetz S J. Analysis of scale dependencies in an urban land use change model. International Journal of Geographical Information Science, 2005, 19(2): 217~241.
- [17] 张岩, 李京, 陈云浩. 利用 SLEUTH 模型进行北京城市扩展模拟研究. 遥感信息, 2007, (2): 50~54.
- [18] 吴晓青, 胡远满, 贺红土, 等. SLEUTH 城市扩展模型的应用与准确性评估. 武汉大学学报信息科学版, 2008, 33(3): 293~296.
- [19] 刘勇, 吴次芳, 岳文泽, 等. 基于 SLEUTH 模型的杭州市城市扩展研究. 自然资源学报, 2008, 23(5): 797~807.
- [20] Li X, Yeh A G O. Data mining of cellular automata's transition rules. International Journal of Geographical Information Science, 2004, 18(8): 723~744.
- [21] 杨青生, 黎夏. 基于粗集的知识发现与地理模拟 - 以深圳市土地利用变化为例. 地理学报, 2006b, 61(8): 882~894.
- [22] 杨青生, 黎夏. 遗传算法自动获取 CA 模型的参数 - 以东莞市城市发展模拟为例. 地理研究, 2007, 26(2): 229~237.
- [23] 刘小平, 黎夏, 叶嘉安, 等. 利用蚁群智能挖掘地理元胞自动机的转换规则. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37(6): 824~834.
- [24] Clarke K C, Gaydos L J. Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: Long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. International Journal of Geographical Information Science, 1998, 12(7): 699~714.
- [25] Silva E A, Clarke K C. Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal. Computers, Environment and Urban Systems, 2002, 26(6): 525~552.
- [26] 何春阳, 陈晋, 史培军, 等. 基于 CA 的城市空间动态模型研究. 地球科学进展, 2002, 17(2): 188~195.
- [27] 陈鹏, 高建华, 朱大奎, 等. 海岸生态交错带景观空间格局及其受开发建设的影响分析 - 以海南万泉河口博鳌地区为例. 自然资源学报, 2002, 17(4): 509~514.
- [28] 曾辉, 刘国军. 基于景观结构的区域生态风险分析. 中国环境科学, 1999, 19(5): 454~457.
- [29] 岳书平, 张树文, 闫业超, 等. 东北典型农区土地利用变化的生态效应研究 - 以公主岭市为例. 干旱区资源与环境, 2007, 21(7): 64~68.
- [30] Pontius Jr R G, Huffaker D, Denman K. Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models. Ecological Modeling, 2004, 179(4): 445~461.

Research for scenarios simulation of future urban growth and land use change in Shenyang City

WU Xiao-qing^{1,2}, HU Yuan-man¹, HE Hong-shi¹, BU Ren-cang¹, XI Feng-ming^{1,3}

(1. Institute of Applied Ecology, CAS, Shenyang 110016, China;

2. Yantai Institute of Coastal Zone Research for Sustainable Development, CAS, Yantai 264003, China;

3. Graduate University of Chinese Academy Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract : SELU TH urban growth model was used to simulate the process of future urban growth and land use changes, and to explore potential environmental impacts of urban development under different policy scenarios in Shenyang city. The SLEU TH model was calibrated with historical data (1988 ~ 2004) extracted from a time series of TM satellite images, and the future growth was projected out to 2030 assuming three different urban growth management scenarios: (1) current trends development scenario (Scenario CT), (2) urban planning and regional development scenario (Scenario PP), and (3) eco-environmental protection management scenario (Scenario EP). Scenarios analysis showed that Shenyang City would be faced with sustaining urban expansion, and large amounts of farmland would be occupied by urban land under all policy scenarios. But, the patterns of urban landscape and regional landscape ecological risks resulting from urban growth would show significant differences under different policy scenarios. Under Scenario CT, urban growth area would add up to 277.0 km², of which 224.8 km² would result from the conversion of farmland to urban land. And urban development pattern would be relatively dispersed and complex, which could result in relatively high landscape ecological risk under no management. Under Scenario PP, urban land showed relatively low growth rate and urban development pattern would be more dispersed with higher landscape ecological risk than Scenario CT. Under Scenario EP, urban expansion would concentrate on existing urban land and show compact development pattern with relatively low regional landscape ecological risk. Simulation results from SLEU TH model gave good expression for the potential affects of different land use policies and urban planning scenarios on future urban growth and land use changes and landscape ecological risks. Simultaneously, these results pointed out the disadvantages of current management policies for urban growth in Shenyang City. In the process of implementation of current urban planning scenario and regional development policy, the government should pay more attention to optimization of urban spatial pattern and protection of farmland from urban expansion. And, it was necessary to take stringent environmental protection measures, to encourage compact urban growth, and to enhance intensive use of the existing land resources in future urban growth management of Shenyang City.

Key words : urban growth; land use change; scenario simulation; SLEU TH; Shenyang City