

深圳市龙华地区城镇用地动态模型建设及模拟研究

曾 辉 喻 红 郭庆华

(北京大学城市与环境学系 北京 100871)

摘要 在 1988 ~ 1996 年 5 个时段景观遥感制图的基础上,利用细胞自组织模型对深圳市龙华地区城镇建成区的动态变化过程进行了模拟研究。模型共选择了高程、坡度、距最近干线公路的垂直距离、斑块相邻度指数和形状指数等 5 个变量参与非城镇用地单元的综合转移概率计算,利用 1988 ~ 1990 年的城镇扩张结果确定不同变量的权重参数,利用 1992、1994 和 1996 年的数据进行模型验证。结果表明,细胞自组织模型可以很好地反映模拟起始年份已有城镇斑块的增长过程,但是模型不能自动判定新出现的城镇斑块并模拟其动态变化过程,成为该模型应用的一个重要限制性因素。

关键词 景观 动态模拟 城镇用地 细胞自组织模型 深圳市

Dynamic model construction and simulation study of town landuse for Longhua area Shenzhen City

ZENG Hui, YU Hong, GUO Qing-Hua (Dept. of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871)

Abstract Based on Multi-temporal remotely sensed landscape mapping data, cellular automata model, belonging to the individual based landscape model, was used to simulate the changing process of town landuse for Longhua area, Shenzhen City. The cellular model is constructed to calculate the integrated probability of a particular non-town cell, which is just near a town cell, being assimilated into town component. As for non-town cell, its transforming probability is determined by the composite effect of five influence factors, which are elevation, slope, distance to the nearest highway, the neighborhood index to the town-area component and the shape index of nearest town patch within a special searching range.

Simulation results indicated that the rapidly changing of town-area would continue till the end of 2005. Because of the amalgamation process, a lot of town patches merge into big ones from 1990 to 2005 and made the patch amount decreasing significantly and the change of patch shape is just contrary. During the simulation period, town landuse kept macroscopic heterogeneity characteristics. There still remains some deficiency in the cellular automata model, because it can not tell out intelligently when and where a new town-area cell will arise.

Key words landscape, dynamic simulation, town landuse, cellular automata model, Shenzhen City

文章编号: 1000-093X(2000)04-01- 中图分类号: Q149 文献标识码: A

景观动态模拟中比较常见的模型主要有中性模型^[1-3]、个体行为模型^[4]和过程模型^[5]等,一些学者还曾报道过其它一些动态模型类型,如流行病学模型^[6]和廊道模型^[7]等。细胞自组织模型^[8]是景观个体模型的一种,该模型长于在特定的约束体系作用下,揭示景观组分的持续增长或减少过程、生物行为方式或生态干扰的扩散过程^[9-12]。珠江三角洲地区自 80 年代以来,城镇建设用地随着城市化过程的不断深入而持续增加^[13],可以利用细胞自组织模型对其动态变化过程进行描述。本研究以深圳市龙华地区为例,利用 1988 至

1996 年 5 个时段景观遥感制图(时间间隔为 2a) 在确定城镇用地总量增长模式的基础上 , 进行细胞自组织模型建设并对城镇用地的动态扩张过程进行模拟研究。

1 研究区简介及基础数据来源研究区为深圳市北部以龙华镇为中心的 324km² 正方形区域 , 该地区由于毗邻深圳经济特区 城市化过程与特区内部基本同步 , 1996 年的城镇建设用地面积已经占全区国土总面积的 30% 以上。本研究的基础数据源于 TM 卫星遥感资料 , 利用人工监督下的计算机分类方法进行景观制图。研究区的范围为 600 × 600 个像元。

2 模型变量选择及结构建设

2.1 模型变量选择

本研究设计的细胞生长模型是以栅格数据为基础 , 通过不同时段每个非城镇单元综合性转移概率计算 , 来判断下一个时段该单元是否会向城镇转移。构成综合概率计算的变量实际上代表着该单元转移过程发生的内外部约束条件的综合影响。龙华地区的快速城市化过程首先受区域性的政策条件、土地资源供给能力和城市自身发育规律的约束。但上述因素主要为整体趋势性影响因子 , 作用方式体现在控制城镇的发育规模和总量增长进程上。这种变量无法进行空间定位并转化成为空间变量 , 因此对某一具体非城镇计算单元是否向城镇转移无直接的约束作用。在动态模拟研究中 , 这些因素的影响作用将在城镇总量增长模式构建中进行考虑。

从土地开发活动的适宜性看 , 城镇用地扩张主要受到 3 方面约束因素的直接影响 : ① 地形条件 , 在地形条件比较复杂地区进行土地开发活动时 , 容易导致开发成本提高 , 给未来开发产品的销售带来困难。因此那些地形平坦、坡度小的地区(大部分为农田地区) , 往往成为城镇用地扩展的主要方向 ; ② 交通条件 , 便利的交通条件有利于各种土地开发产品的市场实现(如房屋销售、厂房租赁等) , 因此一些干道交通系统两边 , 通常成为连续的带状城镇建设用地集中分布区。③ 区位条件 , 一些大型居民点附近的土地往往成为新增城镇建设用地的主要来源 , 因为这些地区可以依托原有居民点的市政条件、人力资源和管理系统来保障开发工作的顺利实施和各种开发目标的达成。

景观的结构特征对于土地开发活动也具有显著的约束影响 , 只是这方面的因素因缺少直观的影响表达方式而很少为人们关注。传统景观结构和格局研究中 , 有诸多实例证明复杂的斑块形状和界面特征 , 有助于破碎化过程的发展和组分转化过程的实现^[14]。龙华地区城镇用地扩张过程中也存在着这种特点 , 与城镇接触界面复杂的非城镇景观组分 , 很容易在建成区规划中 , 被率先列为后备开发用地资源。

基于上述分析 , 本研究在动态模拟中 , 选择高程、坡度、距最近公路(交通干线) 的距离、与城镇斑块的相邻度和最近相邻城镇斑块的形状指数等 5 个变量 , 作为每个计算单元综合转移概率计算时的基本变量。其中 , 高程和坡度用于说明地形条件的影响 , 距公路的距离用于说明交通条件的影响 , 相邻度代表区位条件的差异 , 形状指数用于描述城镇斑块与计算单元所属非城镇斑块接触界面的复杂程度。

2.2 模型结构建设

为反映工作区内城镇用地的宏观动态变化趋 , 在对原工作区底图进行城镇建成区和非城镇建成区二值化处理后 , 利用 6 × 6 的滑箱重采样成为 100 × 100 个像元的计算底图 , 对应的像元分辨率为 180m , 所有参与模拟的计算变量亦按照上述规格进行相应的空间化。在细胞自组织模型构架中 , 每个单元下一个时段的状态 , 取决于自身的变化条件和与周围相邻单元的关系。相邻单元的确定方式采用 ‘五邻方正’ 的 Von Newmann 邻点法 , 任一单元下一时段状态描述的概念公式为 :

$$a_{i,j}^{(t+1)} = \varphi(a_{i,j}^{(t)}, a_{i,j+1}^{(t)}, a_{i+1,j}^{(t)}, a_{i-1,j}^{(t)}, a_{i,j-1}^{(t)}) \tag{1}$$

依据 Von Newmann 邻点法 , 每次在进行模拟时 , 按照 ‘五邻方正’ 原则先确定计算单元。假定任一非城镇单元如果 4 个方向均不与城镇单元相邻 , 则下一时段不会转化成为城镇用地 , 因此不列入本模拟时段的计算单元。只有那些至少有一个侧面与城镇单元相邻的非城镇单元参与转移概率计算。非城镇单元对进行转移概率计算的单元是否向城镇转化无影响作用 , 相邻城镇单元的影响作用则通过相邻度指数和形状指数参与概率计算。

在每一时段参与转移概率计算的单元确定以后 , 其下一个时段能否向城镇转化的综合概率是由 5 个参与计算的变量概率信息累加得出。计算公式如下 :

$$P_i = a_1 dem + a_2 Slope + a_3 Road + a_4 P_x + a_5 S_2 \quad (2)$$

式中, P_i 为第 i 个像元在下一时段向城镇转移的概率, dem 是城镇的高程概率分布影响, $Slope$ 是城镇的坡度概率分布影响, $Road$ 是计算单元距最近一条交通干线距离的分布概率影响, P_x 是在特定扫描距离内计算单元与相邻城镇斑块的相邻度指数, S_2 为与计算单元距离最近的城镇斑块的形状指数, a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 和 a_5 是各变量平均概率影响贡献参数(权重)。

2.3 城镇面积总量增长趋势的确定

每个模拟时段转化单元的确定通常有两种方法,一种是临界概率限值法,即转化总量没有限制,只要综合转移概率达到一定的阈限标准即发生转移。另一种是总量控制法,即每个模拟时段的转移总量是确定的,根据转移总量要求,按照每个计算单元的综合概率值大小,确定发生转移的具体单元。本研究采用第二种方法来描述城镇斑块的扩张过程和结构变化情况,因此,确定工作区未来模拟时段内的城镇总量增长趋势,就成为判断具体非城镇像元向城镇转化的前提条件。

城镇总量的增长主要受各种政策、资源、人口等宏观因素影响,与具体的地形、交通条件和景观结构等因素不直接发生联系。龙华地区 1988~1996 年期间城镇面积发展经历了由慢到快的一个加速发展进程。1988~1990 年期间,城镇面积增长了不到 2%;1990~1996 年期间,平均每两年增长幅度超过 4%,全区进入了一个快速城市化阶段。今后,龙华地区的城镇用地发展显然不可能延续目前的这种快速发展模式,其中,1996 年与 1994 年相比,新增建设用地的速度已经开始降低。本研究在预测期限内(1990~2010 年),确定城镇用地规模增长最高限值为全区总面积的 40%,即在现有 14% 左右的开发区得到合理利用的同时,新增城镇用地规模控制在全区总面积的 9% 以内。城镇用地增长过程利用标准 Logistic 增长方程进行拟合,利用 1988~1996 年的数据得到的总量增长预测方程为:

$$y = 4000 / (1 + 11.48 e^{-0.25x}) \quad (3)$$

其中 y 是城镇单元总数(工作区总单元数为 100×100), x 为年份(以 1990 年为预测起始年,对应的 $x = 1$),模拟方程的置信水平为 $R = 0.996$ 。

2.4 转移单元的确定原则

模型建设完成并确定模拟时间间隔以后,每个模拟时段分别计算所有参与计算单元的综合转移概率,并按照概率值的大小进行排队。利用方程(3)确定的转移总量,按照转移概率值大小确定该模拟时段转移的具体单元,并与原有城镇单元合并作为下一个模拟时段参与综合转移概率计算单元确定和有关变量赋值(如形状指数、相邻度指数)的基础。

3 变量赋值方法

3.1 相邻度指数和形状指数赋值方法

相邻度指数和形状指数赋值通过有关的计算公式直接得出^[14,15]。相邻度指数主要用于衡量被计算单元周围城镇斑块的影响,距离较远的斑块或大斑块距离较远的部分影响比较小,形状指数主要用于说明计算单元与相连的城镇斑块之间交接面形状的复杂程度。因此,两种指数计算被限定在以参与计算单元为中心的 10×10 滑箱中,每个计算滑箱代表 3.24 km^2 的面积。在每个时段确定综合概率计算单元并进行模拟之前,利用前一个时段生成的计算底图和 10×10 像元滑箱采样方法直接计算得出。为消除尺度和量纲差异对综合概率的计算影响,所有参与计算的单元相邻度指数和形状指数值进行标准化后再参与计算。

3.2 高程、坡度和距干线公路距离赋值方法

高程、坡度和距干线公路距离等变量的赋值通过现有城镇用地基础分布概率统计获得。高程和坡度赋值是在景观底图上(600×600 像元)将 DEM 数据和景观分类图叠加后,经统计分析得出。利用龙华地区 1:100000 地形图,在 ADOBE-STREMLINE 支持下,扫描等高线生成 DEM 矢量数据文件,并裁出与工作区景观图匹配的区域,在 WINSURF 中插值生成 600×600 的等高线栅格图,同时计算生成同样规格的坡度栅格图。在此基础上,对高程和坡度进行分类统计。为确保统计类别中面积分布的均匀性,高程和坡度分类均采用不等间距分类方法,相关统计结果见表 1 和表 2。

表 1 高程分类与各高程区段的面积统计
Table 1 Elevation classification and the area statistics of different classes

统计参数 Statistical parameters(m)	0 ~ 30	30 ~ 70	70 ~ 120	120 ~ 200	200 ~ 300	300 ~ 450	450 ~ 600
面积 Area(km ²)	14.99	128.87	134.44	20.51	16.89	5.14	3.16
累积百分比 Cumulative percentage	4.63	44.40	85.90	92.22	97.44	99.02	100

距最近干线公路距离是利用卫星影像合成图和 IDRISI 软件,将工作区内的主要公路追踪出来,生成栅格文件并与不同年份的景观解译图匹配,得到 1988 ~ 1996 年各时段所有城镇像元距离最近干线公路的距离,经过统计得出各年度城镇在干线公路垂直距离梯度上的频率分布情况。不同距离段的分类采取 500m 间隔的等距离分类。为简化计算过程,在城镇分布频率统计中,未考虑低等级公路的影响作用。鉴于土地开发工作多数情况下受最近的干线公路影响显著,其它相邻干线公路的复合影响属补充性质,所以每个计算像元只考虑了距离最近一条干线公路的影响。经上述处理后得到的 1988 ~ 1996 年期间城镇用地在高程、坡度和距最近干线公路距离上的频率分布情况如图 1(a)(b)(c)所示。

表 2 坡度分类与各类坡度区段的面积统计
Table 2 Slope classification and the area statistics of different classes

统计参数 Statistical parameters	0 ~ 2°	2 ~ 6°	6 ~ 10°	10 ~ 16°	> 16°
面积(km ²) Area	161.67	93.06	33.81	31.13	4.39
累积百分比 Cumulative percentage	49.90	78.62	89.06	98.66	100

从图 1(a)(b)(c)可以看出,尽管研究期间内龙华地区城镇面积有较大幅度增加,但在高程、坡度和距干线公路距离上的梯度分布非常稳定,说明不同分类区段城镇建设用地分布格局保持较好的稳定性,高程、坡度和距干线公路距离的影响模式在城镇用地膨胀过程中被基本延续下来。在不考虑各分类区段内部不同像元之间细节差异的基础上,假定未来城镇用地增长仍延续以往的分布模式,直接将上述频率分布值赋予各非城镇像元。同样,为了消除量纲影响,各单元得到的频率分布值进行了正规化处理。

4 参数确定及动态模拟研究

4.1 权重参数确定

利用 1988 年和 1990 年的城镇面积扩张结果进行权重参数确定。首先利用叠图方法,确定该时段内转化成为城镇的单元数量,然后利用 10 × 10 的滑箱进行 100 次采样。将有向城镇转移过程发生的样地筛选出来,样地内转移成为城镇单元的比例作为概率值 P_i ,所有符合计算条件单元的平均高程、坡度、距最近的干线公路距离、相邻度指数和形状指数赋值的平均值作为相应影响变量的取值,这样就得到多个关于权重参数的简单线性方程。通过方程求解可以获得多组影响权重值的解,然后求平均值得到以下参数取值。

$$a_1 = 0.014 ; a_2 = 0.001 ; a_3 = 0.012 ; a_4 = 0.019 ; a_5 = 0.031$$

上述结果显示,坡度对计算单元是否向城镇转移的影响力最弱,原因显然与工作区内 80% 左右地区坡度小于 6°,基本不对各种新开发区选址产生明显的限制性作用有关(表 2)。形状指数的影响权重最大,说明一个与现有城镇相邻的非城镇单元,其所属斑块与城镇斑块的交接面越复杂,该单元越容易被城镇同化。

4.2 模拟结果及讨论

利用以上确定的模拟原则和数学模型,以 1990 年为模拟起始年,以 1a 为模拟步长,可以得出各年度城镇用地的空间分布结果(图 2)。采用将模拟结果与实际结果进行叠图处理的方法来验证模型的有效性。经叠图处理并统计发现,1992、1994 和 1996 年由于方程(3)的约束作用,城镇用地总面积的误差水平很低(< 3%),

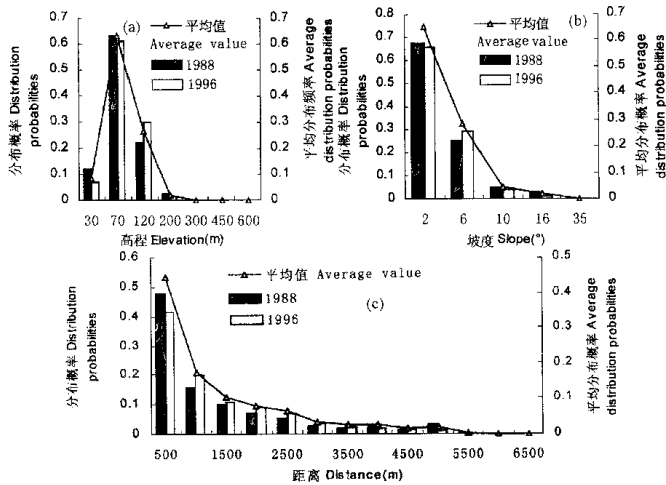


图 1 龙华地区各年度城镇用地的高程 (a) 坡度 (b) 和距干线公路距离 (c) 频率分布情况

Fig.1 Town landuse distribution probabilities of different elevations (a), slopes (b), and distances (c) to the nearest highway

但新增城镇用地在空间分布的位置上有 30% 左右的误差。误差产生的原因是动态模拟过程以 1990 年的城镇斑块为基本模拟条件,一些新出现的独立城镇建设用地(如数量较大的孤立性房地产开发项目)不能被模型自动识别出来,并进行相应的动态模拟。由于这部分用地面积包含在总量模型的结果中,细胞自组织模型按照确定的转移原则将一部分实际上没有发生转化的像元判断为已经实现转化的像元,从而产生了位置误差。这种误差的出现,说明细胞自组织模型本身还有一定的局限性。不过,该误差与国外同类研究(误差率平均在 30% 左右)^[3]相比,基本处于同一水平,说明模型可以反映出龙华地区城镇扩张过程的宏观趋势性特征。

根据模型预测,未来工作区内随着大斑块面积的不断膨胀,对周围小斑块的吸收和合并速度不断加快,现有城镇斑块的数目将迅速递减(图 3),景观的碎裂化程度大幅度降低。1990~2005 年是斑块合并过程比较显著的时段,到 2005 年工作区内的城镇会形成少量集中分布且相互距离比较远的大型斑块。由于各城镇斑块彼此之间地形隔离程度比较强,在没有新的外界促进因素出现的情况下(如新建干线公路),以模型自身确定的模拟条件难以突破这些因素的障碍作用。所以 2005 年以后,工作区内城镇斑块基本保持稳定。城镇斑块的形状指数在 2000 年以前维持在比较高的水平,表明这期间为城镇快速扩张时期。2000 年以后形状指数不断下降,表明大规模城镇膨胀过程逐渐结束,城镇扩张过程受到周围各种约束性因素的影响无法随意膨胀。新增建设用地主要来源于一些孤立的小斑块或位于城镇斑块指状突出部位之间的非城镇斑块部分,斑块形状不断向规则方向发展。

孔隙度指数的分析结果表明(图 4),城镇用地基本延续了原有的宏观异质性分布特征,但随着面积比重的大幅度增加,边长为 1 的孔隙度指数(纵轴截距)显著降低,其中 2005 年至 2010 年差异不大,城镇面积快速膨胀过程基本上会在 2005 年之前完成。2005 年和 2010 年滑箱面积小于 10 个像元时孔隙度指数无显著变化,小尺度观察时的用地结构差异不显著,表明城镇用地在空间分布高度集中化后,致使局部地区的土地利用趋于单一。但是在中尺度观察时,城镇用地与非城镇用地之间的显著差异开始明显表现出来,这种高对比度特征导致孔隙度指数迅速降低。

上述动态模拟结果表明,未来十几年里龙华地区城镇用地的膨胀将导致显著的结构变化,这无疑会给予

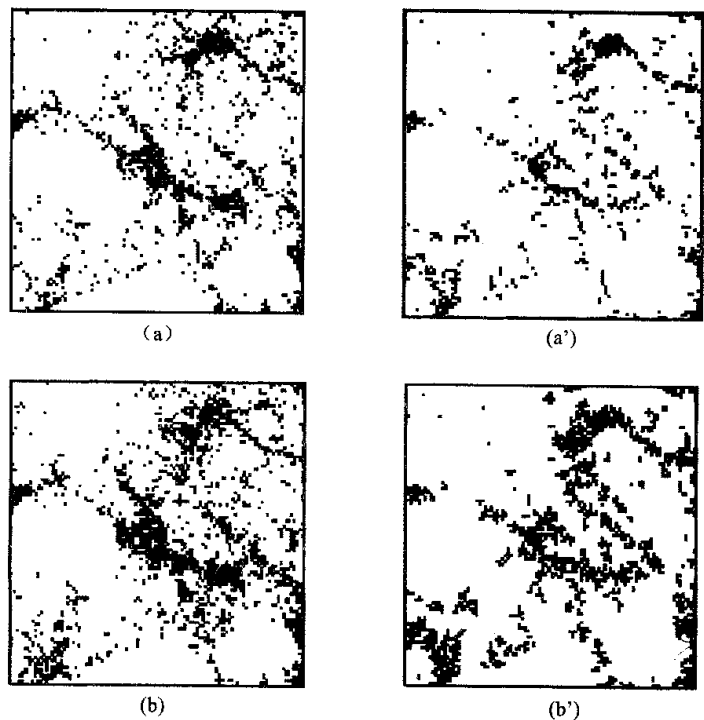


图 2 1992 和 1996 年城镇的实际分布情况和模型的模拟情况

Fig.2 The real town landuse distribution and simulation results for 1992 and 1996
(a)(b)为 1992 和 1996 年的解译结果 (a')(b')为相应年份的模型模拟结果
(a)and (b)represent the landscape interpretation results (a')and (b')represent the simulation results of the same years

它景观组分带来强烈的调整压力。面对这种超常规的快速城市化过程,管理和决策部门在各种建设工作实施之前应进行必要的规划安排,就城市过程中可能出现的各种负面影响制定合理的、有针对性和可操作的预防方案来,否则,进一步的城镇发展可能会给未来龙华地区的生态环境带来难以弥补的损害。

5 结论

(1)研究期间内,龙华地区城镇用地在高程、坡度和距最近干线公路距离等诸多影响因素梯度上的分布频率基本保持稳定,表明在工作区内快速城市化过程中,上述因素对非农业用地开发活动的影响强度和方式未发生显著变化,可以作为细胞自组织模型建设中综合转移概率计算的变量赋值依据。

(2)模型参数拟合结果显示,斑块形状指数对非城镇像元向城镇转移的影响作用最强,表明与现有城镇斑块之间具有复杂界面关系的像元最易于被同化。坡度因素在综合转移概率中的贡献率最小,说明工作区内在城镇建设用地选址时,受坡度因素制约的可能性

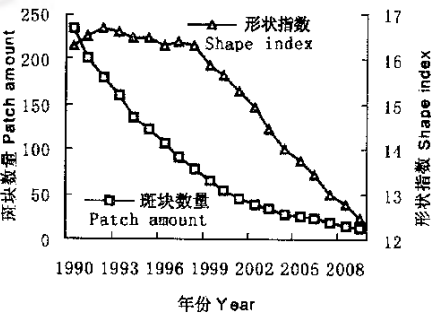


图 3 工作区内城镇斑块数量和形状指数变化情况

Fig.3 Changes of town patch amount and shape index during the simulation period

最小。

(3) 1992、1994 和 1996 年模型拟合结果和同年度景观分类结果对照显示,最大空间位置误差在 30% 左右,与国外同类研究的误差率基本处于同一水平。从得到的各年度城镇分布图看,拟合结果基本上反映了工作区内城镇用地的空间结构特征。

(4) 连续模拟运算结果表明,随着工作区内城镇建设用地面积的不断增加,其结构特征亦发生剧烈变化。伴随城镇用地扩张而产生的斑块合并过程将一直持续到 2005 年,此后斑块数量基本维持稳定。现有比较复杂的斑块形状特征将保持到 2000 年左右,随后由于大规模城镇扩张过程的逐渐结束,斑块形状逐渐趋于规则。城镇用地的空间分布延续了原有的宏观异质性分布特征,但由于面积大幅度增加和空间聚集化过程的发展,2005 年以后中尺度空间分布表现出一定的均匀特征。

参考文献

- [1] Gardner RH, Milne BT, Turner MG, et al. Neutral models for the analysis of broad-scale landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1987, 1(1): 19 ~ 28.
- [2] O'neill RV, Milne BT, Turner MG, et al. Resource utilization scales and landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1988, 2(1): 63 ~ 69.
- [3] Turner MG. Spatial simulation of landscape changes in Georgia: a comparison of 3 transition models. *Landscape Ecology*, 1987, 1(1): 29 ~ 36.
- [4] Houston M, Deangelis D, Post W. New computer models unify ecological theory. *BioScience*, 1988, 38(10): 682 ~ 691.
- [5] 李哈滨, 伍业刚. 景观生态学的数学研究方法. 见: 刘建国主编. 当代生态学博论. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 209 ~ 234.
- [6] O'neill RV. Epidemiology theory and disturbance spread on landscape. *Landscape Ecology*, 1992, 7(1): 19 ~ 26.
- [7] Merriam G, Henein K, Stuart-Smith. Landscape dynamic model. In: Zonnaveid IS and Forman RTT ed. *Changing Landscape: An ecological perspective*. New York: Springer-Verlag, 1991. 399 ~ 416.
- [8] Clarke KC. Loose-coupling a cellular automation model and GIS: Long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. *Geographical Information Science*, 1998, 12(7): 577 ~ 593.
- [9] Wu F. Simulating urban encroachment on rural land with fuzzy-logic-controlled cellular automata in a geographical information system. *Journal of Environmental Management*, 1998, 53: 293 ~ 308.
- [10] Liu J, Ashton PS. FORMOSAIC: an individual-based spatially explicit model for simulating forest dynamics in landscape mosaics. *Ecological Modelling*, 1998, 106: 177 ~ 200.
- [11] Moen R, Paster J, Cohen Y. A spatially explicit model of moose foraging and energetics. *Ecology*, 1997, 78(2): 505 ~ 521.
- [12] With KA, King AW. The use and misuse of neutral landscape models in ecology. *Oikos*, 1997, 79: 219 ~ 229.
- [13] 曾 辉, 郭庆华, 刘静艳. 东莞市景观生态演化特征的分析. *中国环境科学*, 1997, 17(5): 422 ~ 425.
- [14] Forman RTT. *Land Mosaic*. Cambridge: Cambridge University presses, 1995.
- [15] 曾 辉, 郭庆华, 刘晓东. 景观格局空间分辨率效应的实验研究. *北京大学学报*, 1998, 34(6): 820 ~ 826.

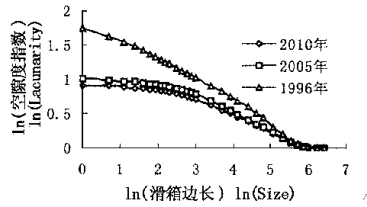


图 4 龙华地区几个关键年份的城镇孔隙度指数

Fig. 4 Changes of the lacunarity index of town patch in different years for Longhua Area