

基于DMSP_OLS灯光数据的1992~2010年 中国城市空间扩张研究

刘沁萍¹, 杨永春^{1,2}, 付冬暇³, 李鸿轶⁴, 田洪阵¹

(1.兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000; 2.兰州大学西部环境与气候变化研究院, 甘肃 兰州 730000;
3.国家测绘局第一地形测量队, 陕西 西安 710054; 4.国家测绘局第一大地测量队, 陕西 西安 710054)

摘要: 选择1992、2000和2010年的DMSP_OLS灯光数据, 改进了基于统计数据提取城镇用地的算法, 使用Python语言编程实现3个时期中国城市建成区的提取。利用ArcGIS 10、Visual FoxPro 6.0等软件, 选择城市形态紧凑度和城市扩张速度2个指标, 分别从城市规模(超大城市、特大城市、大城市、中等城市和小城市)、大区域(东部、中部、西部和东北区)、省级行政区划(省、自治区和直辖市)3个空间尺度分析了城市的空间扩张情况。结果表明: ①从城市形态紧凑度来看, 同一年份, 城市规模越大, 城市外部形态紧凑度越小; 而中、西部城市平均紧凑度大于东部、东北部。1992~2010年, 除大城市和小城市平均紧凑度指数略微变小、基本不变外, 其余各等级城市均变大; 东部和西部城市平均紧凑度指数变小, 而东北和中部变大。②从城市扩张速度来看, 同一时间段内, 城市规模越大, 城市建成区年均扩张速度越大; 1992~2010年, 东部城市建成区扩张速度最大, 东北最小, 中、西部次之; 其中, 北京、重庆、上海、天津扩张速度大, 广东、江苏、山东、浙江和福建扩张速度次之, 其余省份扩张速度较小; 近20 a来, 所有等级城市、不同区域城市以及各个省份内城市建成区在加速扩张。

关键词: 城市空间扩张; 灯光数据; 紧凑度; 扩张速度; 中国城市

中图分类号: F291; TP751 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2014)02-0129-08

自1978年改革开放以来, 伴随着中国经济的高速增长, 城市人口规模不断增加, 城市空间扩张迅速。尤其是近20 a来, 中国城市化进程处于快速增长阶段, 城市空间扩张尤为显著。城市空间扩张使得大量农地或者林地转变为城市用地, 耕地面积不断减少, 生态环境受到威胁。在此背景下, 研究城市空间扩张情况意义重大。现有的研究成果主要集中在以下几个方面: 一是以某个城市为例分析城市纵向时间上的扩张特征及其驱动因素^[1-6]; 二是以某个小区域为研究对象, 分析区域内城市空间扩张的特征及其成因^[7-10]; 三是分析城市空间扩张所导致的生态环境的变化^[11-13], 比如耕地的减少、湿地的退化、水体的减少、碳排放量的增加等。从宏观角度对中国建制的656个城市进行综合研究的成果比较少。

目前研究单个或某几个城市空间扩张的遥感影像数据主要来源于TM/ETM+数据, 但是, 对于研究全国区域内城市空间扩张的情况, 由于要获取的数据量巨大且有些城市数据时间尺度上不连续, 使得利用TM/ETM+数据来研究大范围内城市空间扩张的可行性差。而美国军事气象卫星(Defense Meteorological Satellite Program (DMSP))搭载的Operational Linescan System (OLS)传感器为大尺度的城市研究提供了一种新的数据获取手段, 国内外很多学者对利用DMSP_OLS灯光数据进行城镇用地提取的方法进行了研究^[14-18]。结果都表明, 利用灯光数据提取城镇用地信息, 是研究大区域城市空间扩张的一种行之有效的途径。尽管灯光数据较TM/ETM+数据分辨率低, 但是, 对于研究全国城市空间扩张的趋势, 可以满足研究

收稿日期: 2012-09-27; **修订日期:** 2013-03-18

基金项目: 国家自然科学基金(41171143、40771064)、教育部新世纪优秀人才计划(NCET-07-0398)、中央高校基本科研业务费专项资金重点项目(lzujbky-2012-k35)资助。

作者简介: 刘沁萍(1979-), 女, 河南焦作人, 讲师, 博士研究生, 主要从事城市与区域发展、转型与规划研究。E-mail: liuqinpingnr@163.com

通讯作者: 杨永春, 教授。E-mail: yangych@lzu.edu.cn

需要。

城市空间形态是各种自然社会经济要素综合作用于城市的一种空间结果,同时,不同的城市空间形态也会影响城市的可持续发展^[19]。20世纪90年代以来,随着城市蔓延现象的加剧,如何有效引导城市空间形态发展,遏制无序蔓延的不可持续的城市发展形态,西方学术界相继提出的“增长管理”(growth management)、“精明增长”(smart growth)、“新城市主义”(new urbanism)、“都市更新”(urban renewal)、“区域城市”(region city)、“紧凑城市”(compact city)等理念,其中,紧凑城市被认为是一种解决城市无序蔓延,实现城市可持续发展的核心理念和手段,在西方社会引起了广泛关注^[20]。国内很多学者对城市的空间扩张形态进行了分析研究,研究对象主要是针对某一个城市或者几个城市^[19,21-24],研究成果虽然能够对具体城市具有指导意义。但是,从现有的研究成果来看,20世纪90年代以来的中国城市空间扩张形态总体上的变化特征研究仍然不够。

本文选用1992、2000和2010年DMSP_OLS灯光数据,利用ArcGIS 10、Visual FoxPro 6.0等软件,提取中国656个城市(县级市、地级市、副省级市和直辖市)建成区,从时间和空间2个尺度上对中国656个城市外部空间形态紧凑度和扩张速度进行综合分析,研究结果不仅可以给政府管理部门提供决策参考,还可为规划部门和规划人员提供科学依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

根据《中国城市统计年鉴》^[25],选择656个建制城市(含286个地级及以上城市和370个县级城市)进行研究(台湾、香港、澳门、拉萨缺少统计数据,未进行研究);1992、2000和2010年城市建成区面积信息来源于《中国城市统计年鉴》^[25];城市非农人口数据来源于《中国人口和就业统计年鉴》^[26]。县级城市行政边界线和城市空间点位置信息来源于国家基础地理信息系统1:400万数据集。

DMSP_OLS灯光数据来源于美国国家地球物理数据中心网站^[27],包括1992(DMSP F10卫星)、2000(DMSP F15卫星)和2010年(DMSP F18卫星)3期数据,空间分辨率是1 km,原始数据消除了云及火光等偶然噪声影响,数据灰度值范围1~63,

饱和灯光灰度值为63。

1.2 研究方法

1.2.1 城市用地信息的提取

本文借鉴基于统计数据提取城市用地的方法^[14,18],以城市行政边界为单位进行计算提高了城市用地信息提取的空间精度;利用数值计算代替基于图像的栅格运算来求取城市的灯光阈值,提高了计算速度。具体的计算过程如下:①将检查修正后的656个城市的城市行政边界线进行分割,并以城市ID为文件名,单独存储为656个图层;用该数据裁剪得到3个时期每个城市行政边界线范围内的灯光数据,并以城市的ID为文件名,将每个城市3个时期行政边界线内的灯光数据进行单独存储;将得到的栅格格式灯光数据属性表存储为dbf格式;②编写Python程序,读取3个时期每个城市灯光数据的dbf文件,以灯光数据灰度值(DN值)为循环条件,从1到63计算不同灯光数据灰度值下的面积,以相应统计年鉴里的建成区面积为依据,直到该面积与统计数据最接近为止,得到的数据灰度值即为某城市在该时期的灯光阈值,由此得到每个城市3个时期的灯光阈值;③利用3个时期每个城市的灯光阈值,依据城市行政边界线,将灯光阈值数据转换成对应的栅格数据,在ArcGIS中利用各个时期城市行政边界内的灯光数据与灯光阈值栅格数据进行“Greater Than”栅格运算,得到栅格格式的建成区边界线,再将栅格数据转化为矢量数据,剔除面积小于1 km²的碎屑多边形,得到各个时期城市建成区边界线,提取得到的城市空间扩张情况(图1)。④精度检验。由于Landsat TM/ETM+数据的空间分辨率(30 m)远高于DMSP_OLS灯光数据的空间分辨率(1 km),所以,可以选用Landsat TM/ETM+数据来检验利用DMSP_OLS灯光数据提取的建成区的精度^[28,29]。选择检验样本时考虑以下几个因素:第一,在空间上,东中西部地区均有样本点;第二,在城市规模上,不同规模等级的城市均有样本点;第三,在时间上,3个时期均有样本点。在此3个标准下,随机选择15个城市进行检验,其中,超大及特大城市5个(1992、2000和2010年的TM/ETM+影像),大城市2个(2010年TM影像),中等城市3个(2010年TM影像)和小城市5个(2010年TM影像)。利用所选择的不同时期TM/ETM+影像提取城市建成区,将提取结果与对应的DMSP_OLS灯光数据提取的结果

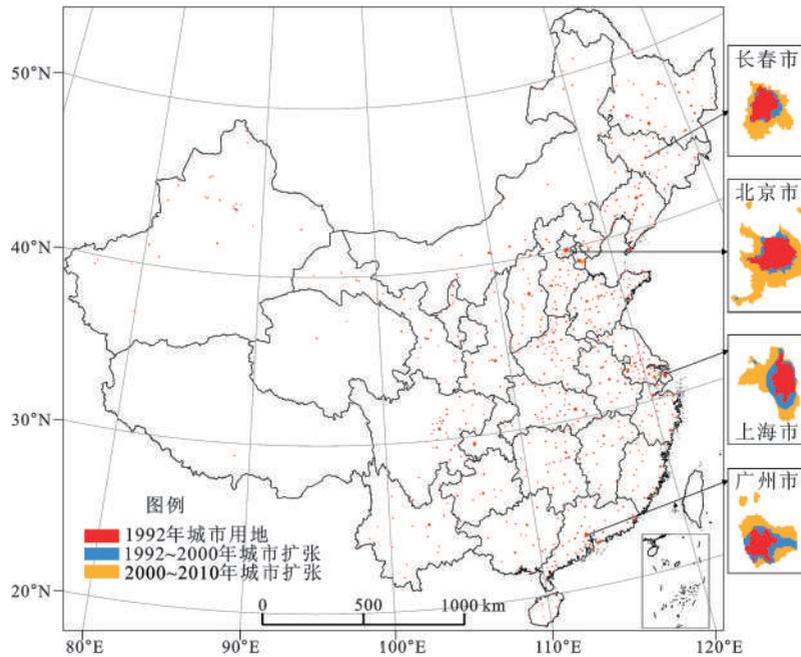


图1 1992~2010年中国城市空间扩张

Fig.1 Spatial expansion of built-up areas in China in 1992-2010

进行对比,选择常用的遥感图像分类精度评价指标:总体分类精度和Kappa系数,对单个城市提取的建成区进行精度评价。将得到的25个总体分类精度和Kappa系数值进行平均,最终得到的平均总精度为83%,平均Kappa系数为0.63,检验结果与已有的研究成果相一致^[28],表明利用DMSP_OLS灯光数据提取建成区可以满足研究需要。

1.2.2 城市外部形态紧凑度的衡量

从紧凑城市的内涵来分析,衡量紧凑城市的指标包括社会经济指标(人口高密度、资本密度、城市体积密度和土地开发率)和空间指标(城市形态紧凑度)^[20]。本文主要从空间角度去衡量城市的紧凑度,而城市外围轮廓形态的紧凑度是反映城市空间形态的一个非常重要的指标。选用紧凑度指数来定量分析,紧凑度指数计算公式为^[19]:

$$BCI = 2\sqrt{\pi A}/P \quad (1)$$

式中, BCI 为城市外部形态的紧凑度, A 为建成区面积, P 为建成区外围轮廓的周长。城市紧凑度指数值越大,说明其形状越有紧凑性,反之,说明形状的紧凑性越差。

1.2.3 城市扩张速度的衡量

选用建成区扩张速度来衡量城市扩张的快慢,扩张速度计算公式为:

$$AGA = [U_{A(n+i)} - U_{A_i}] / n \quad (2)$$

式中, AGA 为城市建成区扩张速度, U_{A_i} 为第*i*年城

市建成区面积; $U_{A(n+i)}$ 为第*n+i*年的城市建成区面积, n 为以年为单位的时间间隔。

2 结果统计与分析

根据公式(1)和(2),计算得到656个城市1992年、2000年和2010年的形态紧凑度和1992~2000年、2000~2010年和1992~2010年3个时间段的扩张速度,并分别从城市规模、大区域和省级行政区3个方面进行分析。

根据2010年中国人口和就业统计年鉴中城市非农业人口数目,将城市分为5个等级^[30],分别为:超大城市(非农人口200万以上)、特大城市(非农人口在100~200万之间)、大城市(非农人口在50~100万之间)、中等城市(非农人口在20~50万之间)和小城市(非农人口小于20万)(图2)。

根据国家统计局2011年6月13号的划分办法,将中国区域划分为东、中、西和东北四大区域(图2)。

中国省级行政区划包括:4个直辖市、22个省(台湾省数据暂无统计)、5个自治区共计31个省(直辖市、自治区)(图2)。

2.1 城市外部形态紧凑度

2.1.1 依据城市规模分析

将656个城市1992、2000和2010年的外部形态紧凑度指数,按照不同等级城市的数目,计算每

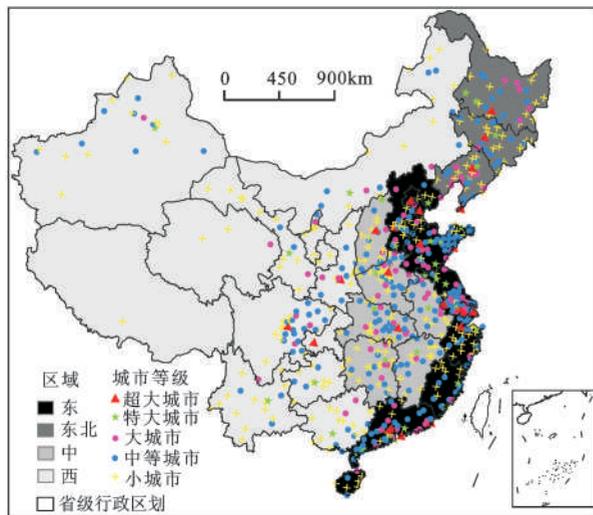


图2 各等级城市分布、全国区域划分及各省级区域

Fig.2 Distribution of cities, four regions, and provincial administrative divisions in China

一等级城市紧凑度指数的平均值和该等级内城市紧凑度指数的标准差(表1)。分析可知,除2000年,特大城市紧凑度指数略小于超大城市外,总体上,城市规模越大,城市形态紧凑度越小,可能的原因:一是城市规模越大,城市扩张速度越快,迅速的城市扩张又以外延急剧膨胀和郊区化为主,使得城市外部形态紧凑度变小;二是,城市规模越大,城市扩张越容易受到城市所处自然地形的限制^[3],从而使得城市外部形态紧凑度变小。1992~2010年的城市扩张过程中,不同等级城市的平均紧凑度指数,都具有“变大到变小”或者“变小到变大”的特征,这说明城市在扩张的过程中,伴随着外部扩张和内部填充2个过程。这2个过程是交替循环的,某一时期以其种方式为主,当城市以外外部扩张为主时,外部形态紧凑度变小,以内部填充为主时,城市外部形态紧凑度变大。近20 a来,大城市紧凑度指数略微变小,小城市紧凑度指数不变,其余各等级城市紧凑度指数均变大,但是变化量比较小。从不同等级城市紧凑度的标准差来看,1992~2010年,除特大城市标准差有略微减小外,其它等级城市标准差变大,说明特大城市个体间的外部形态紧凑度差异略微缩小,而其它等级城市个体间的差异在增加。

2.1.2 依据大区域分析

将656个城市1992、2000和2010年的外部形态紧凑度指数,按照不同区域城市的数目,计算各区域城市紧凑度指数的平均值和该区域内城市紧

表1 1992~2010年不同等级城市紧凑度指数平均值及其标准差

Table 1 Averages and standard deviations of compactness in different urban scales in 1992-2010

城市等级	1992年		2000年		2010年	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
超大城市	0.584	0.108	0.602	0.135	0.588	0.124
特大城市	0.603	0.130	0.594	0.126	0.609	0.127
大城市	0.662	0.093	0.665	0.088	0.661	0.106
中等城市	0.705	0.080	0.708	0.084	0.707	0.109
小城市	0.739	0.070	0.739	0.068	0.739	0.096

凑度指数的标准差(表2)。总体上,同一年份,中西部城市平均紧凑度大于东、东北部,可能的原因是中西部地区超大、特大和大城市相对比较少,中小城市比较多,而规模越大的城市,外部形态紧凑度越小。1992~2010年,东、西部城市平均紧凑度指数变小,东北和中部变大。从城市紧凑度的标准差来看,1992~2010年,东部和东北区域内城市紧凑度标准差变小,其它区域增大,说明东部和东北区域城市个体间的外部形态紧凑度差异在缩小,其余区域城市个体间的差异在增加。

表2 1992~2010年不同区域城市紧凑度指数平均值及其标准差

Table 2 Averages and standard deviations of compactness in different regions in 1992-2010

区域	1992年		2000年		2010年	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
东部	0.693	1.437	0.690	1.571	0.692	0.121
东北部	0.668	0.669	0.678	0.108	0.693	0.133
西部	0.727	0.086	0.724	0.080	0.708	0.109
中部	0.711	0.081	0.718	0.077	0.722	0.090

2.1.3 按照省级行政区划分析

将656个城市1992、2000和2010年的外部形态紧凑度指数,按照省级行政区划,计算各行政区域内城市形态紧凑度指数的均值(图3a)和1992~2010年各省份城市形态平均紧凑度变化量(图3b)。从图3a看出,1992、2000和2010年,北京、天津、上海、重庆4个直辖市形态平均紧凑度值相对较小,且变化量比较大;而其余省份内城市平均形态紧凑度指数变化幅度较小,且各省份之间紧凑度差异比较小。可能的原因:一是直辖市属于超大城市,而超大城市的外部形态紧凑度相对较小,

而其他省份的平均紧凑度指数是该省份内不同等级规模城市形态紧凑度指数的平均值,而中小城市紧凑度指数较大,从而使得其他省份的值较直辖市的值大;二是直辖市扩张速度快,而城市扩张是伴随着外部扩张和内部填充的,某一时期以某种方式为主,两者是交替进行的,当直辖市以迅速的外部扩张(沿交通线路、河流等的轴线扩张或者跳跃式扩张等)为主时,城市形态紧凑度变小,当直辖市以迅速的内部填充为主时,城市形态紧凑度又会变大,所以,不同时期直辖市形态紧凑度指数变化量比较大。从图3b可以看出,1992~2010年,天津、山西、黑龙江、西藏、宁夏、河南、辽宁、广东、河北、新疆、湖北、吉林和山东共13个省级行政区域内城市形态紧凑度均值变大,其余行政区域内变小。

2.2 城市扩张速度

2.2.1 依据城市规模分析

按照不同等级城市的数目,计算各等级城市建成区扩张速度平均值(图4a),分析可知,同一时间段内,城市规模越大,城市建成区年均扩张速度越大。原因可能是规模越大的城市,城市的集聚效应越强,使得人口、资本越集中,而越来越多的人口又使得城市空间不断扩张。对所有等级城市来说,1992~2000年扩张速度最小,2000~2010年扩张速度

最大,而1992~2010年的扩张速度居中。这说明1992~2010年各等级城市建成区是在加速扩张的。

2.2.2 依据大区域分析

按照不同区域内城市的数目,计算各区域内城市建成区扩张速度平均值(图4b),可以看出,1992~2000年,东、中、西和东北区域内城市建成区年均扩张速度依次减小,2000~2010年,东、西、中和东北区域内城市建成区年均扩张速度依次减小,分析可知2000年国家提出西部大开发政策后,西部城市扩张速度在增加;1992~2010年,东部城市建成区扩张速度最大,东北最小,中、西部次之。对所有区域城市来说,1992~2000年扩张速度最小,2000~2010年扩张速度最大,说明1992~2010年各区域内城市建成区是在加速扩张的。

2.2.3 按照省级行政区划分析

按照省级行政区划,计算各行政区域内城市建成区扩张速度平均值(图4c),从图4c可以看出,1992~2010年,北京、重庆、上海和天津4个直辖市扩张速度较大,广东、江苏、山东、浙江和福建扩张速度次之,其余省份扩张速度较小。分析可知,对所有省份来说,2000~2010年的扩张速度均大于1992~2000年,说明近20a来,31个省级区域内的城市建成区是在加速扩张的。

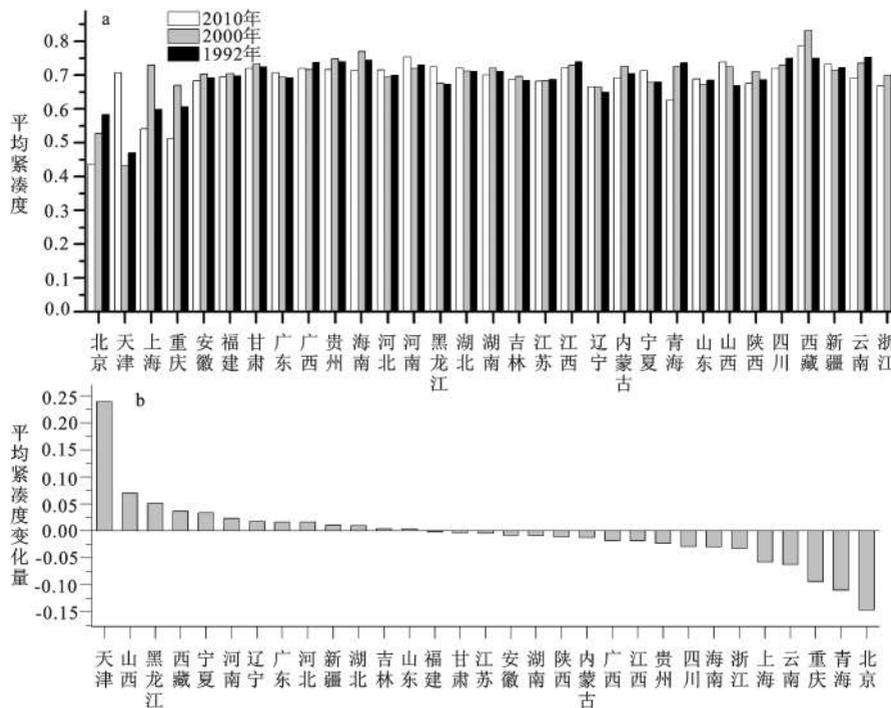


图3 1992~2010年中国各省份城市形态平均紧凑度及其变化量

Fig.3 Averages and changes of compactness in different provinces in China in 1992 - 2010

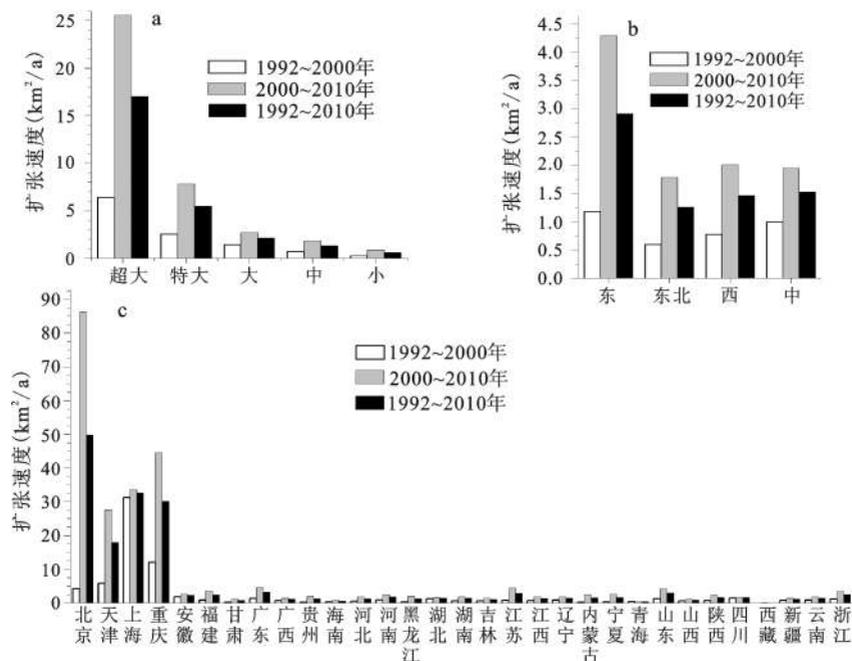


图4 1992~2010年不同等级、区域及省份城市扩张速度

Fig.4 Speeds of urban spatial expansion in different urban scales, regions and provinces from 1992 to 2010

3 结论与讨论

以中国 656 个建制城市为研究对象,选择 1992、2000 和 2010 年 DMSO_OLS 灯光数据,利用 ArcGIS 10、Visual FoxPro 6.0 等软件,采用基于统计数据方法提取 3 个时期城市建成区,通过计算城市建成区扩张速度和外部形态紧凑度指数,从纵向和横向 2 个方面分析了近 20 a 来中国城市扩张情况,研究结果表明:

从城市外部形态紧凑度分析:① 同一年份,城市规模越大,城市形态紧凑度越小;从 1992~2000 到 2000~2010 年,城市形态紧凑度具有“变大到变小”或者“变小到变大”的特征;近 20 a 来,大城市紧凑度指数略微变小,小城市基本不变,其余各等级城市均变大;② 同一年份,中西部城市平均紧凑度大于东、东北部;近 20 a 来,东和西部城市平均紧凑度指数变小,东北和中部城市变大。③ 1992、2000 和 2010 年,北京、天津、上海、重庆 4 个直辖市形态紧凑度变化比较大,而且紧凑度值相对较小,其余省份内城市平均形态紧凑度指数变化较小,且各省份之间紧凑度差异比较小;天津、山西、黑龙江、西藏、宁夏、河南、辽宁、广东、河北、新疆、湖北、吉林和山东共 13 个行政区域内城市形态紧凑度均值变大,其余行政区内变小。

从城市扩张速度来看,① 同一时间段内,城市规模越大,城市建成区年均扩张速度越大;② 1992~2000 年,东、中、西和东北区域内城市建成区年均扩张速度依次减小,而在 2000~2010 年,西部城市的年均扩张速度超过了中部城市;1992~2010 年,东部城市建成区扩张速度最大,东北最小,中、西部次之;1992~2010 年,北京、重庆、上海、天津扩张速度大,广东、江苏、山东、浙江和福建扩张速度次之,其余省份扩张速度较小;③ 1992~2010 年,所有等级城市、不同区域城市以及各个省份内城市建成区在加速扩张。

不同区域不同等级规模城市的空间扩张情况有相同也有差异,这不仅和城市所处的自然地理位置相关,同时也反映了中国社会经济发展、国家宏观政策以及城市规划管理理念的深刻变化,例如,1992~2010 年,所有等级城市、所有区域城市以及各个省份内城市建成区都在加速扩张,说明了 20 世纪 90 年代以来,中国经济的快速发展,城市化进程的高速推进,使得城市空间扩张速度在不断加剧。2000 年后,西部城市的年均扩张速度超过了中部城市,说明 2000 年中央政府实施西部大开发政策之后,西部城市的发展速度明显加快。近 20 a 来,城市外部形态紧凑度呈现“变大到变小”或者“变小到变大”的特征说明了城市在扩张的过程

中,伴随着外部扩张和内部填充2个过程,两者是交替循环的,某一时期以某种方式为主,当城市以外部扩张为主时,外部形态紧凑度变小,以内部填充为主时,城市外部形态紧凑度变大;城市处在不同的发展阶段,城市的宏观规划导向直接影响了城市空间扩张的方向和速度,进而决定了某时期城市以某种扩张方式为主。

参考文献:

- [1] Xiao J Y, Shen Y J, Ge J F, et al. Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2006, **75**(1-2): 69-80.
- [2] Li X W, Zhang L N, Liang C. A GIS-based buffer gradient analysis on spatiotemporal dynamics of urban expansion in Shanghai and its major satellite cities[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2010, **2**: 1139-1156.
- [3] 熊黑钢, 邹桂红, 崔建勇. 基于GIS的乌鲁木齐城市用地空间结构变化研究[J]. *地理科学*, 2010, **30**(1): 86-91.
- [4] Hu Z L, Du P J, Guo D Z. Analysis of urban expansion and driving forces in Xuzhou City based on remote sensing[J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2007, **17**(2): 267-271.
- [5] 齐涛, 李新虎, 张国钦. 厦门岛城市空间扩张特征及其影响因素分析[J]. *地理学报*, 2010, **65**(6): 715-726.
- [6] 姚士谋, 陈爽, 吴建楠. 中国大城市用地空间扩展若干规律的探索——以苏州市为例[J]. *地理科学*, 2009, **29**(1): 15-21.
- [7] 王翠平, 王豪伟, 李春明, 等. 基于DMSP/OLS影像的我国主要城市群空间扩张特征分析[J]. *生态学报*, 2012, **32**(3): 942-954.
- [8] 徐涵秋. 近30年来福州盆地中心的城市扩展进程[J]. *地理科学*, 2011, **31**(3): 351-357.
- [9] 冯晓刚, 李锐. 西安咸阳一体化进程中城市扩张及驱动力研究[J]. *测绘科学*, 2011, **36**(1): 102-104.
- [10] 王磊, 段学军. 长江三角洲地区城市空间扩展研究[J]. *地理科学*, 2010, **30**(5): 702-709.
- [11] Tan M H, Li X B, Xie H, et al. Urban land expansion and arable land loss in China—a case study of Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. *Land Use Policy*, 2005, **22**(3): 187-196.
- [12] Du N R, Ottens H, Sliuzas R. Spatial impact of urban expansion on surface water bodies—a case study of Wuhan, China[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2010, **94**(3-4): 175-185.
- [13] Li Y F, Zhu X D, Sun X, et al. Landscape effects of environmental impact on bay-area wetlands under rapid urban expansion and development policy: a case study of Lianyungang, China[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2010, **94**(3-4): 218-227.
- [14] 何春阳, 史培军, 李景刚, 等. 基于DMSP/OLS夜间灯光数据和统计数据的中国大陆20世纪90年代城市化空间过程重建研究[J]. *科学通报*, 2006, **51**(7): 856-861.
- [15] Croft T A. Nighttime images of the earth from space[J]. *Science American*, 1978, **239**: 68-79.
- [16] Imhoff M L, Lawrence W T, Stutter D C, et al. A technique for using composite DMSP/OLS “City Lights” Satellite Data to accurately map urban areas[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, **61**(3): 361-370.
- [17] Henderson M, Yeh E T, Gong P, et al. Validation of urban boundaries derived from global night-time satellite imagery[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, **24**(3): 595-609.
- [18] 舒松, 余柏菡, 吴健平, 等. 基于夜间灯光数据的城市建成区提取方法评价与应用[J]. *遥感技术与应用*, 2011, **26**(2): 169-176.
- [19] 王新生, 刘纪远, 庄大方. 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): 392-400.
- [20] 杨永春, 刘沁萍, 田洪阵. 中外紧凑城市发展模式比较研究[J]. *城市问题*, 2011, (12): 2-8.
- [21] 张振龙, 顾朝林, 李少星. 1979年以来南京都市区空间增长模式分析[J]. *地理研究*, 2009, **28**(3): 817-828.
- [22] 詹庆明, 徐涛, 周俊. 基于分形理论和空间句法的城市形态演变研究——以福州市为例[J]. *华中建筑*, 2010, (4): 7-10.
- [23] 刘登娥, 陈爽. 近30年来苏锡常城市增长形态过程与聚散规律[J]. *地理科学*, 2012, **32**(1): 47-54.
- [24] 刘辉, 段汉明, 范熙伟, 等. 西宁城市空间形态演化研究[J]. *地域研究与开发*, 2009, **28**(5): 56-61.
- [25] 国家统计局城市社会经济调查司. 中国城市统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1993, 2001, 2011.
- [26] 国家统计局人口和就业统计司. 中国人口和就业统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [27] NOAA National Geophysical Data Center. Version 4 DMSP-OLS nighttime lights time series[EB/OL]. <http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/downloadV4composites.html>, 2012.
- [28] Liu Z F, He C Y, Zhang Q F, et al. Extracting the dynamics of urban expansion in China using DMSP-OLS nighttime light data from 1992 to 2008[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2012, **106**: 62-72.
- [29] Small C, Pozzi F, Elvidge C D. Spatial analysis of global urban extent from DMSP-OLS night lights[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, **96**: 277-291.
- [30] 苏飞, 张平宇. 辽中南城市群城市规模分布演变特征[J]. *地理科学*, 2010, **30**(3): 343-349.
- [31] 刘沁萍, 田洪阵, 杨永春. 基于GIS和遥感的中国城市分布与自然环境关系的定量研究[J]. *地理科学*, 2012, **32**(6): 686-693.

Urban Spatial Expansion Based on DMSP_OLS Nighttime Light Data in China in 1992-2010

LIU Qin-ping¹, YANG Yong-chun^{1,2}, FU Dong-xia³, LI Hong-yi⁴, TIAN Hong-zhen¹

(1. *College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China;*
2. *Key Laboratory of Western China's Environment Systems of the Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China;*3. *First Topographic Surveying Team, State Bureau of Surveying and Mapping, Xi'an, Shaanxi 710054, China;*4. *First Geodetic Surveying Team, State Bureau of Surveying and Mapping, Xi'an, Shaanxi 710054, China)*

Abstract: An existing algorithm based on the statistical data was refined, and a Python implementation of the improved algorithm was programmed to extract the built-up areas of 656 cities in 1992, 2000, and 2010 based on DMSP_OLS nighttime light data. ArcGIS 10 and Visual FoxPro 6.0 were used to analyze the characteristics of the expansion of the cities. This study selected 2 indices, the compactness of urban external spatial morphology (CUESM) and the speed of urban spatial expansion (SUSE), to analyze the spatial expansion of county- and higher-level cities in China from 3 aspects: the sizes of cities (metropolises, large cities, medium-sized cities, and small cities), large regions (eastern, central, western, and northeastern China), and administrative divisions of China (provinces, autonomous regions, and municipalities). The results are as follows. First, during the same year, the values of CUESM were getting smaller with increasing city, and were larger in central and western China than those in the eastern and northeastern China. During the period of 1992-2010, the values of CUESM became slightly smaller in large cities, almost unchanged in small cities, and got larger in the cities of other sizes. The values of CUESM became smaller in the eastern and western China, but they got larger in the central and northeastern China from 1992 to 2010. Secondly, during the same period, SUSE increased with urban size. From 1992 to 2010, SUSE was high in the eastern China, low in the central and western China, and the lowest in the northeastern China. SUSE was high in Beijing, Chongqing, Shanghai, and Tianjin, low in Guangdong, Jiangsu, Shandong, Zhejiang, and Fujian, and the lowest in the rest of the provinces in China. From 1992 to 2010, SUSE accelerated in all sizes, regions and provinces.

Key words: urban spatial expansion; light data; compactness; speed of expansion; cities in China