

# 不同尺度转换方式对土地利用格局模拟的影响效应研究

吴桂平

(南京大学 地理信息科学系, 南京 210093)

**摘 要:**以张家界市永定区为研究对象, 根据 2005 年土地利用现状图和数字高程模型数据源得到的土地利用、地形、河流以及道路等空间数据, 在不同的尺度聚合方法下构建了多种尺度上的土地利用格局模拟模型, 以试图探讨不同尺度转换方式对土地利用格局模拟的影响。研究结果显示: ① 在空间尺度逐渐增大过程中, 中心值原则(RCC)下, 模型的拟合优度(ROC 值)变化相对较大, 表现出很强的随机性, 在  $400\text{ m} \times 400\text{ m}$  和  $700\text{ m} \times 700\text{ m}$  的尺度时, ROC 值出现明显的波动; ② 面积最大原则(RMA)和优化组合方法(OIM)下, 随着聚合尺度的升高, 模型的拟合优度值变化相对较为平缓, 且 ROC 值逐渐增大的趋势比较明显; ③ 比较 RCC、RMA 和 OIM 三种方法, 优化组合方法(OIM)具有更高的拟合优度, 在各种聚合尺度上, 土地利用类型的 ROC 值均得到了明显的提高(耕地、林地和建设用地的平均 ROC 值分别提高到 0.767, 0.785, 0.895); ④ 各种尺度转换方法下, 在  $1\,700\text{ m} \times 1\,700\text{ m}$  尺度时各种地类格局的拟合均出现 ROC 的峰值, 可以认为  $1\,700\text{ m}$  是永定区土地利用格局的最佳模拟尺度。研究结果对区域进行土地利用的规划、制定相应的土地开发与利用政策等也具有一定的参考意义。

**关键词:** 尺度转换; 土地利用; 空间模拟; 影响效应

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)05-0075-05

## Exploring Effect of Different Scaling Methods on Simulation of Land Use Patterns

WU Guiping

(Department of Geographical Information Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** Land uses in Yongding county, which is one of the typical karst mountain area in northwestern Hu'nan province, were investigated by means of modeling the land use types with different scaling methods at multiple scales with the purpose of studying on the scale effect of scaling with regional land use spatial data, and using the model to simulate and analyze the spatial land use patterns in Yongding county. The following results were obtained: (1) The ROC values of different land use types from raster data with the rule of centric cell (RCC) varied widely when spatial scale increases and appeared strong randomness. The ROC values showed obvious fluctuation at  $400\text{ m} \times 400\text{ m}$  and  $700\text{ m} \times 700\text{ m}$  scales. (2) The ROC values appeared less fluctuation under the rule of maximum area (RMA) and the optimized integration method (OIM) with the increase of the aggregation levels and the increasing trend of ROC values were obvious. (3) Compared with RCC and OIM, the results indicate that the land use simulation model showed better goodness of fitting and higher accuracy of fitting under the scaling method of OIM. The area under ROC curves (AUC) of cultivated land, forest land and construction land were improved to 0.767, 0.785 and 0.895 respectively when using OIM. (4) The simulation of land use patterns all showed maximum values of ROC at  $1\,700\text{ m} \times 1\,700\text{ m}$  scale in different scaling methods, so it is argued that the  $1\,700\text{ m} \times 1\,700\text{ m}$  is an significant level for simulating the distribution of land use types in the study area. The results will also provide some reference for the land use planning and policy-making of sustainable utilization of land resources.

**Key words:** scaling; land use; spatial simulation; influencing effect

收稿日期: 2010-03-10

资助项目: 国家自然科学基金项目(40771198); 张家界市永定区土地利用总体规划修编项目

作者简介: 吴桂平(1980-), 男, 江苏泰州人, 博士研究生, 主要从事遥感与地理信息系统及其应用研究。E-mail: csuwgp@126.com

土地利用及其变化受到自然、社会、经济等众多因素的相互影响,是一个相当复杂的过程<sup>[1]</sup>,目前已经成为全球环境变化和可持续发展研究的重要内容<sup>[2]</sup>。要综合分析各种因素对土地利用的影响,则必须将所研究的范畴落实到一定的区域上,这样才有可能具体地探讨各种自然、社会经济的变化对土地利用/土地覆盖的影响<sup>[3]</sup>,而在区域的土地利用与土地覆盖变化研究过程中,区域的空间规模尺度则是一个十分关键的问题<sup>[4]</sup>。土地利用在不同的规模尺度上具有不同的特征,包括不同的影响因素、不同的演变机理与过程(scale effect)<sup>[5]</sup>。因此,区域土地利用与土地覆盖变化必须与尺度效应联系起来,通过尺度效应的研究,回答和解决以下三个方面的问题:①如何有效地将土地利用空间数据从一种尺度转换到另一种尺度<sup>[6]</sup>?②在何种尺度上,可以正确地把握特定的土地利用变化规律<sup>[7]</sup>?③不同空间尺度上的数据在反映相同的土地利用现象时的差异如何<sup>[8]</sup>?

针对上述问题,国内外学者们做了大量的工作。陈佑启和 Verburg P H<sup>[11]</sup>采用 6 个不同的栅格尺度(32, 64, 96, 128, 160, 192 km),运用多元回归模型,探讨了我国土地利用的多尺度空间分布特征;邓祥征等人<sup>[9]</sup>以中国北方农牧交错带为研究对象,分析了由于“可塑性面积单元问题”的存在而导致的土地利用变化驱动力研究中的尺度效应问题;张永民等人<sup>[10]</sup>分别在 5 个模拟尺度上(100, 250, 500, 750, 1 000 m)构建了河北省沽源县的土地利用格局模拟模型,解释了土地利用格局与驱动因素之间的相互关系及其尺度相关性特征,同时在此基础上确定了研究区域的最优模拟尺度。众多的研究表明,学者们在选择尺度分析方法时,大多数都是按照平均聚合的方法来建立一种人为的栅格尺度序列的。然而,真实世界的空间数据具有连续性和不均匀性的特点,栅格数据作为土地利用中一类重要的数据组织方式,对土地利用的空间分析、模拟和应用有着极为重要的意义。地理空间数据的聚合方式将对成果的解释说明有显著的差异,不同的聚合方式决定了格网数据的精度,并影响了后续空间分析和模拟结果的精度<sup>[11-12]</sup>。因此,在实现土地利用空间数据的栅格转化时,应根据数据的分布特征与应用要求选用适当的聚合方法。鉴于此,本文选取位于湘西北岩溶山区的张家界市永定区为研究对象,尝试从不同的矢栅转换原则出发,对土地利用空间数据进行尺度转换,然后采用多元 Logistic 回归的方法,通过分别构建不同聚合尺度上的土地利用格局模拟模型,详细分析研究区域内不同尺度转换方式对土地利用格局的尺度依赖性规律,以期通过对土地利用尺度转换问题的研究,有助于实施土地利用模式在不

同尺度间的转换,从而更进一步促进对不同尺度下土地利用与土地覆盖变化机理和过程的认识。

## 1 研究区概况

张家界市永定区地处湖南省西北部,云贵高原武陵山脉北支中断,长江流域洞庭湖水系澧水中上游,是张家界市旅游经济开发的腹地。全区土地总面积 2 174 km<sup>2</sup>,东与慈利、桃源毗邻,南抵沅陵,西邻永顺,北与桑植、武陵源接壤,地理坐标为东经 110°04′-110°55′,北纬 28°52′-29°25′。永定区境内群山起伏,沟谷纵横,山地相对高差较大,最大高差达 1 392.6 m。研究区水资源较为丰富,中部澧水自西向东蜿蜒而下,横贯境内长达 96.8 km,控制流域面积 1 614.29 km<sup>2</sup>。全区年平均气温 16.8℃,年日照时数为 1 449.6 h,中部溪谷平地年降雨量 1 300~1 600 mm,南部中低山区年降雨量在 1 700 mm 以上,属于亚热带山原型季风性湿润气候。

研究区具有以下三个典型特点:①地质构造复杂,地貌类型多样化:全区地貌以山地为主,兼有丘陵、岗地、溪谷平原等多种地貌类型;②水土流失严重,生态环境脆弱:全区绝大部分旱地分布在山坡上,有近 80% 的旱地面积存在着不同程度的水土流失现象,山体滑坡等自然灾害频繁;③典型的少数民族聚居地区和农业旅游区:2005 年全区少数民族人口占总人口的比例高达 78%;农业和旅游业总产值占全区 GDP 总量的 73%。

## 2 数据来源和研究方法

### 2.1 数据来源与分析

本研究主要的数据来源包括:①张家界市永定区 2005 年土地利用现状数据(MapGIS 格式);②美国国家航空航天管理局(NASA)提供的永定区范围内 3 弧秒精度的 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)数据;③永定区 2005 年社会经济统计年鉴。

首先,根据土地利用现状图在 MapGIS 平台下提取出耕地、林地和建设用地三种用地类型,作为本次研究的主要土地利用类型,在此基础之上转换成 shape 文件格式。同时,土地利用是社会经济与自然环境交互作用的结果,为了充分验证在不同尺度转换方式下,各种影响因子对土地利用格局的拟合状况,本研究综合考虑各种自然环境、社会经济以及可达性方面的因素,具体包括以下几个方面:①地形因子,包括高程、坡度和坡向等要素;②可达性因子,包括各点与公路的最近距离、与铁路的最近距离、与水域的最近距离以及主要乡镇的最近距离等;③社会经济因

子,包括城市化率、人口密度、劳动力密度、农业生产总值、工业生产总值等。

## 2.2 研究方法

2.2.1 Logistic 回归模型 Logistic 回归模型是土地利用变化研究中常用的一种方法。这种方法一般是将研究区细分为许多栅格单元,模型的目标变量(土地利用格局)由二分类变量数据表示,1 表示某种土地利用类型出现,0 表示不出现,模型的解释变量(驱动因素)通过一系列自然和社会经济因素来描述。

假设一个栅格可能出现某一土地利用类型的条件概率为  $P_i = P(y_i = 1 | x_i)$ , Logistic 回归模型假定这个概率能表达为如下的 Logistic 函数形式:

$$P_i = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \dots + \beta_n X_{n,i})}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \dots + \beta_n X_{n,i})} \quad (1)$$

式中:  $P_i$  ——每个栅格可能出现土地利用类型  $i$  的概率;  $X$  ——各备选驱动因素;  $\beta_n$  ——由 Logistic 回归方程所诊断出的第  $n$  个驱动因素的回归系数。Logistic 函数是协变的非线性函数并且能转换成线性函数形式。根据公式(1),可以计算事件发生与不发生的比率为:

$$\frac{P_i}{1 - P_i} = \exp(\beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \dots + \beta_n X_{n,i}) \quad (2)$$

这个比率称为似然比(odds)。通过对似然比进行自然对数变换就可以得到一个线性函数:

$$\lg\left(\frac{P_i}{1 - P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \dots + \beta_n X_{n,i} \quad (3)$$

基于 Logistic 回归方法的土地利用格局模拟模型就是根据公式(3)的 Binary Logistic 回归方程构建而成的。对于 Logistic 回归方程的解释能力一般利用 Pontius R G 提出的 ROC(Relative Operating Characteristics)方法<sup>[13]</sup>进行检验。检验指标 ROC 值介于 0.5 和 1.0 之间,0.5 表示回归方程的解释能力最差,与随机判别效果相当,1.0 表示方程的解释能力最好,可以完全确定土地利用的空间分布,随着 ROC 值的增加,Logistic 回归方程对土地利用格局的解释能力逐渐上升。

2.2.2 尺度聚合方法 最常用的尺度聚合方法有两种,第一种是以最大面积值为基础(Rule of Maximum Area)的方法;第二种是以中心属性值为基础(Rule of Centric Cell)的方法<sup>[14]</sup>。前者可以理解为优势规则,类似于遥感重采样方法中的平均值法,后者可以理解为随机规则。

面积最大值的原则(RMA)是从转换的网格中选取网格数量最多的类型作为输出网格的类型,如果存在两个或多个优势类型,随机选择其中之一作为输出

网格的类型。所用的方法是,利用 Arc/info 的 Arc 模块下的 PolyGrid 命令,将矢量图栅格化,每个栅格的取值为该栅格内所占面积最大的属性值。在中心属性值原则(RCC)下,网格取值是以栅格单元框架中心点的属性值作为输出值。所用的方法是利用 Arc view 的 Grid 模块下的 Convert to Grid 命令,将矢量图栅格化,每个栅格的取值为该栅格中心点的属性值。一般而言,面积最大原则适用于分类较细、格网较小的情况,突出整体的分布规律。中心属性值原则适用于具有连续分布特征的地理要素,如降水量分布、人口密度图等<sup>[15]</sup>。

在本文的研究中,首先分别采用 RMA 方法和 RCC 方法对土地利用空间数据(包括土地利用类型数据和驱动因子数据)进行了尺度转换(分别以 100 m × 100 m 为起点,2 000 m × 2 000 m 为终点,100 m 为间隔),借助于 SPSS 13.0 软件,在两种聚合方法下构建不同尺度上的土地利用格局模拟模型。然后将 RMA 方法下的土地利用数据与 RCC 方法下的驱动因子数据组合,进行不同尺度上的土地利用格局模拟,以最终分析不同尺度转换方式对土地利用格局及其决定因素之间相互关系的尺度依赖性规律。

## 3 结果分析

表 1 显示了在不同聚合方法下,永定区 2005 年主要地类(耕地、林地和建设用地)的多元 Logistic 回归模型在 100 m × 100 m ~ 2 000 m × 2 000 m 各种聚合规模上的拟合优度值。其中,所有模拟结果的拟合优度均达到了 ROC > 0.5 的要求。在 100 m × 100 m 的基本研究尺度上,回归模型的拟合优度均比较低,模型的拟合优度总体上随着聚合规模的升高而升高,但是在稍高聚合规模时(大于 1 700 m × 1 700 m)均发生骤变现象。总体而言,建设用地的拟合优度较好,拟合优度值均远远高于耕地和林地。

从表 1 可以看出,在不同的栅格化方法中,随着栅格大小的变化,模型的拟合优度(ROC 值)的变化呈现不同的趋势。在中心值原则(RCC)下,随着栅格像元的增大,模型的拟合优度值变化相对较大。其趋势为:在 400 m 和 700 m 的尺度时,ROC 值出现明显的波动。在面积最大原则(RMA)和优化组合方法(OIM)下,随着聚合尺度的升高,模型的拟合优度值变化相对较为平缓,且 ROC 值逐渐增大的趋势比较明显。比较 RCC、RMA 和 OIM 三种方法,优化组合方法(OIM)具有更高的拟合优度,在各种聚合尺度上,耕地、林地、建设用地的 ROC 值均得到了明显的提高。

表 1 不同聚合方法下的 Logistic 回归拟合优度对尺度变化的响应

尺度/m	RCC			RMA			OIM		
	耕地	林地	建设用地	耕地	林地	建设用地	耕地	林地	建设用地
100	0.629	0.683	0.750	0.664	0.714	0.817	0.684	0.721	0.820
200	0.628	0.686	0.746	0.664	0.713	0.865	0.685	0.728	0.874
300	0.631	0.684	0.738	0.702	0.730	0.861	0.704	0.737	0.870
400	0.658	0.721	0.779	0.686	0.728	0.872	0.701	0.735	0.875
500	0.626	0.684	0.770	0.719	0.751	0.891	0.729	0.754	0.891
600	0.635	0.687	0.743	0.725	0.755	0.862	0.738	0.758	0.876
700	0.646	0.711	0.813	0.746	0.777	0.897	0.754	0.790	0.914
800	0.630	0.703	0.778	0.741	0.772	0.894	0.777	0.793	0.913
900	0.607	0.674	0.741	0.744	0.776	0.895	0.767	0.798	0.905
1000	0.629	0.695	0.755	0.770	0.789	0.897	0.801	0.813	0.904
1100	0.655	0.713	0.751	0.774	0.793	0.885	0.805	0.821	0.890
1200	0.650	0.714	0.765	0.756	0.790	0.890	0.816	0.823	0.901
1300	0.665	0.719	0.764	0.762	0.798	0.909	0.823	0.827	0.922
1400	0.655	0.719	0.77	0.785	0.810	0.898	0.825	0.840	0.898
1500	0.638	0.688	0.777	0.795	0.816	0.894	0.829	0.817	0.903
1600	0.643	0.712	0.841	0.748	0.767	0.916	0.818	0.787	0.925
1700	0.670	0.761	0.841	0.754	0.795	0.935	0.830	0.855	0.965
1800	0.640	0.690	0.704	0.810	0.837	0.961	0.826	0.804	0.957
1900	0.651	0.717	0.679	0.581	0.708	0.904	0.691	0.744	0.893
2000	0.666	0.719	0.783	0.756	0.764	0.843	0.728	0.763	0.813
平均	0.643	0.704	0.764	0.734	0.769	0.889	0.767	0.785	0.895

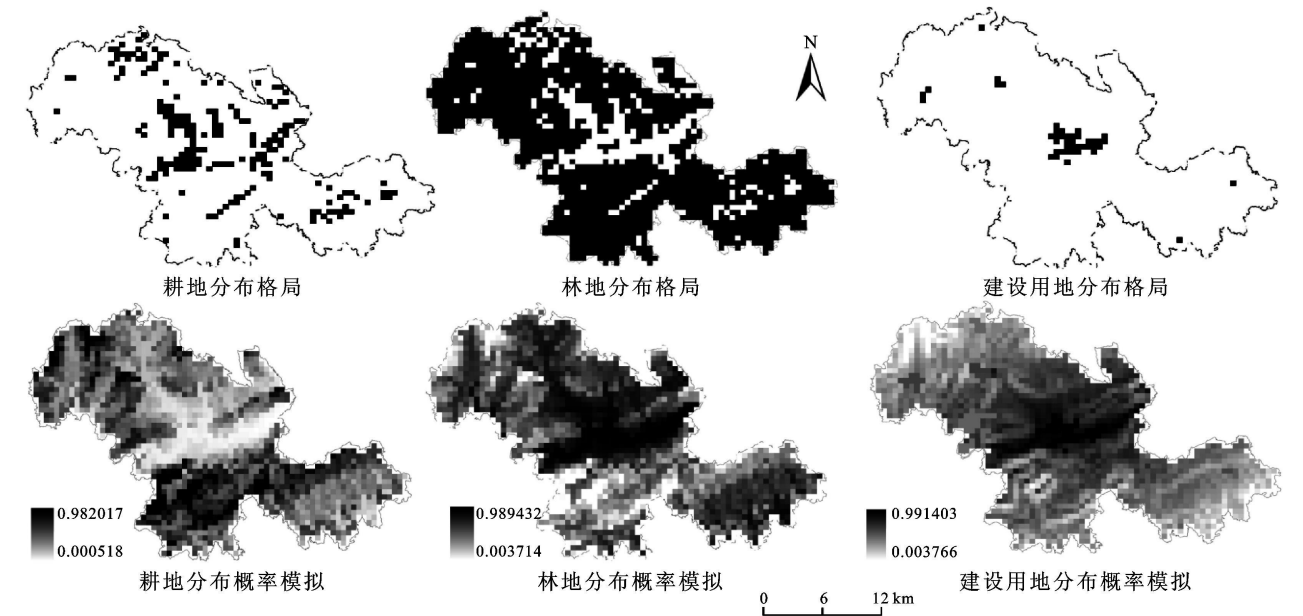


图 1 永定区 2005 年 1 700 m 尺度上的土地利用分布格局(上)及其空间概率模拟(下)

尽管在不同的模拟尺度上,各种地类格局的 Logistic 回归方程的拟合优度具有明显的不同,但是不管模拟尺度大小,各类解释变量对土地利用类型发生比的作用方向是完全相同的,只是解释变量对地类发生比的作用程度存在着一定的差异。并且,随着模拟尺度的增大,所得方程的拟合优度逐渐上升。纵观三种方法,在 1 700 m 尺度时各种地类的拟合均出现 ROC

的峰值,因此,可以认为 1 700 m 是永定区土地利用格局的最佳模拟尺度,最终运用此尺度上的 Logistic 回归模型分别对耕地、林地和建设用地格局的空间分布概率进行计算和模拟,模拟结果如图 1 所示。

图 1 显示,在 1 700 m 的空间尺度上,永定区土地利用空间分布概率与土地利用格局的真实分布基本上是相符的,即土地利用类型的分布区域往往是模

拟得到的概率较高区域。但是,在局部地区也存在着模拟概率与实际情况不符的地方,究其原因可能有两个方面:(1)真实的土地利用分布格局与根据模型计算的模拟概率之间的误差与相应尺度范围内的土地利用复杂程度是相对应的,具体表现为永定区喀斯特地貌特征下的土地利用及其自然要素的高复杂性,必然引起尺度转换时所带来的栅格化误差。(2)各种土地利用类型在区域土地利用空间格局分布过程中均存在着一定程度的空间自相关性,这种空间自相关性的特征在尺度转换和模型模拟时都会带来一定的误差。这些情况说明,在进行尺度转换时,针对不同的地理要素,尺度转换方法的选择是十分关键的。

## 4 结论

(1)基于由遥感和数字高程模型数据源得到的土地利用、地形、河流、湖泊、道路以及城镇和农村居民点等空间数据,分别采用不同的尺度转换方法,以 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 为起点, $2\,000\text{ m} \times 2\,000\text{ m}$ 为终点,在20个空间模拟尺度分别构建了耕地、林地和建设用地的格局模拟模型。在不同的数据转换方法下,土地利用格局模拟模型的拟合优度都存在着显著的差异,表明尺度转换方式对土地利用格局存在着尺度依赖性规律。

(2)在空间尺度逐渐增大过程中,中心值原则(RCC)下,模型的拟合优度值变化相对较大,表现出很强的随机性,在 $400\text{ m}$ 和 $700\text{ m}$ 的尺度时,ROC值出现明显的波动;面积最大原则(RMA)和优化组合方法(OIM)下,随着聚合尺度的升高,模型的拟合优度值变化相对较为平缓,且ROC值逐渐增大的趋势比较明显。比较RCC、RMA和OIM三种方法,优化组合方法(OIM)具有更高的拟合优度,在各种聚合尺度上,耕地、林地、建设用地的ROC值均得到了明显的提高。

(3)RMA法突出了整体的分布规律,而RCC法突出了土地利用复杂程度的空间分布特征。由原始矢量数据经过空间数据聚合构建的土地利用格局模型,可以在一定程度上揭示土地利用空间数据转换所引起的尺度效应的变化规律。此外,研究结果对于区域土地利用的规划、土地资源的合理开发与可持续发展战略的实施也具有一定的指导意义和参考价值。

## 参考文献:

- [1] 陈佑启, Peter H V, 徐斌. 中国土地利用变化及其影响[J]. 地理科学进展, 2000, 19(2): 116-127.
- [2] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域: 土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, 51(5): 553-558.
- [3] 陈佑启, Peter H V. 中国土地利用/土地覆盖的多尺度空间分布特征分析[J]. 地理科学, 2000, 20(3): 197-202.
- [4] Jane S, Darla M, Harini N. Land cover change and landscape fragmentation: comparing the utility of continuous and discrete analyses[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2004, 101: 185-205.
- [5] Holling C S. Cross scale morphology, geometry and dynamics of ecosystems[J]. Ecological Monographs, 1992, 62(4): 447-502.
- [6] Marceau D J, Hay G L. Remote sensing contributions to the scale issue[J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 1999, 25: 356-364.
- [7] 李军, 庄大方. 地理空间数据的适宜尺度分析[J]. 地理学报, 2002, 57(增刊): 52-59.
- [8] 邱扬, 傅伯杰. 土地持续利用评价的景观生态学基础[J]. 资源科学, 2000, 22(6): 1-8.
- [9] 邓祥征, 战金艳. 中国北方农牧交错带土地利用变化驱动力的尺度效应分析[J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(3): 64-68.
- [10] 张永民, 周成虎, 郑纯辉, 等. 沽源县土地利用格局的多尺度模拟与分析[J]. 资源科学, 2006, 28(2): 88-96.
- [11] Fotheringham A S, Wong D W S. The modifiable areal unit problem in multivariate statistical analysis[J]. Environment and Planning A, 1991, 23: 1025-1044.
- [12] Openshaw S. The Modifiable Areal Unit Problem[M]. Norwich: Geo Books, 1984.
- [13] Pontius R G, Schneider L C. Land cover change model validation by a ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2001, 85: 239-248.
- [14] He H S, Stentura T V, Mladenoff D J. Effects of spatial aggregation approaches on classified landsat TM satellite imagery[J]. International Journal of Geographic Information Sciences, 2002, 16(1): 93-109.
- [15] 朱良峰, 吴信才, 刘修国. GIS中矢量多边形网格化问题研究[J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(1): 12-15.