

南昌地区城市建成区景观结构特征 对建设用地扩张的影响

曾 辉, 蒋 峰, 李书娟
(北京大学环境学院生态学系, 北京 100871)

摘要:利用南昌地区 1988~2000 年期间的 4 景城市建设用地分布图和叠图代数计算方法,分两个比较时段(1988~1991 年及 1998~2000 年)研究了快速城市化地区建成区景观格局特征对建设用地扩张的影响,重点分析了边缘非城镇像元的邻域特征、非城镇像元与最近建成区像元的距离以及建成区斑块的规模对边缘及全区非城镇像元向建设用地转化比率的影响。结果表明,非城镇边缘像元的邻域水平与其向建设用地转化比率之间的相互关系可以用一阶直线方程加以表述;非城镇像元与最近建成区像元之间的距离对转化率的影响呈幂函数关系,建成区斑块规模的对数与周围非城镇像元向建设用地转化比率之间的关系可以用二项式方程进行拟合。尽管两个比较时段之间的城市化程度差异明显,但拟合方程的类型保持一致,表明建成区格局特征对新增建设用地的影响是一种机制性的联系。最后探讨了将上述相关关系引入城市化景观动态模拟研究中的可能性以及在具体变量赋值过程中应当注意的有关问题。

关键词:城市化;建设用地;建成区;邻域特征;扩张机制

Impacts of urban landscape structure on urban sprawl: A case researches in Nanchang

ZENG Hui, JIANG Feng, LI Shu-Juan (Department of Ecology, College of Environmental Science, Peking University, Beijing 100871, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9): 1931~1937.

Abstract: Urban sprawl led by continuous expansion of urban built-up areas is one of the essential features of landscape change in regions experiencing rapid urbanization. Expansion of urban built-up areas is constrained by both the external factors (e.g., topography, land use, and enforced protection measures) and the development needs within cities (e.g. growth of the socio-economic activities and population). Meanwhile, the existing urban structures, such as size and shape of the urbanized patches, and their distances to the non-urban patches around, will also exert significant constraints to the expansion of urban built-up areas. However, these constraints and their impacts have not been adequately addressed in previous research of urban landscape ecology. Though some case studies have already taken into account the morphological characteristics of the urbanized patches and the human settlement patterns of the peripheral non-urban pixels in landscape dynamics modeling, the mechanism of these constraints and their impacts remain unclear and constitutes a gap of research in this field.

This gap has constituted a significant obstacle for further analysis of the urban sprawl and modeling of the dynamics of those areas experiencing urbanization. Existing models fail to take into account the influences of the current structural features of the urbanized area to the conversion of the peripheral non-urban pixels to the urban pixels, and as a result, the existing modeling research lacks effective analysis of built-up area expansion and associated mechanism. In this article, the author, using Nanchang City in Jiangxi Province as a case study area, used 4 scenes of TM satellite imageries (1988~1991 and 1998~2000) to extract built-up area distribution maps, followed by overlay and operator methods to examine the mechanism by which

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40171091);国家基础发展规划资助项目(G200046807)

收稿日期:2004-03-27;修订日期:2004-06-25

作者简介:曾辉(1964~),男,辽宁凤城人,博士,副教授,主要从事景观生态学研究。E-mail: hzeng@urban.pku.edu.cn

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 40171091), and National Basic Development Planning Project (No. G200046807)

Received date 万方数据 Accepted date: 2004-06-25

Biography: ZENG Hui, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in landscape ecology. E-mail: hzeng@urban.pku.edu.cn

the existing structural features of the urbanized area exert influence to the expansion of new built-up areas. Three issues were addressed in this article: (1) influences on the ratio of conversion of the marginal non-urban pixels near the urbanized region into urban pixels caused by the neighborhood level of the marginal non-urban pixels; (2) influences on the ratio of conversion of non-urban pixels to urban pixels caused by the distance between the non-urban pixels and the nearest urban pixels; and (3) influences on the ratio of conversion of non-urban pixels to urban pixels caused by the size of the urban patches nearest to the non-urban pixels.

Based upon the empirical results, the following conclusions are drawn:

(1) There are striking differences in the urbanization process during the two study time periods. The increase of the built-up areas between 1988~1991 was achieved mainly by the expansion of the previously urbanized patches, whereas during 1998~2000, many new patches of built-up areas emerged. In addition, the increase of built-up areas in the first time period is much slower than that during the second period.

(2) The conversion ratio of non-urban pixels to urban pixels has distinct correlations with neighborhood characteristics of the marginal pixels, distance between the non-urban pixels and the nearest urban pixels, and size of the built-up patches. The three correlations can be fitted by linear, power, and binomial functions. The forms of the best fitted formulas have no relations with urbanization rate, built-up area expansion mode, and initial status of urbanization.

(3) The correlations among the data sets suggest that the existing urbanized areas have strong influences on the expansion of built-up areas. As the forms of the best fitted formulas are not related with the change of characteristics in the process of urbanization, it can be inferred that there exist further mechanisms behind these relations. Therefore, the results from this research provide both important clues for further exploration of the built-up area expansion in the process of urbanization, and strong scientific evidences for introducing these relations into research of urban landscape dynamics modeling.

(4) As the differences of urbanization characteristics can cause significant change of the coefficients in the fitted formulas, the unevenness features of urbanization should be paid special attention. It is noteworthy that in the raster-data-based modeling of urban spatial dynamics, influence to the fitted results caused by some variables may have stage drifting due to the differences in the process of urbanization, and the accuracy of the modeling results can be significantly improved by adopting appropriate ways to evaluate the variables.

Key words: urbanization; construction land-use; built-up area; neighborhood characteristics; expanding mechanism

文章编号:1000-0933(2004)09-1931-07 中图分类号:Q14,Q149,X171.4 文献标识码:A

建设用地规模不断增加是快速城市化地区最显著的景观动态变化特色,也是城市动态模拟研究的核心内容之一^[1~4]。城市建设用地扩张不但受制于外界因素的影响(如交通状况、地形条件和特定土地利用类型的强制性保护措施等)^[5~8],还受制于城市自身某些发展要求(如社会经济生产规模扩大和人口增长等)的约束^[9~12],同时,城市原有建成区的结构特征(如城镇斑块的规模、形状特征和城镇像元与周边城镇像元之间的距离差异)对新增建设用地的增长无疑也具有重要的约束影响^[13,14]。遗憾的是这种影响作用在以往的城市化地区景观生态研究中没有受到足够的重视,尽管在一些城市景观动态模拟研究中,有将建成区斑块的形状特征和边缘非城镇像元的邻域特征作为变量考虑到模型构建中的案例报道^[14],但这种影响的机制仍不十分清楚,国内外亦缺乏相应的研究积累。

这一研究空白极大地影响了城市化地区建设用地扩张的机理分析和动态模拟研究的发展,由于无法在模型中有效地考虑现有建成区结构特征对周边非城镇像元向城镇像元转化的约束影响^[15~19],现有的动态模拟研究普遍缺乏对城市建设用地扩张行为和机制进行有效的分析。本研究以江西南昌市及周边地区(包括南昌县和新建县)为例,利用两个时段的四景 TM 卫星影像数据(1988~1991 年,1998~2000 年),针对上述问题开展专题研究,试图弄清快速城市化地区城市建成区的结构特征对新增建设用地扩张的影响机制。本研究将重点分析以下 3 个问题:(1)与现有建成区临界的边缘非城镇像元的邻域水平对其向建成区转化比率的影响;(2)非城镇像元与最近城镇像元的距离对其向城镇转化比率的影响;(3)与非城镇像元最近的城镇像元所属斑块规模对其向城镇像元转化比率的影响。

1 工作区及研究方法

1.1 工作区简介及数据预处理

江西南昌地区自 20 世纪 80 年代中后期以来一直处于快速城市化发展进程中^[20]。本研究工作区为以南昌市为中心的一条西北-东南向带状区域,除南昌市区全部外,还包括新建县城区和南昌县城区在内的两县部分地区,总面积为 1512 km²。这种研

究区选择的目的是力图使工作区内既包括南昌市中心区这一大型地域性城市化单元,同时也包括象南昌县中心区和新建县中心区这种卫星城性质的城市化单元及其周边地区的各种小城镇,从而使研究区能够更好地反映赣江下游鄱阳湖南部平原地区的城市化特色。

基础数据来源于 1988、1991、1998 和 2000 年的 4 景 TM 卫星影像数据(像元边界长度为 30m)。在对影像数据进行必要的预处理(2、4、5 波段合成,拉伸增强,地形校正),并通过地面调查了解不同类型建设用地的基本影像特征后,利用 Erdas8.4 系统将工作区内的影像进行了建设用地和非建设用地二值化分类处理,形成了 4 个时段的建设用地分布图。为避免一些农村地区数量众多的小型分散居民点对分析结果产生噪声干扰,生成的建设用地分布图进行了 3×3 四方方向的滤波处理。由于影像合成方案中建设用地与其他用地类型之间影像特征差异较大,基本上不存在“同谱异物”和“同物异谱”方面的干扰。野外调查中记录到的约 100 处样点数据与分类结果完全吻合,证实制图精度可以满足分析要求。在具体分析中,将在 2000 年时段仍旧保持稳定的赣江和抚河河道、青岚湖等大型水体从研究区内剔除,以避免这些地物所包含的非城镇像元对统计结果的影响。1988~1991 年和 1998~2000 年两个时段工作区内的部分景观结构变化特征如表 1 所示,其中斑块数量判别以分类结果的实际边界为主,未考虑河流、道路等线状地物对同一斑块的分割对斑块数量统计的影响。

表 1 工作区两个时段城市建设用地的增长特征

参数 Indices	时段 Periods					
	1988~1991			1998~2000		
	1988	1991	年均增长 Yearly increasing rate(%)	1998	2000	年均增长 Yearly increasing rate(%)
建成区面积 Built-up area(km ²)	59.71	87.14	18.38	157.55	236.42	27.51
斑块数量 Patch number	2666	2411	-3.83	3461	4311	13.49
≥100 个像元的建成区斑块数量 Number of patch with the area≥100 cells	51	89	29.80	175	283	33.91
边界非城镇像元数量 Number of the cell which border upon the built-up area	60012	66517	4.34	107023	150065	22.10

从表 1 不难看出,本研究选择的两个研究时段(1988~1991:2.5a;1998~2000:1.8a)工作区内的城市化特征差异极大。为便于进行横向比较,表 1 中的所有绝对数统计指标均通过算术平均法利用各阶段的时间跨度转化成年平均增长率。1988~1991 时段尽管建设用地的扩张速度达到 18% 以上,但与 1998~2000 年时段相比增速仍低 9%。表 1 还反映出 1988~1991 年时段建设用地扩张以原有建成区不断向外扩张,郊区分散建成区斑块不断合并为主要特色,这种建设用地扩张模式导致大型建设用地斑块不断增加的同时,建成区斑块总量有所减少,同时与建成区斑块相邻接的非城镇像元数量增幅不大。1998~2000 年时段除保持前一时段建设用地扩张模式之外(大型建设用地斑块数量进一步快速增加),还出现了新的孤立性建设用地斑块大量出现这一新的扩张模式,正是这一模式使这一阶段建设用地斑块整体数量和边缘非城镇像元数量出现大幅度增长。

1.2 邻域特征研影响方法

利用自主 VC 编程形成的分析模块,对两个分析时段起始年份(1988 年、1998 年)进行全工作区扫描,将所有与现有建成区邻接的非城镇像元(以下简称边缘像元)全部分离出来,然后按照图 1 八邻域规则确定每个边缘像元的邻域水平,并统计每种邻域水平的边缘像元数量分布特征(不同填充像元的数字标注即为该边缘像元的邻域水平值)。表 2 的统计结果显示,两个时段内前 4 种邻域水平的边缘像元占据了所有边缘像元的绝大部分(95% 以上),邻域水平≥5 的边缘像元数量很少。另外,两个时段起始年份边缘像元在各邻域水平区间的分布比例差异不大,意味着快速城市化过程中研究区内城镇斑块的形状特征差异不显著。

将两个时段后一年份的城镇建设用地分布图与前一时段叠加,提取该时段所有转化为城镇建设用地的边缘像元,按照其邻

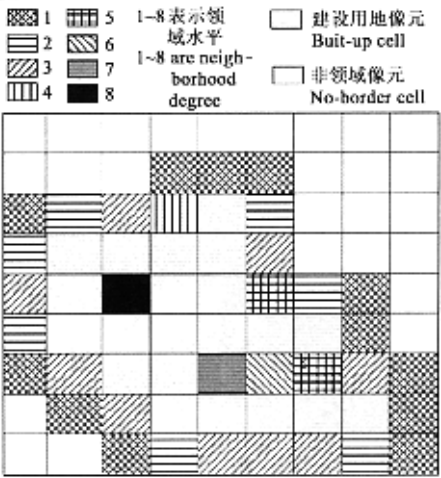


图 1 与建成区相邻的非城镇像元邻域水平差异示意图

Fig. 1 Different neighborhood degree of the cell border upon the built-up area

域水平差异分别计算年平均转化比率。为进一步分析边缘像元邻域特征在更长时间尺度上对于其向城市建设用地转化的影响,本研究还将 1988 年的所有边缘像元按照 1988~1991 年、1991~1998 年、1998~2000 年 3 个时段进行了累计转化比率分析。

1.3 距离效应研究方法

扫描全部工作区,确定 2 个分析时段起始年份每一个非城镇像元与最近的城镇像元的直线中心距离,并按照每种距离水平对所有非城镇像元进行归类。鉴于距现有城镇建成区距离较远(大于 30 个像元,1500m)的像元向城镇转化的比重非常低(统计表明所有时段其转化数量平均只占全部转化数量的 1%左右),本研究只对与现有城镇像元直线距离在 30 个像元的非城镇像元按照一个像元的间隔进行了详细归类,所有距离大于 30 个像元的非城镇像元均归入距离为 31 个像元的类别中。利用图形叠加方法计算每种距离类别非城镇像元向城镇像元的年平均转化率。

1.4 建成区斑块规模效应研究方法

计算 2 个分析时段起始年份每个非城镇像元距离最近的城镇像元所属城镇斑块的规模(用像元数表示),并按照斑块大小对非城镇像元进行归类。然后利用叠图方法计算每种斑块规模影响下的非城镇像元向城镇像元的年平均转化比率。为避免某些斑块规模类别因非城镇像元数量较少而导致统计结果出现较大波动,本研究利用不等间距分类区间进行合并的方法对统计结果进行滤波处理。区间合并采取以下两个原则:(1)统计区间不超过 20 个,以便更好地把握斑块规模影响的趋势特征;(2)所有区间的像元总数至少达到全部非城镇像元总数的 1%以上。按照上述原则,本研究共确定了 17 个统计区间,分别是 1~100 个像元(分 10 个区间,间隔为 10 个像元)、101~120 像元、121~150 像元、151~200 像元、201~500 像元、501~1000 像元、1001~10000 像元、>10000 像元,每个统计区间利用平均斑块面积代表该区间斑块规模的影响。

2 结果分析

2.1 边缘像元的邻域特征对建设用地扩张的影响

图 2 显示邻域水平与边缘像元向建设用地的转化率之间呈现出简单的线性递增关系,利用简单的直线方程可以很好地表现这种相关关系,特别是邻域水平小于 5 的边缘像元在两个时段内均保持着等比例递增的趋势。表 2 的结果表明工作区内两个比较时段 99% 的边缘像元均位于这 5 个邻域水平区间,说明边缘像元邻域水平对其向建设用地转化比率的影响行为具有较强的普遍意义。从图 2 还可以看出,邻域水平较高的像元转化率表现出一定的波动性,这一方面是因为高邻于水平像元数量较少,容易发生偶然性干扰;另一方面也与某些高邻域水平边缘像元因特殊性发展需要(如城市中的大块绿地在卫星影像分类中也可能被鉴别为邻域水平较高的边缘像元)在某些时段不容易发生转移有关。

为进一步弄清高邻域水平像元在比较长的时间尺度内向建设用地转化的情况,本研究连续监测了 1988 年不同邻域水平的边缘像元在 1988~2000 年之间 3 个时段的累积转化比率(图 3)。结果表明邻域水平越高,边缘像元的累积转化比例越高,其中邻域水平在 7 以上的边缘像元累积转化比例接近 100%。特别需要关注的是,邻域水平小于 5 的边缘像元的累积转化比率仍保持着比较完美的简单线性关系,无疑说明边缘像元邻域水平对其向建设用地转化比率的影响关系具有较好的稳定性。

不过,比较 1988~1991 年和 1998~2000 年两个时段拟合直线的斜率可以看出,后一个时段拟合直线的斜率明显小于前一个时段(相差接近 25%)。这一变化趋势表明随着工作区内建设用地规模的逐步扩大,边缘像元邻域水平差异对其向建设用地转化的影响程度逐步降低。造成这一结果的原因显然是因为在城市化发展进程中,建设用地扩张模式变化的缘故。1988~1991 年,由原有建成区斑块不断向外围扩张是建设用地增长的主要形式,边缘像元向建设用地转化的比率对邻域水平差异的敏感度比较高;而 1998~2000 年出现大量不依托原有建成区的新的建设用地斑块(如一些独立的商住项目建设等),直接导致边缘像元邻域水平差异对其向建设用地转化比率的约束作用下降。

表 2 不同时段非城镇边缘像元的邻域水平

Table 2 The neighborhood degree of the border cells in different time

邻域水平 Neighborhood degree	时间 Time			
	1988		1998	
	数量 Number	比重 Rate(%)	数量 Number	比重 Rate(%)
1	24565	40.93	40195	37.56
2	17136	28.55	28056	26.21
3	11875	19.79	24545	22.93
4	4596	7.66	10227	9.56
5	1404	2.34	2862	2.67
6	297	0.49	762	0.71
7	120	0.20	304	0.28
8	19	0.03	72	0.07

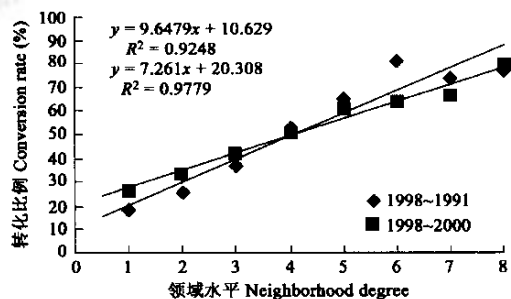


图 2 邻域特征对边缘像元转化比率的影响

Fig. 2 Impact of neighborhood characteristics on the changing rate of border cells

2.2 非城镇像元与最近城镇像元的距离特征对建设用地扩张的影响

非城镇像元与最近城镇像元的距离对建设用地扩张的影响可以概括为距离越近,转移比重越大。两个比较时段趋势基本相同,均可以用幂函数加以刻画(图4),即随着非城镇像元距离城镇像元距离的增加,其向建设用地转化的可能性迅速降低。两个比较时段唯一的差别就是距离对转化比率的影响程度有明显差异。根据统计,1988~1991年年平均转移比率大于1%的最远距离区间为4个像元(120m),其中距离为1个像元的年平均转化比率为13.69%;而到1998~2000年,转移比率大于1%的最远距离区间增加到11个像元,其中第一个像元区间的年平均转化比率高达20.93%。既后一个比较时段这种距离因素对于非城镇像元向建设用地转化的促进作用远远大于第一个比较时段。这种结果出现的原因除2.1节所述建设用地扩张模式的变化外,还说明原有核心建成区斑块在达到一定规模后,其向外围扩张的速度显著滞后于建设用地的增长步伐。正是由于一些独立于现有城市建成区的新建设用地斑块不断涌现并且在建设用地增长中占据重要比重,才导致年平均转化率大于1%的距离范围大幅度增加。

2.3 建成区斑块规模对建设用地扩张的影响

建成区斑块规模对非城镇像元向城镇用地转化比率的影响与相邻度效应和距离效应具有相似的特征(图5)。将斑块规模取对数后(因斑块规模差异较大,为方便制图和拟合分析,斑块规模坐标轴为对数坐标轴),两个比较时段建成区斑块规模与非城镇像元转化比重之间的关系基本相同,均符合二项式分布关系,只有拟合方程的参数有所区别。整体上,除最大一级别建成区斑块(>10000个像元)对周围非城镇像元向建设用地转化的促进作用显著提高外(转化率从15%增加到30%以上,其他各级别斑块对转化率的影响程度变化不大,其中1988~1991年<10000个像元的16个建成区斑块级别对应的非城镇像元转化率为2%~12%之间,1998~2000年则为1%~15%。

>10000个像元的大型建成区斑块导致周围非城镇像元转化比率大幅度上升的原因主要有两个方面:(1)1998~2000年建设用地的年均增长率比前一个比较时段提高了近10个百分点(表1),加上两个比较时段起始年份建成区面积相差近100km²,导致1998年以后建设用地年均绝对增量远远大于前一个比较时段,使得大型建设用地斑块周围非城镇建设用地像元转化率显著提高;(2)1998~2000年由于建成区斑块数量大幅度增加,导致不同建成区斑块之间的距离显著缩短,按照距离最近建设用地像元扫描形成的每个建成区斑块外围非城镇区域的宽度也显著减小。因此,尽管因大型建成区斑块数量增加而导致受这类斑块控制的非城镇像元数量有较大幅度增加,但由于这些像元距建成区斑块的距离很近,按照2.2节的结果具有较高的建设用地转化率。

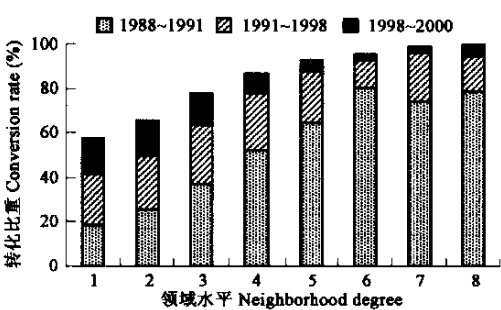


图3 研究时段内1988年所有边缘像元的累积转移特征
Fig. 3 The cumulative conversion rate of the total study period for the border cells in 1988

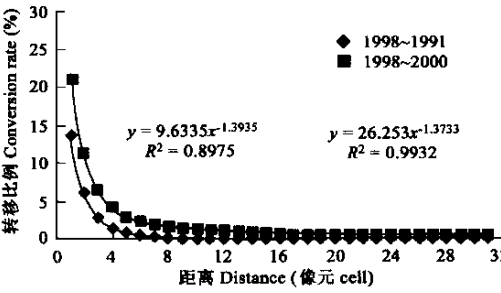


图4 非城镇像元与建成区的距离对转化比率的影响
Fig. 4 Impact of the distance between the non-built-up and the built-up cells on the conversion rate

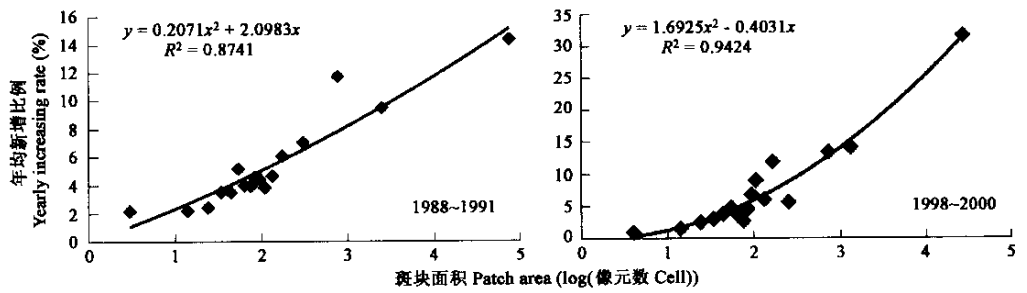


图5 建成区斑块面积对非城镇像元转化比率的影响
Fig. 5 Impact of the built-up patch area on the conversion rate of non-built-up cell

2.4 讨论

本研究用于比较的两个时段城市化的过程特征和新增建设用地扩张速度差异极大,与国内同类研究相比,基本上相当于沿海地区快速城市化过程的初期和中期阶段^[21,22]。但是现有建设用地的空间格局属性对于周围非城镇像元向建设用地转化比率的影响特征却保持着较高的一致性和稳定性,充分说明了现有建成区对于城市化过程中的建设用地增长具有重要的主导作用。两个比较时段 3 种关系数据对最佳拟合方程类型的高度一致性,显示出其所反映的相关性属于一种机理性联系,这种联系基本上与建设用地扩张模式、扩张速度以及城市化发展的起点没有必然联系。因此,本研究的结果无疑可以为今后探讨城市化过程中,建设用地的扩张机制研究提供一系列重要的线索。

建成区格局特征对于非城镇像元向建设用地转化比率影响机制的稳定性,为在城市化动态研究中,使用上述关系来预测建设用地的增长过程提供了可靠的保证。不过,城市化特征的差异(包括建设用地扩张模式和发展速度等)可以导致拟合方程的参数发生显著变化,这就要求特别关注城市化发展的非均匀性特点。特别是在今后基于栅格数据的城市化动态空间模拟研究中,注意某些变量对于模拟结果的影响可能会因为城市化进程的差异存在着阶段性漂移,进而通过正确的变量赋值方法,来显著改善模拟研究的结果精度。以往的类似研究中,人们习惯于使用一套固定的变量赋值体系和几乎不变的起始条件进行长时段的动态模拟研究(15~20a),从本研究结果看,这种做法无疑是值得商榷的,特别是城市化进程因内外界因素约束影响而表现出明显的波动性时,可以肯定这种动态研究思路的结果是不准确的。

本研究将现有建成区的格局特征对非城镇像元向建设用地转化的影响分解成边缘像元的邻域特征影响、非城镇像元与最近建成区像元的距离影响以及建成区斑块的规模影响 3 种类型。这种分析思路设计主要是参考了近年来景观生态学对于斑块动力学和斑块之间相互作用关系研究的主要成果^[23~25]。当然建成区斑块对建设用地增长影响的研究视角不应仅限于本研究所涉及的内容,而且这 3 种关系之间还存在着某些重叠(例如与最近建成区像元中心直线距离为 1 的像元肯定都是边缘像元),因此本研究可以看成是从不同的侧面去揭示建成区格局特征对非城镇像元向建设用地转化的影响。可以确定一个非城镇像元转化为建设用地是周围环境条件(如交通条件、资源禀赋等)和建成区格局特征综合影响的结果,作为一项统计学研究,完全精确地区分这 3 种影响类型的范围和强度既不可能,也无必要。

最后需要说明的是,本研究在通过实地调查和统计分析确认非城市建设用地类型的差异对其向建设用地转移的影响不显著的情况下,对工作区进行了建设用地和非建设用地的二值化处理。如果存在显著约束某种用地类型向建设用地转移的环境或政策因素的话(如难以克服的地形约束因素、不允许用作城市建设用地的特定用地类型、政策障碍明显的基本农田保护区等),则必须在转移过程分析中合理加以剔除,或将这些环境条件与政策因素约束影响在非城镇像元的资源禀赋中加以考虑,这样才能够确保景观分类图简化过程的合理性和最终分析结果的准确性。

3 结论

(1)研究区内两个比较时段的城市化发展进程表现出显著的差异,1988~1991 年建设用地增长以原有建成区斑块不断向外围扩张为主,而 1998~2000 年,独立的新建成区斑块大量出现成为建设用地增长的另一种主要方式。此外前一比较时段建设用地增长速度显著低于后一比较时段。

(2)边缘像元的邻域特征、非城镇像元与最近建成区像元的距离以及建成区斑块的规模与非城镇像元向建设用地转化比率之间存在着显著的相关关系,3 种相关关系可以用一阶直线方程、幂函数和二项式方程进行拟合。最佳拟合方程的类型与城市化发展速率、建设用地扩张模式和城市化发展的起点水平无关。

(3)各数据对之间的显著相关性说明了现有建成区对于建设用地增长具有重要的主导作用。而最佳拟合方程的类型不随城市化过程的特征变化而变化,表明这种相关性背后必然隐藏着更进一步的机制性联系。因此,本研究的结果既可以为今后探讨城市化过程中建设用地的扩张机制研究提供重要的线索,也可以为将上述响应关系引入城市景观动态模拟研究中提供了坚实的科学依据。

(4)城市化特征的差异可以导致拟合方程的参数发生显著变化,要求我们特别关注城市化发展的非均匀性特点。在基于栅格数据的城市化动态空间模拟研究中,应当注意某些变量对于模拟结果的影响可能会因为城市化进程的差异存在着阶段性漂移,并通过正确的变量赋值方法来改善模拟研究的结果精度。

References:

- [1] Yeh AGO, Li X. Measurement and monitoring of urban sprawl in a rapidly growing region using entropy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2001, **67** (1): 83~90.
- [2] Yang 万方数据 Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, **23** (9): 1775~1798.

- [3] Fang X Q, Zhang W B. The urban expansion and the evolution of urban fringe in Beijing in the 20th Century. *Urban planning*, 2002, **26** (4): 56~60.
- [4] Liu S H, Wu C J, Shen H Q. A GIS based model of urban land use growth in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2000, **55**(4): 407~416.
- [5] Kline J D, Mosses A, Alig R J. Integrating urbanization into landscape-level ecological assessments. *Ecosystems*, 2001, **4** (1): 3~18.
- [6] Young C H, Javis P J. A simple method for predicting the consequences of land management in urban habitats. *Environmental Management*, 2001, **28** (3): 375~387.
- [7] Wang Y Q, Moskovits D K. Tracking fragmentation of natural communities and changes in land cover: Applications of landsat data for conservation in an urban landscape (Chicago wilderness). *Conservation Biology*, 2001, **15** (4): 835~843.
- [8] Gao J, Song Y C. Landscape dynamics of two-side lands-along main urban roads In Southwestern Shanghai, *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, **12**(4):605~609.
- [9] Raghavswamy V, Pathan S K. IRS-1C applications for urban planning and development. *Current Science*, 2000, **70** (7): 582~588.
- [10] Tjallingii S P. Ecology on the edge: Landscape and ecology between town and country. *Landscape and Urban Planning*, 2000, **48** (3~4): 103~119.
- [11] Fagan W F, Meir E, Carroll S S, Wu J G. The ecology of urban landscapes: modeling housing starts as a density-dependent colonization process. *Landscape Ecology*, 2001, **16** (1): 33~39.
- [12] Xue D Q. Expansion law and restraining mechanism about urban land: taking Xi'An City as an example. *Journal of Natural Resources*, 2002, **17**(6):729~736.
- [13] Lopez E, Bacon G, Mendoza M, *et al.* Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe——A case in Morelia city, Mexico. *Landscape and Urban Planning*, 2001, **55** (4): 271~285.
- [14] Sui Danniell Z, Zeng H. Modeling the dynamics of landscape Structure in Asia's emerging desakota regions: a case study in Shenzheng. *Landscape and Urban Planning*, 2001, **53**:37~52.
- [15] Wu F. Simulating urban encroachment on rural land with fuzzy-logic-controlled cellular automata in a geographical information system. *J. Environmental Management*, 1998, **53**:293~308.
- [16] Turner M G. Spatial simulation of landscape changes in Georgia: a comparison of 3 transition models. *Landscape Ecology*, 1987, **1**: 29~36.
- [17] Jenerette G D, Wu J. Analysis and simulation of land-use change in the central Arizona - Phoenix region, USA. *Landscape Ecology*, 2001, **16** (7): 611~626.
- [18] Wang Y Q, Zhang X S. A dynamic modeling approach to simulating socioeconomic effects on landscape changes. *Ecological Modeling*, 2001, **140**: 141~162.
- [19] Xie Z X, Xiao P L. Dynamic models of suburban landscape: a case study on Dongling District of Shenyang, *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1996, **7**(1):77~82.
- [20] Chen M Q, Zhao X M, Wu X F. Development on monitoring urban land expansion by remote sensing. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 1999, **21**(2): 237~241.
- [21] Zeng H, Tang J, Guo Q H. A landscape study of element transferring pattern and changing stage of Changping town in eastern part of ZhuJiang Delta area. *Scientia Geographica Sinica*, 1999, **19**(1): 73~77.
- [22] Li X, Ye J. Application of remote sensing for monitoring and analysis of urban expansion——a case study of Dongguan. *Geographical Research*, 1997, **16**(4): 56~61.
- [23] Forman R T T. *Land Mosaics: The Ecology of Landscape and Regions*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 405~524.
- [24] FU B J, Chen L D, Ma K M, *et al.* *Landscape Ecology: Principles and Applications*. Beijing: Science Press, 2001. 111~144.
- [25] Wu J G. *Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy*. Beijing: Higher Education Press, 2000. 73~94.

参考文献:

- [3] 方修琦, 章文波, 等. 近百年来北京城市空间扩展与城乡过渡带演变. *城市规划*, 2002, **26**(4):56~60.
- [4] 刘盛和, 吴传钧, 沈洪泉. 基于 GIS 的北京城市土地利用扩展模式. *地理学报*, 2000, **55**(4): 407~416.
- [8] 高峻, 宋永昌. 上海西南城市干道两侧地带景观动态研究. *应用生态学报*, 2001, **12**(4):605~609.
- [12] 薛东前. 城市土地扩展规律和约束机制——以西安市为例. *自然资源学报*, 2002, **17**(6):729~736.
- [19] 谢志霄, 肖笃宁. 城郊景观动态模型研究——以沈阳市东陵区为例. *应用生态学报*, 1996, **7**(1):77~82.
- [20] 陈美球, 赵小敏, 吴次芳. 城镇用地扩张的遥感监测研究进展. *江西农业大学学报*, 1999, **21**(2): 237~241.
- [21] 曾辉, 唐江, 郭庆华. 珠江三角洲东部地区常平镇景观组分转移模式及动态变化研究. *地理科学*, 1999, **19**(1): 73~77.
- [22] 黎夏, 叶嘉安. 利用遥感监测和分析珠江三角洲的城市扩张过程——以东莞市为例. *地理研究*, 1997, **16**(4):56~62.
- [24] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等编. *景观生态学原理及应用*. 北京: 科学出版社, 2001. 111~144.
- [25] 邬建国. *景观生态学——格局、过程、尺度与等级*. 北京: 高等教育出版社, 2000. 73~94.