

文章编号:1002-1175(2009)06-0765-09

# 基于 SLEUTH 模型的沈阳 - 抚顺都市区城市规划\*

郝凤明<sup>1,2</sup> 胡远满<sup>1</sup> 贺红士<sup>1†</sup> 石铁矛<sup>3</sup> 布仁仓<sup>1</sup> 吴晓青<sup>4</sup> 朱京海<sup>5</sup>

(1 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3 沈阳建筑大学, 沈阳 110168;

4 中国科学院烟台海岸带可持续发展研究所, 烟台 264003; 5 辽宁省环境保护局, 沈阳 110002)

(2008 年 11 月 10 日收稿; 2009 年 6 月 2 日收修改稿)

Xi F M, Hu Y M, HE H S, et al. Urban planning based on SLEUTH model in Shenyang-Fushun metropolitan area [J].  
Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, 2009, 26(6): 765-773.

**摘 要** 利用 SLEUTH 模型, 在 3 种规划预案下研究沈阳 - 抚顺都市区城市规划。结果表明, 低生态保护的城市增长预案导致了城市快速扩张和农田、林地等其他景观类型面积迅速减少。严格的生态保护规划预案虽然能很好地保持聚集的城市增长格局, 减少对其他景观的侵占, 但限制了城市增长速度, 与区域经济发展现状相矛盾。如果扩散的城市增长格局能得到进一步的控制, 适当生态保护的城市增长预案将是沈阳 - 抚顺都市区未来发展的推荐预案。

**关键词** 城市空间结构, 空间动态模型, SLEUTH, 区域景观变化, 预案规划

**中图分类号** TU984.2

## 1 引言

中国是城市化进程最快的发展中国家之一, 中国的城市化进程已经得到了广泛的关注<sup>[1-3]</sup>。城市是一个典型的开放复杂巨系统<sup>[4]</sup>, 具有空间性、动态性、自组织性、非平衡性和分形特征。城市空间发展变化受到自然、社会、经济、政治文化等多种因素的影响和制约, 确定合理的城市形态和空间结构是城市规划和建设的重要内容。基于传统的静态空间的研究方法(如基于地理信息系统的城市规划分析方法等)对于分析和模拟复杂城市巨系统的空间特征存在一定的局限性, 很难模拟未来城市增长这一动态的时空格局和过程。随着计算能力的提高、空间数据的可利用性增强和对于决策支持工具的空前需求<sup>[5]</sup>, 自下而上的基于细胞自动机 (cellular automata) 城市空间模型成为研究城市空间动态及其环境影响的主要工具。SLEUTH 是基于 CA 的动态城市空间模型, 其优势在于对城市空间模拟和预测的动态性, 并有明确的时空位置和数量关系, 使其在决策支持和预案规划中发挥较大的作用, 因此在城市空间规划方面具有很大的潜在应用价值。

## 2 研究地区与研究方法

### 2.1 研究区概况

研究区位于辽宁中部 (41°27'33" ~ 42°11'24" N, 123°0'57" ~ 124°26'50" E), 包括沈阳市的沈河区、和平区、大东区、皇姑区、铁西区、东陵区、于洪区、苏家屯区、沈北新区, 抚顺的顺城区、新抚区、东洲区、望花区和抚顺县, 总面积为 6391.15 km<sup>2</sup>, 2006 年研究区总人口约为 653 万人。沈阳市为辽宁省省会, 是全省政

\* 中国科学院知识创新项目 (OGL YQ Y1001) 和国家科技支撑项目 (2006BAJ10B05-03, 2006BAJ11B04-2) 资助

† 通讯联系人, E-mail: HeH@missouri.edu

治、经济、文化中心,同时也是中国重要的重工业基地,建国以来沈阳市的城市空间发生了巨大的变化,特别是改革开放以后,受到社会经济的影响,城市空间动态变得异常复杂,给城市规划工作带来了巨大挑战<sup>[5]</sup>.抚顺市为辽宁省第 4 大城市,是一个以煤炭资源开发和石油化工为支柱产业的城市.沈阳和抚顺是辽宁省建成区距离最近的 2 个城市,2006 年辽宁提出沈阳抚顺同城化的区域政策,并以此带动辽宁中部城市群的经济的发展.

## 2.2 研究方法

### 2.2.1 SLEUTH 城市空间动态模拟模型

SLEUTH 是模型所需的 6 种输入图层的首字母缩写(地形坡度 slope,土地利用 land use,排除图层 exclusion,城市空间范围 urban extent,交通网络 transportation,地形阴影 hill shade),它是关于城市空间增长与土地利用变化的模型,由美国加州大学克拉克(Clarke)教授开发,并在全球范围得到广泛应用. SLEUTH 由 2 个细胞自动机(CA)模型耦合在一起,即城市增长模型(urban growth model, UGM)和土地利用变化模型(land cover deltatron model, LCDM)<sup>[6-9]</sup>.其中,UGM 可以独立运行,但 LCDM 需与 UGM 耦合在一起才能运行. SLEUTH 按照标准 CA 构成:即细胞是同质的栅格空间;细胞状态为城市和非城市或者一级土地利用类型;采用 8 邻域规则;由 5 个增长系数(扩散系数、繁殖系数、传播系数、坡度阻抗系数和道路引力系数)控制自发增长、新传播中心增长、边缘增长、道路影响增长 4 种增长规则(表 1).模型给予边缘增长主导性地位<sup>[10-11]</sup>. SLEUTH 增长规则描述如下:

(1) 自发增长 是模拟非城市细胞被城市化的随机过程,受扩散系数的控制,如果非城市细胞满足坡度要求,且扩散系数大于模拟过程中产生的随机数时,该细胞转化为城市细胞.大的扩散系数会产生散布的城市增长格局.

(2) 新传播中心增长 是模拟以新产生的城市细胞为中心的增长过程,受繁殖系数控制,如果一个新产生的城市细胞的 8 邻域空间内有 2 个以上的城市细胞,繁殖系数大于前一模拟过程产生的随机数,且满足坡度要求,那么该细胞在下一时刻成为新的城市增长中心;繁殖系数越大,会产生更多的新增长中心.

(3) 边缘增长 模拟在原有的城市中心或新增长中心边缘向外的城市增长过程,受传播系数的控制,如果一个城市增长中心的邻域内有 2 个以上的城市细胞,传播系数大于前一模拟过程产生随机数,且满足坡度要求,那么其邻域内另一个非城市化细胞在下一时刻被城市化;传播系数越大,边缘增长过程越明显.

表 1 SLEUTH 模型模拟的增长类型及控制系数描述

增长循环顺序	增长类型	控制系数	概要描述
1	自发增长	扩散系数	随机选择可能被城市化的细胞单元
2	新传播中心增长	繁殖系数	以存在的自发增长城市单元为中心的城市增长
3	边缘增长	传播系数	以原有的城市为中心向外的边缘增长
4	道路影响增长	道路引力系数,扩散系数,繁殖系数	沿着交通网络的新城市化细胞单元的产生
贯穿增长的全过程	坡度阻抗增长	坡度阻抗系数	地形坡度对降低城市化概率的影响
贯穿增长的全过程	排除图层	用户定义	用户指定的不被城市化或城市化速度较慢的区域,同时也可以用户指定的城市化速度较快的政策影响区
贯穿增长的全过程	自修饰增长	临界最大值 繁荣系数 临界最小值 萧条系数	自我调节增长速率,以模拟城市空间增长的非线性过程

(4) 道路影响增长 模拟道路对城市增长的影响,受道路引力系数、扩散系数和繁殖系数的共同控制,如果新产生的城市细胞,繁殖系数大于前一模拟过程产生的随机数,并且在其最大搜索半径(由道路引力系数决定)内有道路存在,在该细胞最近的道路上产生一个临时的城市细胞,这个临时的城市细胞沿着连接的道路执行随机的漫游,漫游的长度由扩散系数决定,该暂时的城市细胞的最终位置变成一个新的城市增长中心,并且有 2 个以上满足坡度的非城市细胞被城市化。

另外模型还有一个自修正规则,如果城市增长超过预先设定的临界最大值,城市繁荣增长,增长系数乘一个大于 1 的繁荣系数;反之乘一个小于 1 的萧条系数,即模型运行过程中自动调节增长系数以准确反映城市的非线性增长过程<sup>[12-13]</sup>。

SLEUTH 模型的运行分 3 个阶段,即测试阶段、校正阶段和预测阶段。测试阶段可以确保模型的正确编译和运行;校正阶段指通过对历史时期城市增长和土地利用变化的模拟,从而产生最佳的增长系数,有学者称这组增长系数为区域的 DNA<sup>[14-15]</sup>或者城市遗传密码;预测阶段指在不同预案下,利用从校正阶段获得的增长系数预测未来城市空间增长格局和土地利用的变化情况。

在 SLEUTH 模型应用中,校正过程是最耗时的过程,也是模型成功应用的重要因素之一<sup>[9,16]</sup>。校正过程是通过对历史的数据进行时空插值和模拟,以反映城市空间增长的历史规律,校正所得的城市遗传密码(增长系数)是对过去历史阶段影响城市空间因素的综合概括和提取。SLEUTH 模型的校正最常用的是强力校正(“brute force”calibration)方法<sup>[15]</sup>,将校正过程分为 3 个系列阶段进行,即粗校正、细校正和终校正。终校正阶段之后,还需要进行一个驱动增长系数的校正,为减小不确定性,模型采用蒙特卡罗模拟的方法,将迭代运算结果求平均值并记录到模型的输出文件中,这一组系数是模型校正的最终增长系数。另外还可以利用遗传算法<sup>[17]</sup>或自组织分类图法校正<sup>[18]</sup>。本文利用强力校正方法,选取 Compare, Population, Lee-Sallee, Fmatch 4 个指标的乘积作为综合值来选取校正系数<sup>[5]</sup>。模型的预测结果输出不同规划预案下,城市空间增长和景观变化的动态演示图,方便规划方案的讨论和交流。

利用 SLEUTH 城市空间动态模型进行不同的政策和规划预案下城市空间格局和区域景观动态的研究,能够弥补传统的基于静态的城市空间结构研究方法的不足,实现对复杂的城市系统的空间格局动态及其生态影响进行模拟和对比评价<sup>[16]</sup>,规划师和管理者根据不同的研究需要规划多种预案,探索多种可选择的城市的发展空间和发展模式,进行多个规划方案比较和选择,为城市规划提供辅助的决策依据。

### 2.2.2 数据的来源与处理

研究区 1988 年、1992 年、1997 年、2000 年和 2004 年的 Landsat TM 数据来源于中国科学院遥感应用研究所。利用遥感图像处理软件 ERDAS 9.1 对这 5 个年份的影像进行监督分类,然后进行目视解译,通过实地采样点进行校正和精度评价,分别提取出这 5 个年份营口市城市及村镇聚落数据及该区 1997 年、2004 年的土地利用数据,分类精度为 89.2%, Kappa 精度为 85.3%;利用 Arcview 3.3 将研究区 1:50000 的地形图数字化,生成数字高程模型(DEM),利用 DEM 生成坡度图层和阴影图层;将 1997 年和 2004 年 1:550000 辽宁省交通图数字化,在当年遥感影像的修改下,建立这 2 个年份的道路交通图层;同时,参考 2005 年辽宁城市统计年鉴、2005~2020 年沈阳和抚顺城市总体规划和沈阳抚顺的保护地数据。利用 Arcinfo 将所有数据图层转换为 Grid 栅格数据格式,重采样到 60m 的分辨率,再将 Grid 格式数据转换为 TIFF 格式数据,利用 Photoshop 或 XV 软件将 TIFF 格式数据转换为 Gif 格式数据,输入 SLEUTH 模型,对 SLEUTH 模型进行校正。通过对 SLEUTH 的排除图层、道路图层、坡度图层等进行设置,进行城市规划预案的设计,然后利用校正系数,预测 2005~2050 年沈阳-抚顺市城市空间增长和土地利用变化情况,比较在不同预案下城市空间格局和区域景观变化。

### 2.2.3 SLEUTH 模型模拟沈阳-抚顺都市区的城市空间格局和景观变化

SLEUTH 主要通过对排除图层的设置来设计和规划城市增长预案,排除图层是模型中用户定义的不能被城市化的区域及概率的图层,又叫政策图层。环境保护政策,城市发展政策,区域及国家开发政策等可以整合到排除图层中,限制或推动城市的生长,模拟不同政策对城市空间格局的影响。SLEUTH 可

以运用到城市发展空间和土地利用变化的预案规划中.其原理是通过 SLEUTH 模型的排除图层和模型参数,量化城市发展的限制因素或驱动因素来模拟控制城市空间增长过程,以产生合理的城市空间格局.通过不同的规划预案的模拟结果的比较分析,来选择适宜的城市发展布局和生态环境保护目标,如对于农田的保护,对林地的保护,对河流水域和湿地的保护等.国家、区域和地方促进城市增长政策可以通过降低这些区域的排除概率进行模拟,通过规划预案的比较研究,选择统筹城市发展和生态环境保护的规划预案;同时可以对交通图层、坡度参数等其他模型参数进行设置辅助预案规划.

本文设计 3 种规划预案,模拟在振兴东北老工业基地政策下,沈阳-抚顺都市区潜在的城市空间格局和区域景观格局.3 种规划预案:低生态保护的的城市增长预案、适当生态保护的的城市增长预案和严格生态保护的的城市增长预案,其设置的简单描述如下.

低生态保护的的城市增长预案(A) 在城市规划区、工业发展区和政策影响区如沈阳铁西区、沈北新区、沈西工业走廊区、浑南开发区、抚顺经济技术开发区、抚顺高湾开发区和方晓地区、沈抚连接带等不保护或者给予较低的生态保护概率(0%~15%).城市规划区、工业发展区和政策影响区内的游憩用地、濒水区域等给予低保护概率(15%~20%),在这些区域之外的农田、林地、游憩用地、滨水区域等给予较高的保护概率(50%~70%).研究区域内所有的河流、水库、重要的公园、保护区等给予完全保护,不能被城市化(100%).不考虑自然水体缓冲保护带和地质灾害潜伏区等因素.并适当增加规划的道路和开发区内随机城市种子(图 1(a)).城市增长的临界坡度为 21%,地形坡度超过 21% 禁止城市开发行为.模型自修正参数中,临界最大值为 1.4,临界最小值为 0.96,繁荣系数为 1.02,萧条系数为 0.8.

适当生态保护的的城市增长预案(B) 提高城市规划区、工业发展区和政策影响区如沈阳铁西区、沈北新区、沈西工业走廊区、浑南开发区、抚顺高湾开发区和方晓地区、沈抚连接带等的生态保护概率(10%~30%).提高城市规划区、工业发展区和政策影响区内的游憩用地、濒水区域等的保护概率,其内 80%的保护概率,其外给予 100%的保护概率.提高城市规划区、工业发展区和政策影响区内的农田、林地的保护概率,其内 20%~35%的保护概率,其外给予 50%~80%的保护概率.研究区域内所有的河流、水库、重要的公园、保护区等给予完全保护,不能被城市化给予 100%的排除概率,同时设置 120m 的生态缓冲带,并给予缓冲带 80%的排除概率.沈阳和抚顺地区采矿的地面塌陷潜伏区和矿山工业区给予 80%~100%的排除概率(图 1(b)).城市增长的临界坡度为 21%.模型自修正参数中,临界最大值为 1.3,临界最小值为 0.97,繁荣系数为 1.01,萧条系数为 0.9.

严格生态保护的的城市增长预案(C) 给予研究区更高的生态保护概率.保护的内容与适当生态保护的的城市增长预案相似,但是保护水平进一步提高.另外研究区域内所有的河流、水库、重要的公园、保护区等重要的生态用地给予更大的缓冲带(图 1(c)).城市增长的临界坡度为 15%.模型自修正参数中,临界最大值为 1.3,临界最小值为 0.97,繁荣系数为 1.01,萧条系数为 0.9.

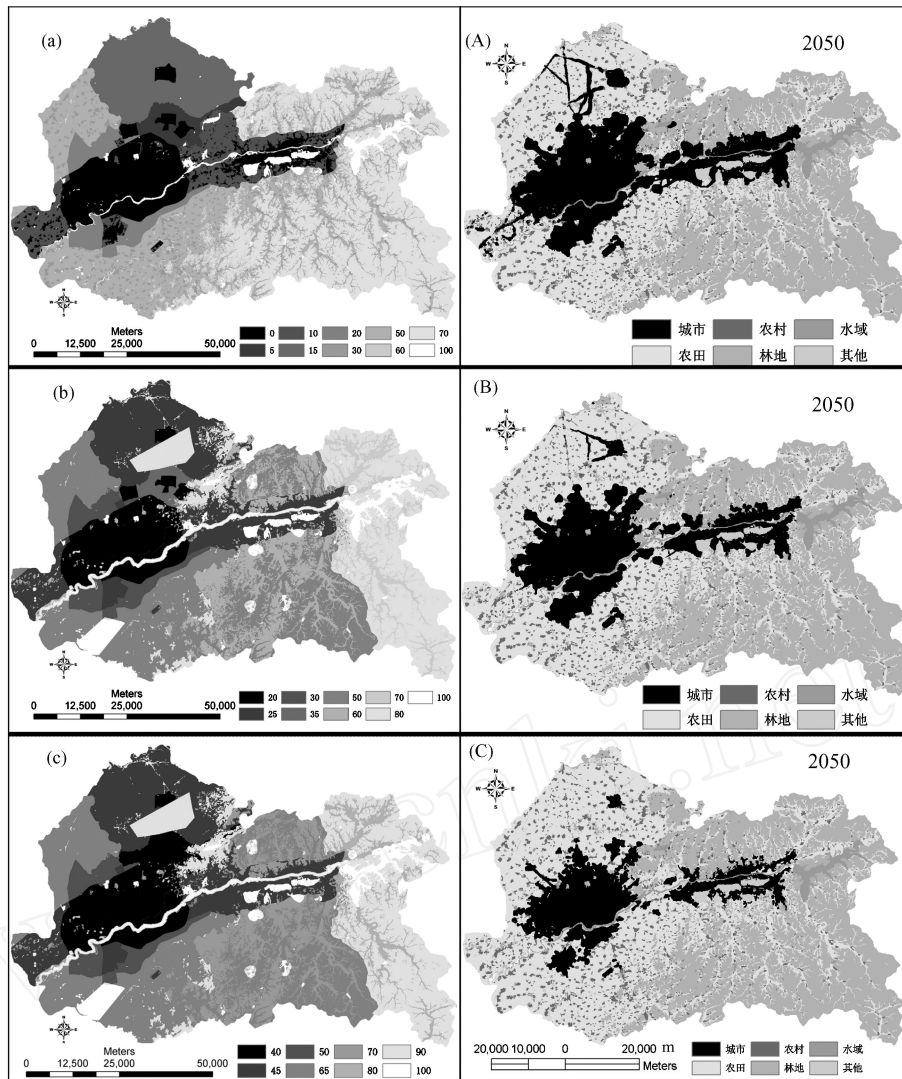
#### 2.2.4 SLEUTH 模型在沈阳-抚顺都市区模拟结果验证和精度评价

运用 Kappa 指数方法对 SLEUTH 模型的模拟结果进行验证和精度评价. Kappa 系数从空间位置和数量角度,定量地阐明模拟结果和观测结果的景观类型数量、位置和综合信息的变化.如果模拟结果和观测结果完全一致,则  $Kappa = 1$ .通常,当  $Kappa > 0.75$  时,2 个图的一致性较高,变化小;当  $0.4 < Kappa < 0.75$  时,一致性一般,变化明显;当  $Kappa < 0.4$  时,一致性较差,变化较大<sup>[19]</sup>.对于模型的验证而言,如果  $Kappa > 0.75$ ,说明模型模拟结果和观测结果的一致性较高,模型的预测精度较高<sup>[20]</sup>.位置 Kappa 指数  $K_{loc}$  用于评价模拟图和预测图的位置一致性,数量 Kappa 指数  $K_{histo}$  用于评价模拟图和预测图的数量一致性,标准 Kappa 指数用于评价模拟图和预测图的位置和数量的综合一致性<sup>[19-20]</sup>.

### 3 研究结果与分析

#### 3.1 SLEUTH 在沈阳-抚顺都市区的校正、验证与精度评价

通过校正获得沈阳-抚顺都市区的增长系数组合为:24(扩散系数)、58(繁殖系数)、45(传播系数)、36(坡度阻抗系数)、5(道路引力系数).同时,利用这组增长系数,运用 1997 年的数据图层作为输入数



(a) 低生态保护的城市增长预案的排除图层; (b) 适当生态保护的城市增长预案的排除图层; (c) 严格生态保护的城市增长预案的排除图层; (A) 低生态保护的城市增长预案的模拟结果; (B) 适当生态保护的城市增长预案的模拟结果; (C) 严格生态保护的城市增长预案的模拟结果。

图 1 不同政策预案下排除图层设置和 2050 年对应预案下的城市空间增长与景观变化格局

据,运行模型的预测模块,获得 2004 年沈阳 - 抚顺都市区的城市增长和景观格局,把获得预测结果和实际的结果进行比较,运用 Kappa 指数方法对 SLEUTH 模型的模拟结果进行验证和精度评价。表 2 列出了 2004 年模型模拟图与观测图的 Kappa 统计的比较结果。从表 2 中看出,景观的总体 Kappa 指数以及各景观类型的标准 Kappa 指数、位置 Kappa 指数和数量 Kappa 指数均较高,统计指标都达到 0.770 以上。景观整体的 Kappa 指数达到了 0.929 以上,说明 SLEUTH 在景观水平上的模拟预测具有高的精度。在景观类型水平上的 Kappa 指数,耕地的 3 个 Kappa 统计指标均较高,城市用地的 Kappa 指数相对较低,为 0.775,但仍大于 0.75,说明 SLEUTH 模型对城市增长和景观变化的预测精度较高。

### 3.2 2005 ~ 2050 年沈阳 - 抚顺都市区的城市空间格局和景观变化

将模型输出的 2005 ~ 2050 年 GIF 格式景观类型图转换成 Arcinfo-GRID 格式,应用 Fragstats 景观格局软件计算景观指数,选择斑块数目、类型面积、占景观的百分比、最大斑块指数和景观形状指数等意义简单的景观指数分析城市格局和景观变化。2050 年模拟预测的结果如图 1(A)、图 1(B)、图 1(C) 所示,城市的面积、空间结构和区域景观格局显著不同。不同规划预案下的城市增长格局和面积相差较大,预案 (A) 和 (B) 体现出较大道路牵引增长和扩散的城市空间增长,预案 (C) 体现出聚集的城市空间增长。

表 2 2004 年景观模拟结果和观测结果的 Kappa 指数

	城市	农田	农村	林草地	水域	其他用地	景观总体
Kappa	0.775	0.901	0.835	0.821	0.821	0.827	0.929
Lloc	0.885	0.901	0.923	0.847	0.847	0.964	0.958
Khisto	0.900	1.000	0.904	1.000	0.970	0.859	0.970

预案(A)和(B)下,2005~2040年城市斑块数迅速增加,至2040年预案(A)和(B)的城市斑块数分别为2343和2299,2041~2050年,预案(A)的城市斑块数呈现降低的趋势,预案(B)的城市板块数目仍然继续增加,至2050年预案(A)和(B)的城市斑块数目分别为2102和2631;预案(C)的城市斑块数目在2005~2050年增加缓慢,至2050年预案(A)的城市斑块数为1091(图2(a)).在3种不同预案下,城市面积在2005~2050年均有增长,总体上来看预案(A)的城市面积增长最大,预案(B)次之,预案(C)增长最小.至2050年预案(A)的城市增长面积达到1632.86km<sup>2</sup>,是预案(B)的2.1倍,是预案(C)的8.1倍(图2(b)).在不同的预案下,城市面积占景观的百分比具有增加的趋势,(A)预案增长最快,(B)预案次之,(C)预案增长缓慢,至2050年3种预案下,城市面积占景观的百分比分别为35.10%,21.98%,12.78%(图2(c)).3种预案下城市最大斑块指数(LPI)在2005~2050年均有增长,2005~2040年,3种预案下的LPI增长均较慢,在各个年份中(A)预案的LPI最大,(B)预案次之,(C)预案最小;2040~2050年,(A)预案的LPI迅速增长,(B)、(C)预案的LPI增长趋势不变(图2(d)).

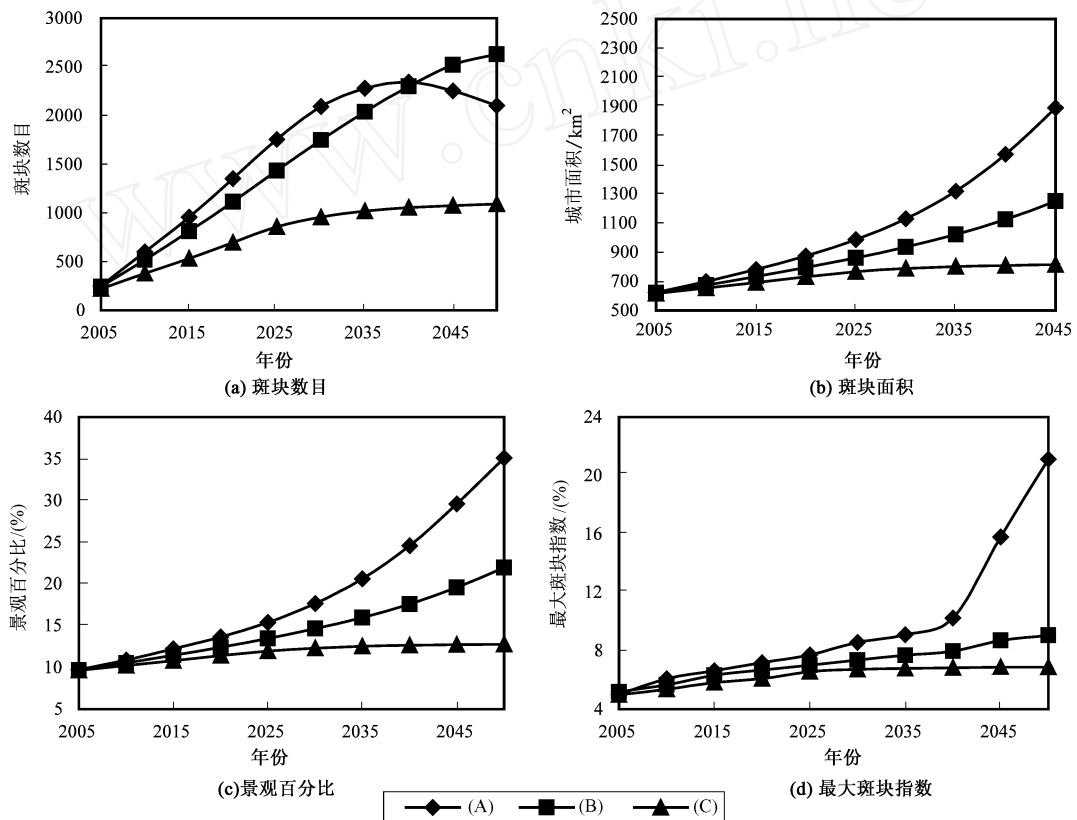


图 2 不同规划预案下城市景观指数变化

在景观水平上,选择斑块数目和景观形状指数来对比不同预案下的景观格局变化.在3种不同的预案下,景观的总斑块数目均有增长的趋势,(A)预案斑块数目增长速度最快,(B)预案斑块数目增长速度次之,至2050年(A)、(B)预案下景观斑块总数分别为12683和10871;(C)预案下增长速度最慢,特别是

2025 年以后,斑块数目仅有少量增长,至 2050 年(C)预案下的斑块数目仅为 6716(图 3(a)). 在 3 种不同的预案下,景观形状指数均有增大的趋势,2005~2025 年,3 种预案下的景观形状指数增长缓慢且相差不大,在各个年份(A)预案下的景观形状指数最大,(B)预案次之,(C)预案最小;2025~2050 年,(A)和(B)预案下的景观形状指数迅速增大,(A)预案下最大,(C)预案下景观形状指数变化较小(图 3(b)).

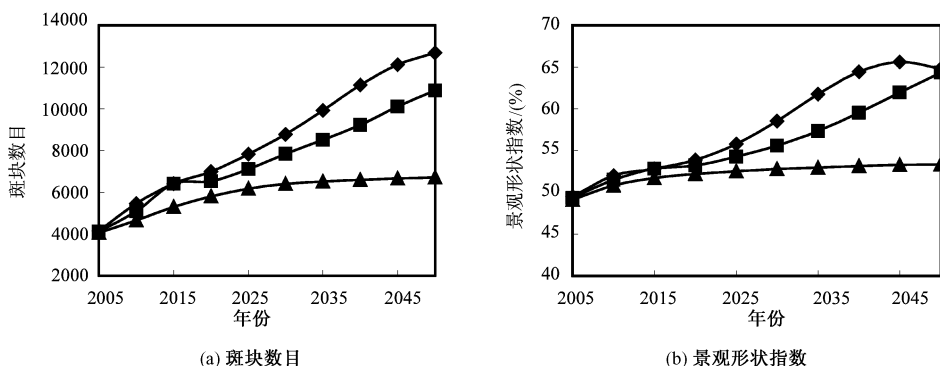


图 3 不同规划预案下景观水平上的指数变化

2050 年不同规划预案下城市的增长面积和其他景观类型的变化面积如图 4 所示,城市面积增长导致了其他景观类型面积的减少. 城市增长对其他景观类型的侵占表现为以侵占农田为主,其次是林地,再次是农村居民点和其他用地.

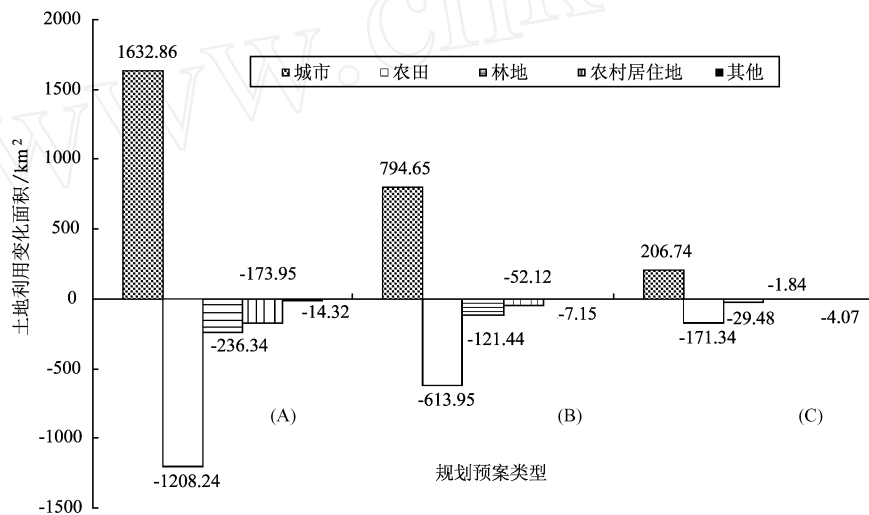


图 4 2050 年不同规划预案下城市增长和景观变化面积

由图 4 可知,(A) 预案呈现扩散式的城市增长格局,城市面积增长较快,区域景观结构最为复杂,景观破碎化最严重;(B) 预案虽然也呈现一定程度的扩散式城市增长格局,但扩散程度远低于(A) 预案,城市面积增长较慢,区域的景观结构复杂度和景观的破碎化程度均较(A) 预案低;(C) 预案城市面积增长十分缓慢,区域的景观结构复杂度和景观的破碎化程度变化极小.(A) 预案由于对其他景观类型的保护程度低,因此呈现出较大的城市面积增长,扩散的增长格局,是一种不可取的城市增长方式;(C) 预案由于对其他景观类型进行非常严格的保护,限制了城市的生长,2004~2050 年间城市增长仅有约 206.74km<sup>2</sup>(图 4),平均每年增长约为 4.49km<sup>2</sup>,这与沈阳 - 抚顺都市区快速城市增长的需求和经济发展的需求相矛盾,因此也是不适宜的发展预案;(B) 预案的城市增长面积和景观破碎化程度介于(A)、(C) 预案之间,城市增长面积仅为 A 预案的一半,如果扩散的城市增长格局能得到进一步的控制,(B) 预案

是沈阳 - 抚顺都市区未来发展的推荐预案. 在实际规划过程中, 可以根据政策需要和发展需求调整规划预案<sup>[21]</sup>, 实现对城市发展和区域景观变化的动态规划.

## 4 结论与讨论

本文利用 SLEUTH 模型, 设计了 3 种不同的规划预案, 模拟了沈阳 - 抚顺都市区在 2005 ~ 2050 年的城市空间增长和区域景观变化, 并对 3 种不同预案下的城市增长格局和区域景观变化进行了比较分析. 研究表明振兴东北老工业基地的国家政策对沈阳 - 抚顺都市区的城市增长具有很大的推动作用, 即在 (A) 预案下, 由于振兴东北老工业基地的国家政策的影响, 研究区开发区面积增大、城市增长速度加大、区域整体生态保护水平的降低等, 导致了城市快速扩张的增长格局; 同时导致了农田、林地、水域等其他景观类型面积迅速减少. 因此在实施振兴东北老工业基地的国家政策的同时, 应该特别重视生态环境的保护, 慎重划定开发区范围和确定开发区面积, 防止出现扩张的城市增长格局; 严格的生态保护规划 (C) 预案虽然能很好地保持聚集的城市增长格局, 同时减少对其他景观类型的侵占, 但是也限制了城市增长的速度, 与区域经济发展现状相矛盾, 即过分的生态保护政策可以实现生态的可持续发展但不能实现经济社会的可持续发展; 适当生态保护规划 (B) 预案的城市增长面积和景观破碎化程度介于 (A)、(C) 预案之间, 城市增长面积仅为 (A) 预案的一半, 如果扩散的城市增长格局能得到进一步的控制, (B) 预案是沈阳 - 抚顺都市区未来发展的推荐预案, 当然对于适当生态保护的程度、保护范围等还可以通过结合更多的自然、社会经济数据, 利用 SLEUTH 模型进行深入的研究, 以确定一个能使沈阳 - 抚顺都市区经济、社会、自然生态环境和谐发展的规划预案.

SLEUTH 模型具有普适性, 通过校正能较好地描述城市增长的自然规律<sup>[15]</sup>. 模型存在较少考虑社会经济、管理和政治因素等对城市增长和土地利用变化影响的不足, 但模型给予用户可定义的排除图层和多个模型参数, 这些不足通过排除图层和模型参数进行预案设计和规划得以弥补, 给予了用户更大的思维空间和视野<sup>[16]</sup>, 特别利于规划师设计多种不同的规划方案和进行不同方案未来发展格局及潜在影响的比较.

SLEUTH 城市空间动态模型不能模拟城市内部土地利用之间转换, 因此不适合研究城市内部的空间结构; 同时 SLEUTH 对于小尺度上细节城市增长的模拟能力较差<sup>[12, 16]</sup>. 因此对于小尺度上的城市规划和场地规划的模拟效果较差, SLEUTH 不适合对控制性详细规划, 以及更小尺度上的城市规划研究.

## 参考文献

- [ 1 ] Li X. Measurement of rapid agricultural land loss in the pearl river delta with the integration of remote sensing and GIS[J]. Environment and Planning B, 1998, 25: 447-461.
- [ 2 ] Ma L J C. Economic reforms, urban spatial restructuring, and planning in China[J]. Progress in Planning, 2004, 61: 237-260.
- [ 3 ] Xie Y, Yu M, Bai Y, et al. Ecological analysis of an emerging urban landscape pattern in desakota: a case study in Suzhou, China[J]. Landscape Ecology, 2006, 21: 1297-1309.
- [ 4 ] Tang H Y. Science of city[M]. Harbin Institute of Technology Press, 2004.
- [ 5 ] Dietzel C, Clarke K C. The effect of disaggregating land use categories in cellular automata during model calibration and forecasting[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2006, 30: 78-101.
- [ 6 ] 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[J]. International Journal of Geographical Information Science, 1998, 12: 699-714.
- [ 7 ] Clarke K C. Land use change modeling using SLEUTH[C]//National Central University, ed. Advanced Training Workshop on Land Use and Land Cover Change Study. Taiwan, 2002: 1-4.
- [ 8 ] Dietzel C, Clarke K C. Replication of spatio-temporal land use patterns at three levels of aggregation by an urban cellular automata[M]. Berlin: Springer Press, 2004.
- [ 9 ] 吴晓青. 沈阳市城市扩展分析与模拟研究[D]. 沈阳: 中国科学院沈阳应用生态研究所, 2007.
- [ 10 ] Jantz C A, Getz 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[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2003, 31: 251-271.
- [11] Jantz C A, Goetz S J. Analysis of scale dependencies in an urban land use change model[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2005, 19: 217-241.
- [12] Wu X Q, Hu Y M, He H S, *et al.* Performance evaluation of the SLEUTH model in the Shenyang metropolitan area of Northeastern China[J]. *Environ Model Assess*, 2009, 14:221-230.
- [13] 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[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 1998, 12: 699-714.
- [14] Gazulis N, Clarke K C. Exploring the DNA of our regions: Classification of outputs from the SLEUTH Model[M]. Berlin: Springer Press, 2006.
- [15] Silva E A. The DNA of our regions: Artificial intelligence in regional planning[J]. *Futures*, 2004, 36: 1077-1094.
- [16] Xi F M, He H S, Hu Y M, *et al.* Simulation and prediction of urban and rural settlement growth and land use change in Yingkou city[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(7):1529-1536(in Chinese).
- 郝凤明,贺红士,胡远满,等. 营口市城市及村镇聚落增长与土地利用变化的模拟预测[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(7):1529-1536.
- [17] Goldstein N C, Brains vs. Brawn: Comparative strategies for the calibration of a cellular automata-based urban growth model[C]//Atkinson P, Foody G, Darby S, Wu F(eds). *GeoDynamics*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2004.
- [18] Dietzel C, Clarke K C. Toward optimal calibration of the SLEUTH land use model[J]. *Transactions in GIS*, 2007, 11(1): 29-45.
- [19] Bu R C, Chang Y, Hu Y M, *et al.* Measuring spatial information changes using Kappa coefficients: A case study of the city groups in central Liaoning province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4):778-784(in Chinese).
- 布仁仓,常禹,胡远满,等. 基于 Kappa 系数的景观变化测度——以辽宁省中部城市群为例[J]. *生态学报*, 2005, 25(4): 778-784.
- [20] 刘森. 岷江上游地区景观格局与生态承载力变化及预测研究[D]. 沈阳:中国科学院沈阳应用生态研究所, 2007.
- [21] Kuang W H, Zhang S W. Analyzing the information entropy and fractal dimension of urban land use spatial evolving process from 1900 to 2004 in Changchun city[J]. *Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences*, 2007, 24(1):73-80(in Chinese).
- 匡文慧,张树文. 长春市百年城市土地利用空间结构演变的信息熵与分形机制研究[J]. *中国科学院研究生院学报*, 2007, 24(1): 73-80.

## Urban planning based on SLEUTH model in Shenyang-Fushun metropolitan area

XI Feng-Ming<sup>1,2</sup> HU Yuan-Man<sup>1</sup> HE Hong-Shi<sup>1†</sup> SHI Tie-Mao<sup>3</sup>  
BU Ren-Cang<sup>1</sup> WU Xiao-Qing<sup>4</sup> ZHU Jing-Hai<sup>5</sup>

(1 Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 2 Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China; 4 Institute of Coastal Zone Research for Sustainable Development, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 5 Environment Protection Bureau of Liaoning Province, Shenyang 110002, China)

**Abstract** This paper studied the urban planning in Shenyang-Fushun metropolitan area under 3 scenarios using SLEUTH model. The results showed that the low ecological protection scenario resulted in rapid urban sprawl and area decrease of farmland, forest, and other landscape types. The stringent ecological protection scenario well kept compact urban growth pattern and led to low occupation on other landscape types, but urban growth rate was limited in conflict with the regional economic development. The moderate ecological protection scenario is recommended for future development of this area if the diffused urban growth pattern is further controlled.

**Key words** urban spatial pattern, spatial dynamic model, SLEUTH, regional landscape change, scenario planning