

# 基于多源遥感数据的奎屯市城市扩展分析

阿斯耶姆·图尔迪, 阿里木江·卡斯木

(新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054)

**摘要:**采用 Landsat TM, ETM<sup>+</sup> 和 ALOS/AVNIR-2 遥感影像, 获取城市用地信息, 并计算出城市扩展速度、扩展强度指数、紧凑度、分形维数及弹性系数, 从而对奎屯市城市扩展变化进行综合分析。结果表明: 奎屯市城市扩展明显、城市用地规模扩大, 扩大的城市用地主要由草地和未利用地转移而来; 城市扩展强度指数 1989—2000 年、2000—2010 年间分别为 9.69% 和 9.72%; 城市空间格局由外延式逐渐向填充式转变; 弹性系数低于 1.12, 人口增长速度高于城市扩展增长速度; 紧凑度逐渐减少, 分形维数逐渐增大, 城市结构松散、形态不规则、复杂化。依据分析结果提出了发展边界区域, 使城市和人口增长速度协调的建议。

**关键词:** 城市扩展; 遥感; ALOS; 奎屯市

**中图分类号:** F301.24

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2013)02-0233-05

## Analysis of Urban Expansion in Kuitun City Based on Multi-source Remote Sensing Data

Asiyemu · Tuerdi, Alimujiang · Kasimu

(Institute of Geographical Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

**Abstract:** The expansion of Kuitun city was analyzed by using Landsat TM, ETM<sup>+</sup> and ALOS/AVNIR-2 remote sensing images, and urban land use information was accessed and the urban expansion speed, expansion intensity index, fractal dimension and elastic coefficient was calculated. The results showed that urban expansion was more obvious. Urban land scale was expanding, and the increased urban area mainly originated from the grassland and unused land. The expansion intensity in the period of 1989—2000, 2000—2010 was 9.69% and 9.72%, respectively. The urban spatial pattern was changing from epithelial type to packing type. Elastic coefficient was less than 1.12, the population growth rate was higher than urban growth rate. The compact index was decreasing while the urban fractal index was increasing. It implied that the urban special configuration became more and more irregular and complex. According to the analysis result, the development of border areas was put forward, and coordination of the urban size with the population growth rate was proposed.

**Key words:** urban expansion; remote sensing; ALOS; Kuitun City

城市是人口与经济活动高度集聚的空间实体。在一个相对短的时期内, 它表现为一种静态的位置关系; 较长的时期内, 它表现为一种动态的演化过程<sup>[1-2]</sup>。随着社会经济的发展, 城市人口增多、功能扩展、生活水平提高等诸多方面要求的用地面积不断增加, 导致城市用地规模逐步扩大, 特别是城市建设用地。对城市建设用地扩展的空间变化研究不仅可以加深对城市扩展本质的理解, 而且能为城市可持续发展提供有效的

空间决策依据。因此, 近年来对该领域的研究已成为城市地理学研究的热点, 并越来越受到国内外学术界的重视<sup>[3-6]</sup>。目前, 国内对不同地区的城市扩张模式及动力机制问题进行了大量的研究, 众多学者对长沙、无锡、长春、石家庄、乌鲁木齐等地区开展了城市扩展的时空特征变化研究<sup>[7-14]</sup>; 朱英明、刘纪元、王新生等学者从空间的维度总结了我国区域城市扩张的规律<sup>[3, 15-17]</sup>。目前我国的城市扩展研究主要集中于东

收稿日期: 2012-07-28

修回日期: 2012-09-16

资助项目: 教育部人文社会科学研究一般项目(11YJCZ001); 教育部回国人员科研启动基金项目; 新疆维吾尔自治区人文社会科学青年基金项目(12BJY015); 日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)的第三届 ALOS 研究项目(PI-556)

作者简介: 阿斯耶姆·图尔迪(1988—), 女(维吾尔族), 巴州且末县人, 在读研究生, 主要研究方向: 遥感与环境资源。E-mail: asiya\_tr@gmail.com

通信作者: 阿里木江·卡斯木(1976—), 男(维吾尔族), 克拉玛依人, 副教授, 博士, 主要研究方向: 城市遥感。E-mail: Alimkasim@gmail.com

部发达地区,而对中西部地区的研究相对较少<sup>[18-21]</sup>。西部地区在国家宏观调控政策的影响下城镇和农村居民点用地扩展速度较快<sup>[22-23]</sup>,因而,对西部特别是西北内陆地区的城镇和农村居民点用地变化研究具有重要意义<sup>[24-26]</sup>。

奎屯市作为西北内陆区、天山北坡经济带重要的农业区,近些年尤其是西部大开发以来,其经济得到了迅速发展<sup>[27]</sup>,城市发展轨迹与天山北坡其他城市相比具有独特性,并且具有承东启西的区位优势。而学者对该地区的研究重点多集中在经济、生态、环境等方面<sup>[28-29]</sup>,对城市扩展的关注和研究比较少。本文借鉴国内外城市研究的相关研究,用 Landsat TM, ETM<sup>+</sup> 和 ALOS/AVNIR-2 遥感数据对奎屯市的城市扩展进行分析。这不仅有利于了解奎屯市的扩展过程,而且可为揭示西北内陆区城市扩张规律积累研究案例。

## 1 研究区概况

奎屯市位于亚欧大陆腹地新疆维吾尔自治区西北部,天山北麓,准葛尔盆地西南边缘,北纬 44°19′—44°49′,东经 84°47′—85°18′,面积为 1 109.8 km<sup>2</sup>,辖区地貌单一。奎屯市西部属于奎屯河冲积洪积扇的中下部和冲积平原的中上部,东部属于安集海和冲积洪积扇的中下部。南北最大跨度约 46 km,东西最大跨度约 33 km,东距乌鲁木齐市 253 km,南邻国家级石化基地独仙子,西连乌苏市,地处天山北坡经济发展带的中心,被经济学家誉为新疆经济发展的“金三角”,是距西部边境最近的具有大陆交通枢纽特点的新兴城市。地势西南高、东北低。距海遥远,水汽输送距离长,属于北温带大陆性气候。无霜期较长,四季较分明,夏季炎热,冬季严寒,降水量少,蒸发量大,空气干燥。气温日(年)差较大,光照资源丰富。年平均气温为 7.3℃,多年平均降水量 176.7 mm,是天山北坡经济带及北疆铁路沿线城镇体系规划中的重点城市。

## 2 数据选择及方法

### 2.1 数据选择

卫星遥感对地观测系统的周期性、空间性和多光谱特性使得遥感影像成为研究城市时间序列扩展变化的最佳数据。Landsat 卫星影像的空间分辨率和光谱分辨率可以较好地识别不同地物特征,特别是建筑物、构筑物等组成的城镇建成区,空间分辨率为 28.5 m,因此被广泛地用来研究城市的空间扩展。而 ALOS 以上行太阳同步轨道方式提供观测数据,

性能好,价格低,空间分辨率为 10 m,光谱信息更丰富,在城市时空变化分析中具有强大的优势。本研究所使用的数据包括 Landsat TM(1989 年),ETM<sup>+</sup>(2000 年)和 ALOS(2010 年)的卫星遥感数据(表 1)以及相关的人口统计数据。

表 1 卫星遥感数据及其特征

影像数据	获取日期	轨道号	分辨率/m
Landsat TM	1989-09-10	144/29	28.5
Landsat ETM <sup>+</sup>	2000-08-07	144/29	28.5
ALOS/AVNIR-2	2010-10-10	2700/176	10

### 2.2 研究方法

为全面反映奎屯市城市扩展的时空特征,本文先对 3 个时期的遥感影像进行分类,共划分为 6 大类:建设用地、草地、林地、耕地、水域和未利用地,获取城市空间信息,并选择城市空间扩展研究中常用的指标和相应的社会经济统计数据对奎屯市城市扩展进行综合分析,进而揭示城市扩展的演变规律。具体分析指标如下:

(1) 扩展强度指数。计算城市扩展强度,比较不同时期扩展的强弱和快慢,研究奎屯市的城市规模特征。本文采用城市年均增加面积与基年面积之比来表示扩展强度<sup>[30]</sup>,计算公式为:

$$AGR=\frac{(UA_{n+i}-UA_i)}{nUA_i}\times 100\% \quad (1)$$

式中:AGR——城市年均扩展强度指数;UA<sub>n+i</sub>, UA<sub>i</sub>——n+i 年和 i 年的城市面积;n——以年为单位的时间。

(2) 城市扩展弹性系数。人口对城镇建设用地的影响是社会经济因素中极其重要的因素,对城乡土地利用起着重要的驱动作用。弹性系数描述的是城市扩张速度与人口增长速度之间的协调关系<sup>[31]</sup>,主要用来衡量城市用地扩展的合理性,一般表述为:

$$R_{(i)}=\frac{A_{(i)}}{Pop_{(i)}} \quad (2)$$

式中:R<sub>(i)</sub>——城市 i 扩展的弹性系数;A<sub>(i)</sub>——城市 i 的面积年均增长率;Pop<sub>(i)</sub>——城市 i 的非农业人口增长率。

(3) 紧凑度。紧凑度是反映地物形状的参数,紧凑度的变化可表征城市用地扩展的空间特征<sup>[32]</sup>。

$$C=\frac{2\sqrt{\pi A_t}}{P_t} \quad (3)$$

式中:C——紧凑度;A<sub>t</sub>, P<sub>t</sub>——第 t 年城市斑块的面积和周长。C 值在 0~1 之间,其值越大,表明地物形状的紧凑性越好,反之越差,圆是形态最紧凑的图形,其紧凑度为 1。

(4) 城市用地分形维数。城市用地分形维数可

描述城市边界形状的曲折性和复杂性,它反映了土地利用形状的变化及土地利用受干扰的程度<sup>[32]</sup>,计算公式如下:

$$S_t = \frac{2\ln(\frac{P_t}{4})}{\ln(A_t)}$$

(4)

式中: $S_t$ ——第  $t$  年城市斑块的分形数; $A_t$ ,  $P_t$ ——第  $t$  年城市斑块的面积和周长。分形维数值的理论范围在 1~2 之间,维数越大表示图形形状越复杂,当维数 $<1.5$  时,说明图形趋向于简单;当维数 $=1.5$  时,表示图形处于布朗随机运动状态,越接近于该值,稳定性越差;当维数 $>1.5$  时,则图形趋于复杂。

### 3 结果与分析

#### 3.1 城市扩展侵占用地的结构分析

土地利用转移矩阵可以具体地刻画出城市扩展侵占的结构特征与各用地类型变化的方向,便于了解研究期间各土地类型的流失去向与来源构成。通过对奎屯市 3 个时期的城市扩展分类图分别进行转移矩阵分析,可以获得奎屯市城市扩展侵占用地的类型和结构,图 1 和表 2 分别列出了土地类型面积变化及奎屯市扩展侵占的 5 个主要土地利用类型。

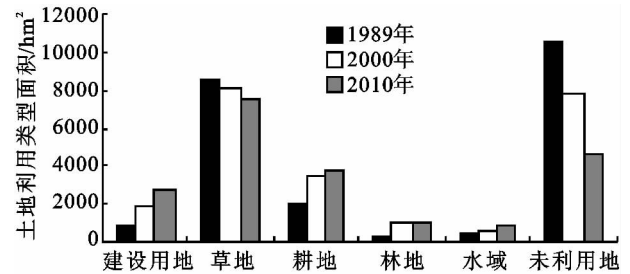


图 1 奎屯市土地利用类型面积变化

表 2 奎屯市不同时间城市扩展侵占用地类型和结构 hm²

时间	草地	耕地	林地	水域	未利用地
1989—2000	381.76	8.69	16.41	9.42	799.99
2000—2010	382.08	50.77	16.57	10.72	1328.02

从图 1 和表 2 可以看出,建设用地和耕地在不断扩展,未利用地和草地在不断减少。奎屯市的城市扩展主要侵占的是城市周围地势平坦、交通方便的草地和未利用地。1989—2000 年和 2000—2010 年间,城

市扩展占用的草地面积分别为 381.76 hm² 和 382.08 hm²,占用的未利用地面积分别为 799.99 hm² 和 1 328.02 hm²。这 20 a 间,奎屯市由于城市扩展而侵占的总草地面积和总未利用地面积分别为 763.84 hm² 和 2 128.01 hm²,分别总为扩展面积的 25.42%和 70.82%。

奎屯一直是天山北坡经济带重要的农垦区。进入 21 世纪以来,随着经济带产业结构的调整,优势资源转化战略以及西部大开发战略的实施,耕地面积持续扩大,同时在市场利益的驱动下,本地农牧民和外来投资者通过对草地和未利用地的开垦来增加奎屯市的耕地面积。包括乌奎高速公路等一大批基础设施及工程的建设、开发区建设、房地产热和居民地的改造,使得建设用地面积通过对草地和未利用地的占用而不断扩大。综上所述,奎屯市耕地面积不断扩大;在城市化过程中,大量的开垦建城,成为奎屯市草地和未利用地减少的一个主要原因。奎屯市的城市扩展还使得少部分的耕地、林地和水域转化为城市用地,从而加速了奎屯市的城市化进程。

#### 3.2 叠加分析

叠加分析是研究城镇土地利用变化的一个重要手段,包括栅格数据—矢量数据的叠加分析和栅格数据—栅格数据的叠加分析。叠加分析应用于城市扩展研究中可以定性、定量地分析城市扩展情况。奎屯市位于奎屯河流域下游地势开阔的冲击平原上,城市用地扩展受地形制约小,自由度较大,因此,1989—2000 年以外延为主;而 2000—2010 年城市发展较快,用地需求量大,因此城市扩展以外延为主,开发城市内部空隙土地的填充为辅。东南和西北方向为其主要的扩展方向,这种趋势在一定程度上受到政策和产业结构形式的影响。

#### 3.3 城市扩展强度指数分析

计算结果(表 3)表明,奎屯市不同时期的城市扩展空间特征明显。建设用地面积从 1989 年的 890.39 hm² 增加到 2000 年的 1 839.58 hm²,到 2010 年的 2 705.28 hm²,扩展面积分别为 949.19 hm² 和 865.70 hm²。扩展速度在 1989—2000 年和 2000—2010 年分别为 86.29 hm²/a,86.57 hm²/a。城市扩展速度相对比较平缓。

表 3 1989—2010 年奎屯市城市扩展情况

时段	扩展面积/ hm²	扩展速度/ (hm²·a <sup>-1</sup> )	扩展强度 指数/%	城市年增长 率/%	非农业人口年 增长率/%	弹性系数
1989—2000	949.19	86.29	9.69	9.69	9.4	1.03
2000—2010	865.70	86.57	9.72	9.72	11.4	0.85

由于扩展面积和扩展速度不同,扩展强度指数也不同。1989—2000 年的扩展强度指数为 9.69%,2000—2010 年的扩展强度指数为 9.72%,可以看出,

城市扩展强度指数和扩展速度保持相对平稳状态。说明这期间内城区发展缓慢。我国正处于计划经济体制向市场经济体制转型期,奎屯市作为天山北坡经

济带的中心,在市场经济体制开始确立后,随着土地有偿使用制度的逐步完善,政府调整产业结构、兴建开发区、改造城市和建设区域基础设施,发展城镇建设的同时,也加强了建设用地规划和审批管理,控制建设用地规模,扩大耕地面积,加大对耕地面积的保护,限制建设用地侵占耕地,从而导致了建设用地规模扩展有所减缓。

### 3.4 城市扩展的弹性分析

通常情况下,城市面积增长速度应该小于城市人口增长速度,这样新增加的城市人口不必重新建设一个完整独立的城市基础设施系统,但是中国人口密度大,城市人均基础设施建设较低,分配额不足。因此,我国城市增长率应略高于城市人口增长率,以满足城市建设和环保的要求,据中国城市规划设计院对中国历年城市化过程分析,此系数为 1.12 较为合理<sup>[32]</sup>,通过计算弹性系数(表 3)来研究奎屯城市扩展与人口增长之间的协调关系。

研究期间表明,奎屯市的城市用地弹性系数波动较大,城市用地扩展与人口增长同步性较差,尤其是 2000—2010 年弹性系数从 1.03 猛降到 0.85,明显小于前一时段的弹性系数,表明该时期非农业人口增长速度过快,远远高于城市用地扩展速度。这主要是因为 1988 年国家制定了相关法律允许土地使用权的有偿转让,1992 年邓小平同志发表南巡讲话,兴起了全国的“开发区热”、“房地产热”,刺激了奎屯市的城市扩展。奎屯市为了提高农作物带来的经济效益,大量开垦耕地。随着周边和大量外地流动人口的不断涌入,非农业人口快速增加,使得城市扩展增长速度跟不上非农业人口增长速度,出现了城市增长速度与非农业人口增长速度之间的不协调现象。

### 3.5 城市扩展的空间形态演变特征

紧凑度和分形维数是两个描述建成区斑块空间形态的统计量。由图 2 可以看出,奎屯市城市扩展过程中,城市紧凑度和用地集约度随时间推移不断减小,分形维数随时间推移不断增大,并存在一定的波动。1989—2010 年,分形维数都大于 1.5,表明奎屯市建设用地扩展受人类活动影响程度开始加重,空间形态日益复杂,城市形态变得不规则。

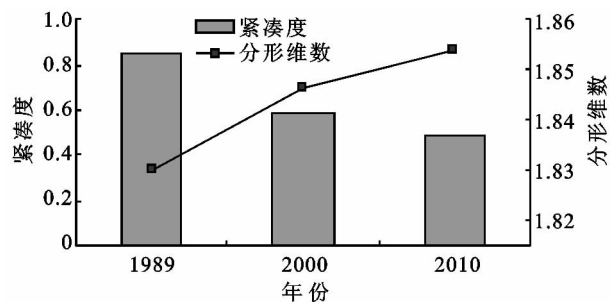


图2 奎屯市城市紧凑度和分形维数的变化

奎屯市对土地资源需求量不断增大,土地利用结构复杂化,故而形状呈松散化、不规则化趋势。依据城市经济学原理,非紧凑城市与较为紧凑城市在交通效率、能源使用、生活质量等方面都存在一定的差距<sup>[27]</sup>。从耗散结构理论的角度出发,当城市处于发展时期,人类活动的有序状态和无序状态同时并存,在发展早期,无序状态占主导地位,城市土地利用结构变得越来越复杂,城市形态的分型维数将随之增大。由此从城市形态角度证实了奎屯市处于发展初期的结论。奎屯市的紧凑度逐年下降,分型维数逐年上升会产生诸多不利影响。对于中小城市的奎屯市而言,进行城市空间规划时,应努力使城市的形态趋于紧凑,发展补齐边界区域,减少分形维数,提高土地利用效率,减少由于距离带来的能源消耗,从而在一定程度上提高城市服务职能效率。

## 4 结论

利用多源卫星遥感数据,可快速监测和分析城市扩展的动态变化,能很好地弥补在城市扩展过程中部分资料的缺失,从而更准确、快捷地掌握城市扩展变化的规律。综合城市扩展指标可以得出:

奎屯市的城市发展速度较快,建设用地规模不断扩大,扩展的建设用地主要由草地和未利用地转化而来。建设用地规模从 1989 年的 890.39  $\text{hm}^2$  增加到 2010 年的 2 705.28  $\text{hm}^2$ 。扩大了 3 倍。1989—2000 年,2000—2010 年扩展速度和扩展强度指数分别为 86.29  $\text{hm}^2/\text{a}$ , 86.57  $\text{hm}^2/\text{a}$  和 9.69%, 9.72%。2000—2010 年间的扩展速度比 1989—2000 年的快。

奎屯市城市扩展过程中,非农业人口的增长比城市用地规模的增长快得多,弹性系数下降趋势明显,2000—2010 年奎屯市的城市用地规模弹性系数为 0.85,远远低于合理增长弹性系数。这与奎屯市的周边和外地流入的人口有着密切关系。城市紧凑度减小,分形维数逐渐增大,城市结构较为松散,城市空间形态不规则,日益复杂化并趋于不稳定发展状态。今后,应发展补齐边界区域,减小分形维数,增加紧凑度,提高弹性系数,使城市与人口增加速度协调,从而在一定程度上提高城市服务职能效率。

### 参考文献:

- [1] 赵晓丽,张增祥,易玲,等.呼和浩特市城市用地的扩展及其驱动力分析[J].干旱区资源与环境,2010,24(10):30-35.
- [2] 阿里木江·卡斯木,安瓦尔·买买提明.近 40 a 来基于低分辨率遥感数据和 GIS 的全球城市时空变化研究[J].冰川冻土,2012,34(1):214-220.
- [3] 王新生.中国特大城市空间形态变化的时空特征[J].地

- 理学报,2005,60(3):392-399.
- [4] Bourne L S. Internal Structure of City: Reading on Urban form, Growth and Policy[M]. Oxford: Oxford University Press,1982.
- [5] Xian G, Crane M. Assessments of urban growth in the Tampa Bay watershed using remote sensing data[J]. Remote Sensing of Environment,2005,97(2):203-215.
- [6] Herold M, Goldstein N C, Clarke K C. The spatiotemporal from of urban growth: measurement analysis and modeling[J]. Remote sensing of Environment,2003,86(4):286-302.
- [7] 林目轩,师迎春,陈秧分,等.长沙市区建设用地扩张的时空特征[J].地理研究,2007,26(2):265-274.
- [8] 薛东前,王传胜.无锡城市用地扩展的时空特征与趋势分析[J].资源科学,2003,25(1):9-11.
- [9] 匡文慧,张树文,张养贞,等.1990年以来长春市土地利用空间扩张机理分析[J].地理学报,2005,60(5):841-850.
- [10] 肖捷颖,葛京凤,沈彦俊,等.基于GIS的石家庄市城市土地利用扩展研究[J].地理研究,2003,22(6):789-798.
- [11] 黄粤,包安明,马勇刚,等.近15a乌鲁木齐市城市用地扩展动态及其空间特征研究[J].冰川冻土,2006,28(3):364-370.
- [12] 马玉香,高素芳.乌鲁木齐市城市进程与耕地面积变化的定量研究[J].水土保持研究,2011,18(5):271-274.
- [13] 张晶晶.河南省城镇体系规模结构时空特征分析[J].水土保持研究,2011,18(5):243-246.
- [14] 贾鹏,杨刚桥.城市用地扩张驱动力分析:以湖北省为例[J].水土保持研究,2006,13(2):182-185.
- [15] 朱英明,姚士谋,李玉见.我国城市化进程中的城市空间演化研究[J].地理学与国土研究,2000,16(2):12-16.
- [16] 刘纪远,王新生,庄大方,等.凸壳原理用于城市用地空间扩展类型识别[J].地理学报,2003,59(6):885-892.
- [17] 牟凤云,张增祥.城市空间形态量化研究进展[J].水土保持研究,2009,16(5):273-277.
- [18] 曾辉,蒋峰,李书娟.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[J].生态学报,2004,24(9):1931-1937.
- [19] 吴宏安,蒋建军,周杰,等.西安城市扩张及其动机分析[J].地理学报,2005,60(1):143-150.
- [20] 张新焕,杨德刚,陈曦.乌鲁木齐近50年城市用地动态扩张及其机制研究[J].干旱区地理,2005,28(2):263-269.
- [21] 除多,张懿锂,郑度.拉萨地区土地利用变化情景分析[J].地理研究,2005,24(6):869-876.
- [22] 刘纪远,张增祥.20世纪90年代我国土地利用变化的基本时空特征及其成因分析[J].地理研究,2003,22(1):1-12.
- [23] 陈佑启,Peter H verburg.中国土地利用/土地覆被变化的多尺度空间分布特征分析[J].地理科学,2004,(4):31-36.
- [24] 李晓文,仿创琳,黄金川,等.西北干旱区城市土地利用变化及其区域生态环境效应:以甘肃河西地区为例[J].第四纪研究,2003,23(5):280-292.
- [25] 苏维词.贵阳城市土地利用变化及其环境效应[J].地理科学,2000,20(5):462-468.
- [26] 周可法,吴世新.基于RS和GIS技术下城镇空间变化分析及应用研究[J].干旱区地理,2002,25(1):61-64.
- [27] 王爱辉,刘晓燕,杨荣江.干旱区绿洲型城市经济增长与环境污染关系实证分析:以新疆奎屯市为例[J].干旱区资源与环境,2011,25(6):59-65.
- [28] 罗若愚.奎屯城市经济活动的变化发展分析[J].兵团教育学院学报,2002,3(12):4-6.
- [29] 罗春,刘益民,杨荣江,等.奎屯市大气环境质量分析评价[J].兵团教育学院学报,2004,14(1):9-11.
- [30] 王茜,张增祥,易玲,等.南京城市扩展的遥感研究[J].长江流域资源与环境,2007,16(5):554-559.
- [31] 李德一,长树文.基于遥感和GIS的哈大齐城市带建成区扩展特征分析[J].测绘科学,2009,34(2):35-37.
- [32] 王厚军,李小玉,张祖陆,等.1979—2006年沈阳市城市空间扩展过程分析[J].应用生态学报,2008,19(12):2673-2779.

(上接第232页)

- [12] 熊德惠.贵州省黔南州土地利用结构优化配置研究[J].农技服务,2010,27(11):1503-1506,1525.
- [13] 王水献,董新光,寇文.马尔柯夫过程预测焉耆盆地土地利用覆被格局变化[J].干旱区资源与环境,2007,21(10):28-33.
- [14] 朱懋,韦素琼.基于马尔柯夫模型的德化县土地利用结构变化预测[J].热带水土保持,2009(3):26-31.
- [15] 常成,刘霞,张光灿,等.利用马尔柯夫过程预测蒙阴县土地利用覆被格局变化[J].土壤,2010,42(2):309-313.
- [16] 王剑,徐美.基于马尔柯夫模型的漾濞江流域土地利用变化预测[J].水土保持研究,2011,18(5):91-95.
- [17] 徐建华.现代地理学中的数学方法[M].北京:高等教育出版社,2002:93-98.
- [18] 徐岚,赵羿.利用马尔柯夫过程预测东陵区土地利用格局的变化[J].应用生态学报,1993,4(3):272-277.
- [19] 徐建华.现代地理学中的数学方法[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [20] 陈彦光.地理数学方法:基础与应用[M].北京:科学出版社,2011.