

辽宁中部城市群城市增长时空格局及其驱动力^{*}

郝凤明¹ 贺红士¹ 胡远满^{1*^{*}} 吴晓青² 常禹¹ 刘森¹ 石铁矛³ 王晋年⁴

(¹ 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016 ;² 中国科学院烟台海岸带可持续发展研究所, 山东烟台 264003 ;³ 沈阳建筑大学, 沈阳 110168 ;⁴ 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要 基于1988、1992、1997、2000和2004年5期Landsat TM卫星遥感影像数据,采用GIS空间分析和景观格局分析的方法,分析了辽宁中部城市群城市增长的时空格局特征,并对其驱动力进行了探讨.结果表明:1988—2004年间,辽宁中部城市群城市面积持续增加,增长强度逐渐增强,城市面积由812.55 km²增至1345.86 km²,平均增长速率为32.96 km²·a⁻¹;1997年以后,城市增长强度迅速增大,以1997—2000年的城市扩展强度最大.辽宁中部城市群的城市增长主要集中在中部城镇密集带.1988—1997年,研究区城市面积的增长速度较慢,空间结构紧凑,以边缘增长和填充增长为主;1997—2004年,城市面积增长较快,表现为扩散的城市增长格局和复杂的城市斑块形状,以开发区的飞地式增长和扩散增长为主.非农业人口增长、经济增长、城市群城市空间的相互吸引、工业发展与开发区建设政策等因素是辽宁中部城市群城市空间快速增长的主要驱动力.

关键词 辽宁中部城市群 城市增长 城市空间格局 驱动力

文章编号 1001-9332(2010)03-0707-07 **中图分类号** K901.8 **文献标识码** A

Spatiotemporal pattern of urban growth and its driving forces in urban agglomeration of central Liaoning Province, China. XI Feng-ming¹, HE Hong-shi¹, HU Yuan-man¹, WU Xiao-qing², CHANG Yu¹, LIU Miao¹, SHI Tie-mao³, WANG Jin-nian⁴(¹*Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110168, China*; ²*Institute of Coastal Zone Research for Sustainable Development, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, Shandong, China*; ³*Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China*; ⁴*Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.* 2010 21(3):707-713.

Abstract : Based on the five temporal Landsat TM remote sensing data of 1988, 1992, 1997, 2000, and 2004, and by using GIS spatial analysis and landscape pattern analysis, this paper analyzed the spatiotemporal pattern of urban growth and its driving forces in the urban agglomeration of central Liaoning Province (UACL P). From 1988 to 2004, the urban area in the UACL P had being increased from 812.55 km² to 1345.86 km², with an average growth rate of 32.96 km² per year. The urban growth rate increased rapidly after 1997, and the urban growth intensity was up to the peak in 1997-2000. The urban growth was mainly concentrated in the central dense belt of the UACL P. From 1988 to 1997, the urban growth was relatively slow, its spatial pattern was compact, and edge growth and filling were the main urban growth types. From 1997 to 2004, the urban growth became faster with diffused spatial pattern and complex patch shape, and “frog leap” and diffusion were the main urban growth types. Non-agricultural population growth, economic growth, urban spatial mutual attraction, industrial development, and development zones construction policies were the main driving forces of urban growth in the UACL P.

Key words : urban agglomeration of central Liaoning Province (UACL P); urban growth; urban spatial pattern; driving force.

^{*} 中国科学院沈阳应用生态研究所知识创新工程项目(06LYQY1001)、国家科技支撑计划项目(2008BAJ10B01、2006BAJ10B05-03)和国家自然科学基金项目(40801069)资助。
^{**} 通讯作者。E-mail: huyman@iae.ac.cn
2009-08-26 收稿, 2009-12-20 接受。

城市群指在特定的地理区域内由多个不同性质、等级和规模的城市组成的巨型系统。城市群是世界城市化发展的新特点^[1],也是我国城市化的基本特征^[2]。由于城市群地区的人口密集、经济发达,因此我国城市用地的增长速度较快^[3]。城市群空间格局的演变是城市群空间规划和发展的的重要依据。城市空间增长及其驱动力研究是土地利用/覆被变化(LUCC)研究的主要内容之一,对揭示城市的发展规律具有重要意义。目前,对于单个城市增长中城镇扩展的时空特征^[4-6]以及城市用地扩展与结构演变的驱动机制^[3,7-9]研究较多,也较深入,如对北京^[4,8,10]、沈阳^[11-13]、深圳^[7,14]、上海^[15-16]、西安^[17-18]、厦门^[19]、常熟^[5]和无锡^[20]等城市的研究,但对于城市群尺度上的城市增长及其驱动力研究则相对较少^[21]。加强关于城市群尺度上城市空间增长和演化规律的理解,对提高城市群尺度上城镇体系空间发展与城市群规划、管理等决策水平具有重要意义^[22-23]。因此,本文采用遥感、GIS空间分析与景观格局指数相结合的方法,对1988—2004年间辽宁中部城市群城市增长的时空分异特征和城市景观格局演变规律进行分析,并结合相关社会经济数据对其驱动力进行了探讨,以期对辽宁中部城市群城市体系规划、建设、管理及城市群的可持续发展提供决策支持。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

辽宁中部城市群位于辽宁省中部地区(39°55'40"—43°29'26" N, 121°57'10"—125°46'59" E),包括沈阳、鞍山、抚顺、本溪、营口、辽阳、铁岭7个城市(图1),总面积64896 km²,占辽宁省总面积的45%。2006年人口为2150.8万,占辽宁省人口总数的51.1%。辽宁中部城市群东部为辽东山地丘陵区,属长白山余脉,多为中低山和丘陵,中西部为辽河冲积平原区。沈阳南部、鞍山、辽阳以及营口大部分地区属温带半湿润大陆性气候,全年日照充足、雨热同季,年降水量500~800 mm,春秋季节短,平原风大,具有中纬度西风带天气特色。本溪、抚顺及铁岭东部山区属于中温带湿润气候,年降水量在800 mm以上,局部地区可超过1000 mm,具有多雨、潮湿、冷凉的地方气候特点,是辽宁中部城市群的主要森林分布区和东部河流水源涵养地。沈阳北部和铁岭西部地区属于中温带亚湿润气候,年降水量500~700 mm,夏季温热多雨、冬季干燥寒

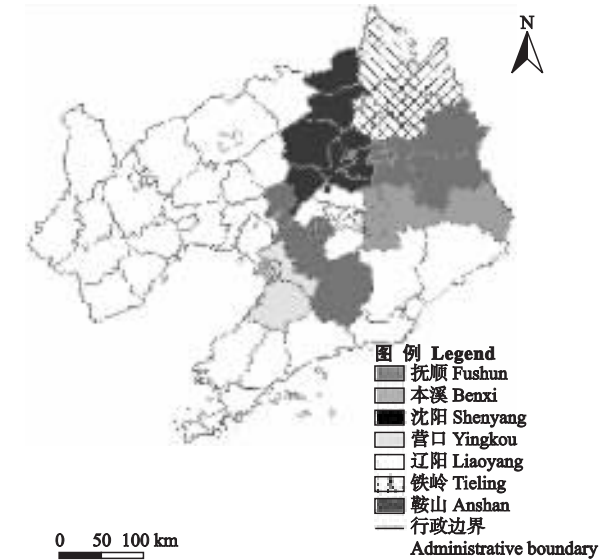


图1 辽宁中部城市群的位置和行政区
Fig. 1 Location and administrative map of urban agglomeration of central Liaoning Province.

冷,具有典型温带大陆性气候特色。辽中城市群区域有大小河流200余条,主要为辽河、鸭绿江水系。研究区水资源总量约 $170 \times 10^8 \text{ m}^3$,人均水量仅434 m³,是辽宁省缺水地区之一,以中部、西部、南部地区的水资源尤为贫乏,其中,沈阳、鞍山是全国水资源最短缺城市。

1.2 数据来源及预处理

本研究数据包括1988、1992、1997、2000和2004年5个时相25景的Landsat TM遥感数据(景号分别为119-030、119-031、119-032、118-030、118-031,获取日期为当年5—6月或9—10月)、地形图(1:10万)、各城市的城区图、部分城市城区航空影像图以及2001—2004年辽宁城市统计年鉴和1990—2003年各研究城市的统计年鉴。

首先利用1:10万地形图对TM遥感影像进行几何精纠正,误差控制在0.5个像元以内,然后利用遥感图像处理软件ERDAS进行监督分类,提取研究区城市分布图,在各城市城区图和部分航空影像图的辅助下,利用目视解译方法对监督分类结果进行修正,获得研究区5个时相的城市增长格局图,并通过实地调查进行检核。分类的总体精度为85.2%,Kappa精度为83.7%,达到了科研与应用的标准。将研究区5个时相城市范围图在GIS中进行空间叠加,获得1988—2004年间5个不同时段的城市群城市空间增长范围图,并计算各时段的增长面积、速度和增长强度。

表1 本文所用的景观指数及描述
Tab.1 Landscape metrics and their description in this paper

景观格局指数(缩写) Landscape metrics (Abbreviation)	描述 Description	单位 Unit	取值范围 Range	本文用法 Usage in this paper
斑块数量 Number of patches (NP)	类型或景观水平的斑块数目 Number of patches in the class or landscape level	—	≥1	描述城市增长方式 Describe urban growth mode
聚集度指数 Aggregation index (AI)	类型或景观水平的聚集程度 Aggregation in the class or landscape level	%	0 ≤ AI ≤ 100	描述城市斑块的紧凑程度 Describe compact level of urban patches
面积加权平均斑块分维数 Area weighted mean patch fractal dimension (AWMPFD)	面积加权平均斑块分型特征 Weighted mean patch fractal dimension characteristic	—	1 ≤ AWMPFD ≤ 2	描述城市斑块形状的复杂程度 Describe the complexity of urban patches' shape
最大斑块指数 Largest patch index (LPI)	类型或景观水平上最大斑块所占的比例 Percentage of the largest patch in the class or landscape level	%	0 < LPI ≤ 100	描述最大城市的首位度 Describe the dominance of the largest city

1.3 城市增长强度及空间分异分析

本研究引入城市增长面积、增长强度指数、城市增长强度空间分布方法分别分析城市扩展的数量、强度、城市增长空间分布特征.通过GIS的分区统计(zonal statistics)功能确定城市增长强度的空间分布,以判断辽宁中部城市群城市化的热点区域.

$$M = U \times 100 / (A \times \Delta t)$$

式中:M为增长强度指数;U为非城市用地转化为城市用地的面积(km²);A为分析区域总面积(km²);Δt为变化时间(a).增长强度指数实质是以各空间单元的土地面积对其年均扩展速度进行标准化处理,能够较好地表现出城市扩展的空间差异^[8,13].

1.4 景观格局指数分析

景观格局指数是景观生态学的重要研究方法.本文选取城市群城市斑块数量(number of patches, NP)、城市群最大城市斑块指数(largest patch index, LPI)、面积加权平均斑块分维数(area weighted mean patch fractal dimension, AWMPFD)和聚集度指数(aggregation index, AI)4个简单且生态学意义明确的指数^[24]分析城市格局的时空动态演变过程.此处的最大斑块指数是最大城市斑块面积与城市群区域总面积的比值.格局指数的具体描述见表1,计算公式见Fragstats 3.3使用手册^[25].

1.5 数据处理

利用ArcInfo将矢量数据转化为Grid数据格式,并利用景观格局指数分析软件Fragstats计算研究区城市景观格局指数.采用SPSS软件对辽宁中部城市群主要社会经济指标与市区建成区面积变化之间进行相关分析,辨识主要的驱动因子,对城市增长的人类驱动力进行半定量分析.

2 结果与分析

2.1 辽宁中部城市群城市增长强度及其空间分异

1988—2004年间,辽宁中部城市群城市面积从812.55 km²增加到1345.86 km²,净增长533.31 km²,平均增长速率32.96 km²·a⁻¹,年均增长率为4.1%,城市斑块面积占辽宁中部城市群景观总面积的百分比从1.25%增长到2.06%.从不同时段的增长面积来看,辽宁中部城市群城市面积持续增加,扩展速度以1997—2000年最大(表2).

研究期间,辽宁中部城市群各城市的增长方式以边缘增长为主,以沈阳、鞍山、抚顺、营口、辽阳等城市的增长较大,城市增长主要分布在研究区中部的城镇密集带,沿铁岭-沈阳-鞍山-营口城市带上的城市增长较快,城市开发区和工业区的增长也较快,如沈阳的沈北新区、浑南新区、铁西新区、抚顺高湾开发区、本溪南芬工业区、辽阳灯塔和铤子、鞍山东部地区和营口鲅鱼圈港口开发区等(图2).

以市或县行政区为单位,计算1988—2004年辽

表2 辽宁中部城市群1988—2004年不同时段城市增长情况
Tab.2 Summary of urban growth in the Urban Agglomeration of Central Liaoning Province from 1988 to 2004

时段 Period	增长面积 Growth area (km ²)	增长贡献率 Growth contribution rate(%)	增长速度 Growth rate (km ² ·a ⁻¹)	增长强度指数 Growth intensity index
1988—1992	78.22	14.7	19.60	0.030
1992—1997	106.50	20.0	21.30	0.033
1997—2000	188.87	35.4	62.00	0.097
2000—2004	159.72	29.9	35.50	0.059
1988—2004	533.31	100	32.96	0.051

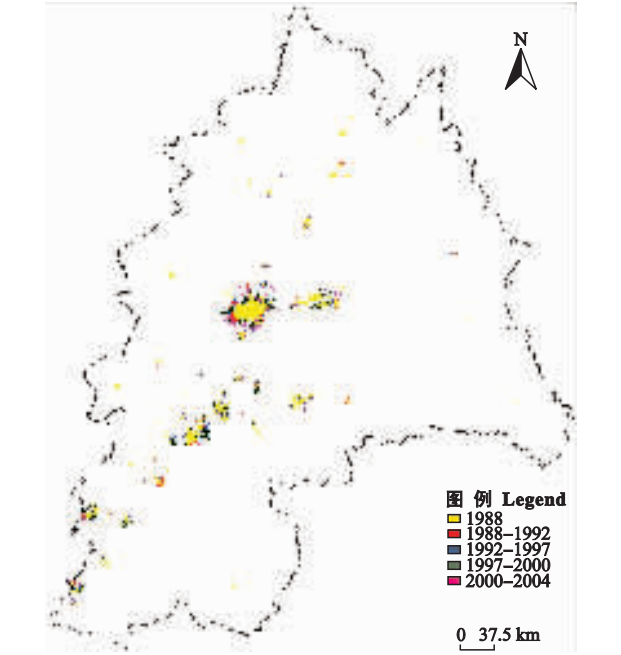


图2 1988—2004 年辽宁中部城市群的城市空间增长格局

Fig.2 Urban spatial growth pattern of the Urban Agglomeration of Central Liaoning Province from 1988 to 2004.

宁中部城市群各个城市的增长强度 结果表明 ,1997 年以前研究区城市扩展强度较小 ,1997—2000 年间最大(表 2). 利用地理信息系统的分区统计方法绘制辽宁中部城市群各城市扩展强度的空间分布图 ,确定辽宁中部城市群城市增长强度及时空分异特征. 由图 3 可以看出 ,研究区中部的城市增长强度与外围地区具有明显的分界 ,其增长强度的分界值为 0. 0189. 研究区中部城市的增长强度值均大于 0. 0189 ,因此本文将增长强度值大于 0. 0189 的城镇密集带确定为快速城市化的热点区域 ,包括铁岭市区及铁岭县、调兵山市、沈阳市内九区、抚顺市区及抚顺县、本溪市区及南芬区、辽阳市、鞍山市区及海城市、营口所有市县区. 距离城市带较远的城市 ,如辽中、新民、康平、法库、昌图、西丰、开原、清原、新宾、桓仁、本溪县、台安和岫岩等城市面积增长较小 ,城市增长强度相对较低.

2.2 辽宁中部城市群城市增长格局的变化

1988—2004 年间 ,研究区城市斑块数和面积加权的平均斑块分形维数呈波动式增加 ,最大斑块指数持续增加 ,聚集度指数呈先增加后降低的趋势 (图 4) ,说明辽宁中部城市群的城市面积 ,特别是大城市的面积逐渐增长 ,结构逐渐复杂. 1988—1992 年间 ,城市群的城市斑块数(NP)下降 ,1992—1997 年间基本稳定 ,1997—2004 年间迅速增加 ,其原因

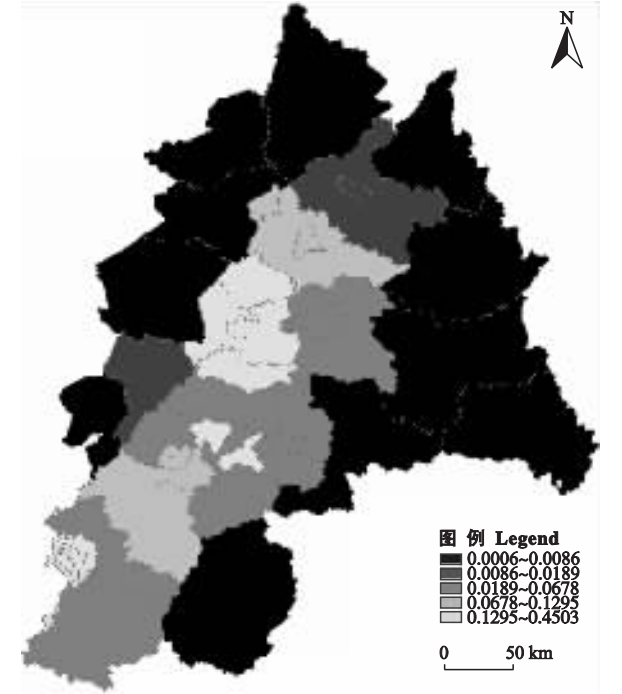


图3 1988—2004 年辽宁中部城市群城市增长强度的空间分布

Fig.3 Spatial distribution of urban growth intensity in the Urban Agglomeration of Central Liaoning Province from 1998 to 2004.

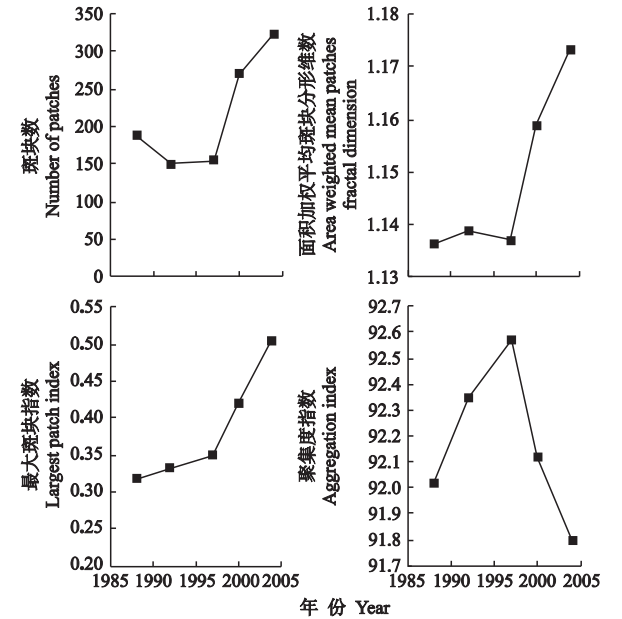


图4 1988—2004 年辽宁中部城市群城市增长格局指数的变化

Fig.4 Change of urban landscape metrics in the Urban Agglomeration of Central Liaoning Province from 1988 to 2004.

在于 1988—1997 年研究区城市呈聚集型增长 ,以城市斑块的合并、填充增长、边缘增长为主 ,1997—2004 年该区城市呈扩散增长 ,以不连续的开发区飞

地式(蛙跳式)增长和扩散增长为主,这也是城市聚集度指数(AI)呈先增加后降低趋势的原因。面积加权平均斑块分维数在1988—1992年间缓慢增加,1992—1997年间缓慢降低,1997—2004年间迅速增加,这是由于1988—1997年间研究区城市斑块形状的复杂性降低、1997—2004年城市斑块形状的复杂性增加所致。1988—1997年间,研究区LPI缓慢增加,1997—2004年间迅速增加,表现为1997—2004年间辽宁中部城市群最大的城市斑块——沈阳的面积增加较快、城市首位度较高。

2.3 辽宁中部城市群城市增长的主要驱动力

驱动力是导致土地利用方式和目的发生变化的主要生物物理因素和社会经济因素。Bürgi等^[26]认为,城市空间增长的驱动力主要包括政治、经济、文化、技术和自然因素5种类型。一般而言,驱动力可分为自然驱动力和人类驱动力(也称社会经济驱动力,指政治、经济、文化、技术等因素的综合作用)^[27],其中,自然驱动力相对较稳定,发挥着累积性效应,人类驱动力则较活跃,是城市群城市增长及景观动态的最重要、也是最复杂的驱动力。社会经济因素,特别是人口增长、经济发展、国家及区域政策^[3,27],是城市增长的最直接驱动力。为此,本文着重探讨人类驱动力。

2.3.1 非农业人口的增长 1990—2003年间,辽宁中部城市群的非农业人口增长了155.4万,导致城市居住用地面积的大幅增加。

2.3.2 城市居民住房需求的增加 随着人民生活水平的提高,对住房面积的需求日益增长,导致城市住房面积的需求大幅增长,从而使城市建设用地迅速增加。辽宁中部城市群房地产开发总额度从1990年的120770万元增长到2003年的2523150万元,年均增长150%,使城市郊区居住用地大面积增加,导致各城市的快速扩张。

2.3.3 经济增长 1990—2003年间,辽宁中部城市群人均GDP由18424.11元增至105151.00元,人均可支配收入由9132.9元增至47744.0元,且固定资产投资额也不断增长,由1990年的1019567万元增至2003年的8031527万元,增幅较大。经济增长促进了固定资产投资、基础设施建设、房地产业、商业等服务业的快速发展,使城市用地面积不断增加。

2.3.4 城市群中城市空间的相互吸引 沈阳市在辽宁中部城市群中的首位度最高,对该区经济具有重要的影响和控制作用,在空间上对其他城市具有吸引作用。沈阳周边城市——抚顺、铁岭、本溪、辽阳等

都有向沈阳方向发展的趋势,如抚顺与沈阳的空间距离很近,且两城市建成区相向发展,几乎连成一片,沈抚同城化的趋势十分明显^[28-29],铁岭、本溪和辽阳也在与沈阳连接地带建立了新城或开发区。鞍山具有较大的人口规模和经济实力,对辽阳和海城等城市具有较大的吸引作用,鞍山市区与辽阳市辽阳县的建城区在空间上已连成一片。营口是沈阳乃至东北地区及蒙东地区最方便的出海港口,沈阳市为了缩短出海距离,新建立了沈西工业走廊开发区,增强了与营口之间的空间和经济联系。辽宁中部城市群中各城市之间的相互作用对城市本身布局发展和城市群格局的形成具有重要影响,可促进城市群中城市用地的空间扩展。

2.3.5 工业发展与开发区建设的政策 辽宁中部城市群形成与发展的一个重要因素是具有发达的资源开采和加工工业^[22]。工业发展影响城市的发展和空间布局,在改革开放以前,辽宁中部城市群的工业发展政策使该区域的城市面积迅速增加,在振兴东北老工业基地的国家政策下,辽宁中部城市群将继续发展工业的优势产业,工业的主导产业和工业规模将不断扩大,新的工业企业需要新的发展空间,是未来研究区城市空间增长的重要驱动力。辽宁中部城市群中城市的扩展与各城市的开发区建设密切相关。20世纪90年代的开发区热在辽宁中部城市群的各城市均有体现,直至现在一些中小城市仍然在努力兴建开发区,如沈阳市相继兴建的沈阳经济技术开发区(32 km²)、高新技术产业开发区(8 km²)、道义经济开发区(14.85 km²)、浑南新区(120 km²)、辉山农业高新区(41.2 km²)、虎石台开发区(20 km²)和沈西工业走廊开发区(800 km²)。其他城市也建立了不同形式的开发区,如鞍山高新技术产业开发区(34.5 km²)、抚顺高湾经济开发区(50 km²)、抚顺胜利经济开发区(10.3 km²)、本溪经济技术开发区(27.8 km²)、营口经济技术开发区(268 km²)、辽阳经济开发区(4.7 km²)、铁岭新城(22 km²)和铁岭经济开发区(105 km²)等,研究区的每个城市至少有1~2个开发区,有些县级市甚至村镇也有不同形式的开发区。开发区建设导致城市的高速增长,形成了飞地式的城市增长格局。吴晓青等^[13]研究表明,1988—2004年间,沈阳市开发区建设面积占沈阳市城市扩展面积总量的41.1%,说明开发区建设政策对城市增长与城市格局的形成具有重要影响。

表3 辽宁中部城市群建成区面积与社会经济主要指标的相关系数

Tab.3 Correlation coefficients between built-up area and main socioeconomic indicators in Urban Agglomeration of Central Liaoning Province

指 标 Indicator	相关系数 Correlation coefficient
非农业人口 Non-agricultural population	0.907**
人均 GDP Gross domestic product per capita	0.980**
固定资产投资完成额 Permanent assets amount	0.965**
房地产开发完成额 Real estate development amount	0.953**
居民可支配收入 Governable income of residents	0.975**

** $P < 0.01$.

由表3可以看出,辽宁中部城市群建成区总面积的增加与非农业人口、人均GDP、居民支配收入、固定资产投资额、房地产开发完成额等重要社会经济指标均具有极显著的线性相关关系($P < 0.01$),相关系数均达0.907以上,其中,与人均GDP的相关性最强.说明非农业人口增长、房地产开发、经济增长、城市群中城市空间的相互吸引、工业发展与开发区建设的政策等是辽宁中部城市群城市空间格局形成和城市增长的驱动力.

3 结 语

利用城市扩展强度空间分布方法能很好地识别区域城市化的热点区域,对于快速城市化地域范围的确定具有重要意义.城市群时间序列的城市景观格局分析可形象地描述城市群景观变化的时空过程,体现城市群城市空间增长的历史规律.TM影像数据是研究大尺度上城市增长的重要数据源,长时间多时相TM影像数据解译分析是发现城市增长规律的有效手段^[3],但TM影像数据对于离散的城市增长识别能力不强,很难准确解译小地块的城市增长.由于数据和方法的原因,本文没有考虑自然因素以及政治、文化、技术和管理等人类因素对辽宁中部城市群城市空间增长的影响,需在后续研究中进一步探讨.城市群城市增长的时空驱动力的识别和量化是未来城市群研究的重要领域.

将遥感、GIS与景观格局指数相结合探讨城市群尺度上的城市空间增长与城市景观格局变化具有十分重要的意义^[30-31].通过对辽宁中部城市群时间序列的城市格局变化和驱动力的分析,可为未来城市群的规划^[32]、管理和可持续发展提供有价值的参考.

参考文献

[1] Yao S-M (姚士谋). Urban Agglomerations of China. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2006 (in Chinese)

[2] Tao W-D (陶文东), An X-P (安筱鹏). Basic situation and thinking-way on regulation of harmonizing and developing urban agglomeration in China. *Territory and Natural Resources Study* (国土与自然资源研究), 2004, **6**(3): 5-8 (in Chinese)

[3] Liu JY, Zhan JY, Deng XZ. The spatio-temporal patterns and driving forces of urban land expansion in China during the economic reform era. *Ambio*, 2005, **34**: 450-455

[4] Liu S-H (刘盛和), Wu C-J (吴传均), Shen H-Q (沈洪泉). A GIS based model of urban land use growth in Beijing. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 2000, **55**(4): 407-416 (in Chinese)

[5] Ma R-H (马荣华), Chen W (陈雯), Chen X-H (陈小卉), et al. Town and construction land growth of Changshu City. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 2004, **59**(3): 418-426 (in Chinese)

[6] Li X, Yeh AGO. Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS. *Landscape and Urban Planning*, 2004, **69**: 335-354

[7] Shi P-J (史培军), Chen J (陈晋), Pan Y-Z (潘耀忠). Landuse change mechanism in Shenzhen City. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 2000, **55**(2): 151-160 (in Chinese)

[8] He C-Y (何春阳), Shi P-J (史培军), Chen J (陈晋), et al. Process and mechanism of urbanization in Beijing area. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 2002, **57**(3): 363-371 (in Chinese)

[9] Sheng K-R (盛科荣), Zhang P-Y (张平宇), Li F (李飞). Study on the evolution of city size distribution in Central Liaoning Urban Agglomeration. *Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences* (中国科学院研究生院学报), 2004, **21**(2): 233-241 (in Chinese)

[10] Zhang F (张峰), Zhang X-S (张新时). Urbanization expanding process and its spatial characteristics in Changping District of Beijing, China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(6): 1128-1132 (in Chinese)

[11] Li T-S (李团胜), Xiao D-N (肖笃宁). Urban landscape structure analysis of Shenyang City. *Scientia Geographica Sinica* (地理科学), 2002, **22**(6): 717-723 (in Chinese)

[12] Li T-S (李团胜). The landscape evolution of Shenyang City and its driving factors. *Human Geography* (人文地理), 2005, **84**(4): 5-8 (in Chinese)

[13] Wu X-Q (吴晓青), Hu Y-M (胡远满), He H-S (贺红

- 士), *et al.* Spatiotemporal pattern and its driving forces of urban growth in Shenyang City. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(10): 2282–2288 (in Chinese)
- [14] Zeng H (曾 辉), Jiang Z-Y (江子瀛). Landscape structure of Longhua area in Shenzhen City during fast urbanization process-structure and heterogeneity analysis of urban construction area. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2000, **11**(4): 567–572 (in Chinese)
- [15] Wang Y-J (王玉洁), Li J-X (李俊祥), Wu J-P (吴健平), *et al.* Landscape pattern changes in urbanization of Pudong New District, Shanghai. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006, **17**(1): 36–40 (in Chinese)
- [16] Liu S-H (刘曙华), Shen Y-F (沈玉芳). A probe into the urban sprawl model and its drive mechanism in Shanghai. *Economic Geography* (经济地理), 2006, **26**(3): 487–491 (in Chinese)
- [17] Wu H-A (吴宏安), Jiang J-J (蒋建军), Zhou J (周杰), *et al.* Dynamics of urban expansion in Xi'an City using Landsat TM/ETM⁺ data. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 2005, **60**(1): 143–150 (in Chinese)
- [18] Wu H-A (吴宏安), Jiang J-J (蒋建军), Zhang H-L (张海龙), *et al.* Urban expansion and its effects on eco-environment in Xi'an region based on Landsat TM data. *Journal of Natural Resources* (自然资源学报), 2006, **21**(2): 311–318 (in Chinese)
- [19] Chen B-Q (陈本清), Xu H-Q (徐涵秋). Urban expansion and its driving force analysis using remote sensed data: A case of Xiamen City. *Economic Geography* (经济地理), 2005, **25**(1): 79–84 (in Chinese)
- [20] Tang J-Y (汤君友), Yang G-S (杨桂山). Analysis of spatial-temporal features in urban land use growth based on RS and GIS in Wuxi City. *Resources and Environment in the Yangtze Basin* (长江流域资源与环境), 2004, **13**(5): 423–428 (in Chinese)
- [21] Jiang B (姜 博). A Study on Spatial Linkages of the Urban Agglomeration of Middle Liaoning Province. PhD Thesis. Changchun: Northeast Normal University, 2008 (in Chinese)
- [22] Fan J (樊 杰), Sheng K-R (盛科荣). Analysis on economic base of the city cluster in Central Liaoning Province. *City Planning Review* (城市规划), 2004, **20**(1): 37–42 (in Chinese)
- [23] Xi F-M (郝凤明), He H-S (贺红士), Hu Y-M (胡远满), *et al.* Simulation and prediction of urban and rural settlement growth and land use change in Yingkou City. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2008, **19**(7): 1529–1536 (in Chinese)
- [24] Li X, He HS, Bu R, *et al.* The adequacy of different landscape metrics for various landscape patterns. *Pattern Recognition*, 2005, **38**: 2626–2638
- [25] McGarigal K, Ene E, Holmes C. FRAGSTATS (Version 3): FRAGSTATS Metrics [EB/OL]. (2002-05-16)[2009-02-08]. http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/fragstats_documents.html
- [26] Bürgi M, Hersperger AM, Schneeberger N. Driving forces of landscape change: Current and new directions. *Landscape Ecology*, 2004, **19**: 857–868
- [27] Bai W-Q (摆万奇), Zhang Y-M (张永民), Yan J-Z (阎建忠), *et al.* Simulation of land use dynamics in the upper reaches of the Dadu River. *Geographical Research* (地理研究), 2005, **24**(2): 206–212 (in Chinese)
- [28] Xi FM, He HS, Hu YM, *et al.* Simulate urban growth based on RS, GIS, and SLEUTH model in Shenyang-Fushun metropolitan area of northeastern China. 2009 Urban Remote Sensing Joint Event, Shanghai, 2009: 435–443
- [29] Xing M (邢 铭). Thoughts over integration of Shenyang-Fushun Metropolitan Area. *City Planning Review* (城市规划), 2007, **31**(10): 52–57 (in Chinese)
- [30] Herold M, Goldstein NC, Clarke KC. The spatio-temporal form of urban growth: Measurement, analysis and modeling. *Remote Sensing of Environment*, 2003, **86**: 286–302
- [31] Herold M, Couclelis H, Clarke KC. The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2005, **29**: 369–399
- [32] Xi F-M (郝凤明), Hu Y-M (胡远满), He H-S (贺红士), *et al.* Urban planning based on SLEUTH model in Shenyang-Fushun metropolitan area. *Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences* (中国科学院研究生院学报), 2009, **26**(6): 765–773 (in Chinese)

作者简介 郝凤明,男,1980年生,博士,助理研究员。主要从事景观生态学、产业生态学、3S技术应用、低碳城市、生态工业园规划、城市和区域尺度的产业共生研究,发表论文11篇。E-mail: xifengming@iae.ac.cn

责任编辑 杨 弘