

基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的长江三角洲地区 城市化格局与过程研究

徐梦洁, 陈黎, 刘焕金, 王慧
(南京农业大学公共管理学院, 南京 210095)

摘要: 利用 1998、2003 和 2008 年的 DMSP/OLS 夜间灯光数据, 结合相关统计数据, 分析灯光数据与城市化进程中经济、人口和土地利用等方面的关系, 构建基于灯光数据的城市化水平指数, 分析长三角城市群城市化进程和空间模式; 通过与统计数据对比, 按照最小误差原则确定市辖区建设用地信息提取的阈值, 根据各城市在 1998 ~ 2003 年和 2003 ~ 2008 年两个阶段建设用地信息提取阈值的变化, 划分城市建设用地的主导扩张类型。研究表明: 长三角城市群表现为核心城市的面状扩张、沿交通网络的线状扩张和非核心城市的点状扩张模式, 城市群的特征逐渐体现; 区域内部城市化发展水平不均衡, 但空间差异逐渐缩小; 镇江、常州、扬州、无锡、苏州、南通、湖州、嘉兴、绍兴、舟山和台州等市属于填充增强主导扩展类型; 南京、杭州和上海则属于外延-填充增强主导扩展类型; 泰州和宁波属于填充增强-外延主导扩展类型。

关键词: DMSP/OLS; 夜间灯光数据; 长江三角洲; 城市化

中图分类号: TP 75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2011)03-0106-07

0 引言

城市化是重要的社会和经济现象, 是涉及经济、社会、人口和地域空间等多方面的复杂过程。国际上对城市化的研究已有数十年的历史, 不同学科对城市化的理解不一^[1,2]。虽然不同学术流派对城市化理解存在差异, 但综合他们的观点, 可以将城市化归结为乡村聚落转化为城市聚落的过程: 其一为实质性的集中, 如人口和第二、第三产业等活动的集中; 其二为城市生活方式的接受程度。前者更易观察与研究, 测度城市化水平的指标也大多由此构建。伴随社会经济的高速发展和产业结构的调整, 目前我国城市化正处于加速发展阶段。中国社会科学院发布的《中国城市发展报告》中指出: 2009 年底, 中国城镇人口总量为美国人口总数的 2 倍, 比欧盟 27 国人口总规模还要高出 1/4。随着中国城市化进程的逐渐深入, 大都市区和大城市群地区已经成为中国城市化进程中最具有活力的地区^[3]。城市化进程中不断产生和加剧的社会、经济和生态环境问题^[4-6]必将影响城市的可持续发展, 因此需要把握城市化的现状与发展趋势, 以便对城市化进程加以调控^[7]。

在城市化研究中应用遥感技术由来已久, 主要集中在小尺度的城市土地利用分类、变化信息提取和空间扩展动态监测等方面^[8], 中观和宏观尺度的

研究相对较少。美国军事气象卫星 Defence 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新的数据源。DMSP/OLS 传感器的应用始于 20 世纪 70 年代, 其特点是可在夜间工作, 能探测到城市灯光甚至小规模居民地和车流、船只等发出的低强度灯光, 并将其与黑暗的乡村背景区分开来。Croft^[9]最早将该数据用于城市研究, 他指出, DMSP/OLS 夜间灯光数据有助于确定人类活动强度的高低。1992 年美国国防部 (DoD) 和美国国家海洋和大气管理局 (NOAA) 开始使用数码文档, 从此将其用于城市研究的学者日益增多, 研究领域涵盖城市人口^[10]、经济^[11]、能源^[12]及环境^[13]等诸多方面。我国此类研究开展较晚, 陈晋等人较早将灯光数据用于分析中国城市化特征^[7], 其他研究还有中国城市用地扩展类型^[14]、城市化的生态效应^[15]及城市人口估算^[16]等。夜间灯光数据与 AVHRR 数据具有相当的空间和时间分辨率, 适于大尺度城市化进程的动态监测, 而数据免费下载的特点使其具备了应用优势^[7]。分析表明, 利用 DMSP/OLS 数据提取城市格局特征与利用 Landsat TM 提取的城市格局特征基本一致; 基于灯光数据的城市空间信息基本能反映我国城市化发展的实际情况^[17]。总体而言, 从区域尺度对我国经济发达区域城市群的城市化相

关研究仍相对薄弱。因此,本文利用 1998、2003 和 2008 年 3 期长三角地区城市群 DMSP/OLS 夜间灯光数据,结合统计数据,分析灯光数据与城市化进程中经济、人口和土地利用等方面的关系,构建基于灯光数据的城市化水平指数;通过与统计数据对比,按照最小误差原则确定城市市辖区建设用地信息提取的阈值。在此基础上,分析长三角城市群城市化进程和空间模式,并根据各城市在 1998~2003 年和 2003~2008 年两个阶段阈值的变化,划分城市建设用地的主导扩张类型。

1 研究区域与数据源

1.1 研究区域

长江三角洲地域范围涉及上海市和江苏、浙江两省,土地面积约 110 116 km²,包括上海市、江苏的南京、镇江、扬州、常州、无锡、苏州、南通和泰州市以及浙江的嘉兴、湖州、杭州、宁波、绍兴、台州和舟山市,下辖 140 个县(市、区)。长江三角洲是我国最大的经济核心区之一,也是中国城市最密集的地区,区内共有 1 个直辖市(上海)、3 个副省级城市(南京、杭州、宁波)和 12 个地级市。早在 20 世纪 60 年代,长江三角洲地区便被戈特曼列为世界上 6 个大城市带之一^[18]。时至今日,这一地区已成为我国经济最发达的城镇密集之地。2009 年,长三角 16 市 GDP 总量达到 59 711.25 亿元,其中 11 个城市 GDP 的增长幅度超过 10%。

1.2 数据源及数据处理

本文使用的 DMSP/OLS 夜间灯光数据来源于美国国家地球物理数据中心网站([http://www.](http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/downloadV4composites.html)

[ngdc.noaa.gov/dmsp/downloadV4composites.html](http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/downloadV4composites.html))。OLS 传感器有可见光—近红外(VNIR, 0.4~1.0 μm)和热红外(TIR, 10~13 μm)2 个通道,获取图像总幅宽 3 000 km,传感器采样距离为 0.55 km,对数据平滑处理后可得到扫描方向采样距离为 2.7 km 的较低空间分辨率数据。原始数据是消除了云(通过热红外通道阈值法)及火光等偶然噪声影响后对全年 VNIR 通道灰度值直接平均化处理后得到的,数据灰度值范围 1~63,饱和灯光灰度值为 63。

本文使用 ArcGIS Desktop 作为地理信息处理软件。数据源包括美国国家地球物理数据中心提供的 DMSP/OLS 夜间灯光数据以及通过国家基础地理信息系统网站(<http://nfgis.nsdi.gov.cn/>)下载的全国 1:400 万数据库中的县级以上境界面状数据和主要交通线状数据。二者的数据都是地理坐标(Lat-lon),椭球体为 WGS 84,可以相互叠加。为了计算面积,需对二类数据的坐标加以转换,本文将其转换为横轴墨卡托(UTM)投影,椭球体仍为 WGS 84。在县级以上境界面状数据中提取长三角地区各市和市辖区边界,用以裁剪全球灯光数据的计算。

2 研究方法

2.1 城市化指数的构建

DMSP/OLS 夜间灯光强度变化反映了人类活动的强度差异^[9]。为构建基于夜间灯光数据的城市化水平指数,本文分析了城市灯光数据与长三角地区各城市经济、人口和土地利用的相关性,如表 1 所示。

表 1 城市灯光数据与城市经济、人口和土地利用的相关关系(2008 年)^①

Tab.1 Correlations for city night light data with social, economic and land utilization statistics in 2008

灯光数据	相关性	经济			人口			土地利用	
		指标 1	指标 2	指标 3	指标 4	指标 5	指标 6	指标 7	指标 8
数据 1	皮尔逊相关系数	0.059	0.157	0.073	0.371	0.097	0.088	0.127	0.029
	显著性(双尾)	0.828	0.056	0.789	0.157	0.721	0.746	0.638	0.915
数据 2	皮尔逊相关系数	0.853 **	0.741 **	0.697 **	0.791 **	0.396	0.544 *	0.769 **	0.710 **
	显著性(双尾)	0.000	0.001	0.003	0.000	0.129	0.029	0.000	0.002
数据 3	皮尔逊相关系数	0.851 **	0.728 **	0.752 **	0.507 *	0.545 *	0.423	0.606 *	0.708 **
	显著性(双尾)	0.000	0.001	0.001	0.045	0.029	0.103	0.013	0.002
数据 4	皮尔逊相关系数	0.769 **	0.677 **	0.625 **	0.802 **	0.378	0.495	0.721 **	0.634 **
	显著性(双尾)	0.000	0.004	0.010	0.000	0.149	0.051	0.002	0.008

① 指标 1~8 分别为全市 GDP(亿元)、全市人均 GDP(元/人)、第二和第三产业产值比重(%)、全市人口密度(人/km²)、市辖区人口密度(人/km²)、非农业人口占总人口比重(%)、市辖区建设用地面积(km²)和市辖区建成区面积(km²)。* 表示显著相关(置信度 5%); ** 表示极显著相关(置信度 1%)。

表 1 中数据 1 是区域灯光面积属性指标^[7];数据 2 是平均灯光强度属性指标^[7];数据 3 是城市灯光亮度总值(Total Night Light Index, TNLI),算式为

$$TNLI = \sum_{i=1}^{\max} (DN_i \cdot n_i) \tag{1}$$

式中, TNLI 为城市灯光亮度总值; DN_i 为区域

内第 i 级像元灰度值; n_i 为区域内该灰度级像元总数,灰度取值从 1 到区域最大值 DN_{\max} ($DN_{\max} \leq 63$)。数据 4 即卓莉^[17]提出的复合夜间灯光数据 (CNLI),误差像元阈值为 4,灰度取值从 4 到区域最大值 DN_{\max} 。从 2008 年相关分析结果可知,灯光强度属性指标与统计数据的相关性最好,除市辖区人口密度外,与其他 7 项指标都呈显著相关或极显著相关;而 CNLI 与市辖区人口密度 (人/ km^2) 和非农业人口占总人口比重 (%) 两项指标的相关性较差。因此,本文采用平均灯光强度属性指标作为基于 DMSP/OLS 的城市化水平指数。

2.2 灯光阈值的确定

城市建成区是城市化的重点区域,依赖于行政单元的统计数据,由于缺乏空间信息,往往难以满足大尺度的中国城市空间格局研究的需要^[2],通过遥感信息提取城市建成区空间形态是研究前提。灯光阈值 (DN_T) 的确定是应用灯光数据研究城市化空间形态的关键。阈值的确定方法包括经验法^[17]、突变检测方法^[19]和基于辅助资料的空间比较法^[10]等。其中,空间比较法的应用最为广泛,如 Imhoff^[19] 对在美国以及 Small^[20] 对全球 17 个城市的研究,基本思路是利用相关辅助数据,来帮助确定最佳阈值,进而从 DMSP/OLS 数据中提取城市空间信息^[21]。本文采用空间比较法中的二分法来确定灯光阈值,提取各市市辖区建设用地面积,具体如图 1 所示^[22]。

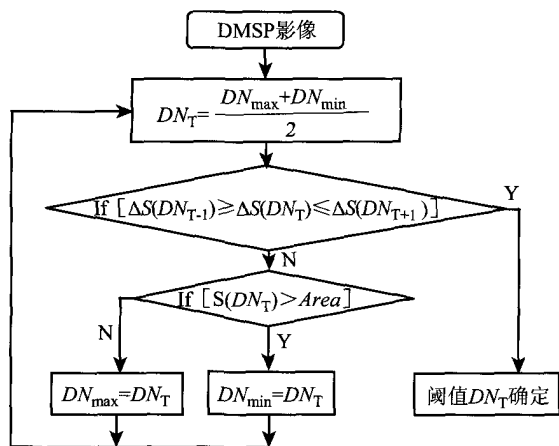


图 1 城市灯光阈值确定流程^[16]

Fig. 1 Procedure for threshold value determination

图 1 中, DN_T 为夜间灯光数据的阈值; $S(DN_T)$ 为统计阈值内的灯光斑块面积; $\Delta S(DN_T)$ 为 $S(DN_T)$ 与各市市辖区建设用地面积 ($Area$) 的差值绝对值; DN_{\max} 、 DN_{\min} 分别为阈值的最大、最小值。 $\Delta S(DN_{T-1})$ 、 $\Delta S(DN_{T+1})$ 分别为阈值 DN_{T-1} 、 DN_{T+1} 时的面积与建设用地面积之差的绝对值; $If[\Delta S(DN_{T-1}) \geq \Delta S(DN_T) \leq \Delta S(DN_{T+1})]$ 表示阈值为 DN_T 时的面积与建设用地面积之差绝对值最小。

2008 年长三角各市市辖区建设用地面积的提取结果表明,除常州、苏州和杭州三市外,各城市提取误差基本在 7% 之内,平均误差为 0.52%。如表 2 所示。

表 2 基于 DMSP/OLS 数据的长三角城市群空间信息提取结果 (2008 年)

Tab. 2 Extracted spatial information in the Yangtze Delta with the DMSP/OLS data in 2008

城市	基于统计数据的市辖区建设用地面积/ km^2	基于灯光数据阈值提取的市辖区建设用地面积/ km^2	阈值	相对误差/%
南京市	597	563.19	56	-5.66
镇江市	98	95.21	53	-2.85
常州市	121	163.00	61	34.71
扬州市	83	80.32	59	-3.23
无锡市	195	196.00	62	0.51
泰州市	70	71.00	51	1.43
苏州市	318	264.00	62	-16.98
南通市	14	15.00	56	7.14
湖州市	71	73.49	54	3.51
嘉兴市	77	73.75	57	-4.22
杭州市	333.8	268.99	60	-19.42
绍兴市	86	91.59	56	6.50
宁波市	277	279.20	56	0.79
舟山市	50	49.49	49	-1.02
台州市	138	141.00	52	2.17
上海市	2 429	2 506.52	56	3.19
总计	4 957.8	4 931.75		0.52

常州、苏州和杭州三市信息提取误差偏大是因为受到市辖区范围内大面积水域的影响所致。2008 年长三角地区城市群灯光数据提取阈值为各区域最大灰度值的 86% ~ 98%, 均值为 93%。1998 年和 2008 年提取阈值的分布范围分别是 37% ~ 94% 和 54% ~ 94%, 均值分别是 76% 和 84%, 如表 3 所示。

表 3 基于 DMSP/OLS 数据的长三角城市群空间信息提取阈值 (DN_T)^①

Tab. 3 Threshold value for spatial information extraction in the Yangtze Delta with the DMSP/OLS data

城市	1998 年			2003			2008 年		
	最大值	阈值	% ^①	最大值	阈值	%	最大值	阈值	%
南京市	63	56	0.89	63	50	0.79	63	56	0.89
镇江市	59	38	0.64	59	45	0.76	58	53	0.91
常州市	61	49	0.80	61	57	0.93	62	61	0.98
扬州市	59	50	0.85	62	57	0.92	61	59	0.97

(续表)

城市	1998 年			2003			2008 年		
	最大值	阈值	%	最大值	阈值	%	最大值	阈值	%
无锡市	61	55	0.90	61	56	0.92	63	62	0.98
泰州市	59	49	0.83	59	55	0.93	59	51	0.86
苏州市	60	55	0.92	61	57	0.93	63	62	0.98
南通市	59	45	0.76	60	50	0.83	62	56	0.90
湖州市	56	27	0.48	59	47	0.80	59	54	0.93
嘉兴市	58	41	0.71	59	47	0.80	61	57	0.93
杭州市	62	54	0.87	61	52	0.85	63	60	0.95
绍兴市	53	41	0.77	59	51	0.86	59	56	0.95
宁波市	60	53	0.88	62	58	0.94	60	56	0.93
舟山市	49	18	0.37	57	31	0.54	55	49	0.89
台州市	50	29	0.58	61	47	0.77	60	52	0.87
上海市	63	59	0.94	63	51	0.81	63	56	0.89

① % 表示阈值占最大值的百分比。

3 结果与分析

图 2 是长三角各主要城市及其行政辖区的夜间灯光数据图,亮度区域呈现“Z”型的空间形态,分别连接南京、镇江、常州、无锡、苏州、上海、嘉兴、杭州、绍兴和宁波等主要城市,这些城市的社会经济关联密切,具有城市群的典型特征,这 10 个城市也是长三角城市群的核心城市。



图 2 2008 年长三角城市群夜间灯光 ($DN \geq 1$)
Fig.2 City night light of Yangtze Delta with the DMSP/OLS data in 2008 ($DN \geq 1$)

3.1 城市群城市化空间模式

从空间和景观的角度出发,城市化过程可以理

解为城市用地在空间上通过占有非城市用地而实现扩展的过程。如果通过 DMSP/OLS 数据来反映,则体现为空间活动强度的不断增加。城市群地区的城市化过程可以概括为面状、线状和点状 3 种模式:面状模式是城市单元在城市聚集效应下围绕原有中心向外扩展;线状模式是城市单元在不同等级的中心之间沿交通廊道扩展;点状城市化模式是中心和廊道之外新中心的出现,即区域出现新的增长点^[23]。为揭示城市化动态,绘制了 1998~2008 年长三角城市群辖区建设用地扩张图(图 3), DN_T 取 18,和阈值下限(1998 年,舟山)一致。

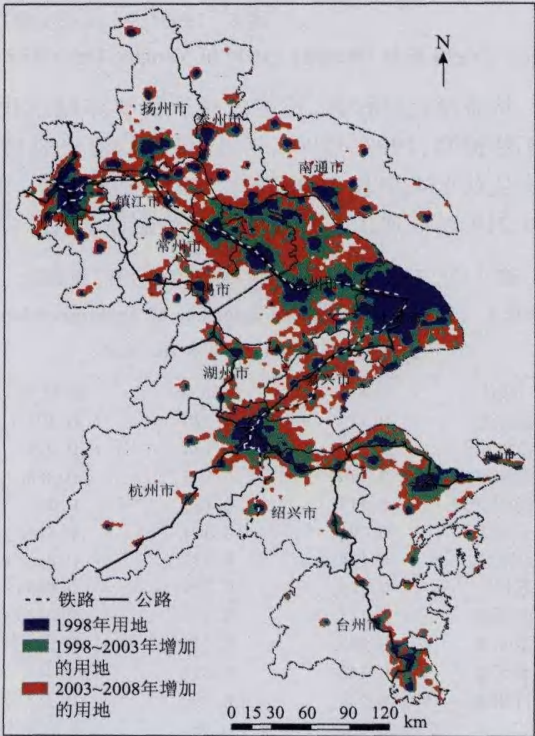


图 3 1998~2008 年长三角城市群市辖区建设用地扩张图 ($DN_T \geq 18$)

Fig.3 Expansion of construction land in Yangtze Delta with the DMSP/OLS data from 1998 to 2008 ($DN_T \geq 18$)

由图 3 可知,1998~2008 年间,研究区内所有城市都表现出以主城区为中心的面状发展模式,导致镇江—常州—无锡—苏州—上海的市辖区建设用地成片扩展;上海—嘉兴—杭州、杭州—绍兴—宁波、南京—镇江、无锡—苏州—湖州—杭州一带表现为线状模式,主要依托铁路(沪杭、沪宁)和公路(沪杭、沪宁、杭甬、宁杭)组成交通干线网络并连接各核心城市;点状模式十分普遍,在非核心城市如扬州、泰州、南通和泰州表现得较为显著,但在面状扩

展和线状扩展占主导的区域不显著。

3.2 城市群城市化过程分析

鉴于平均灯光强度属性指标和反映城市化的统计数据间呈显著相关关系,且计算简便,本文采用其作为分析长三角城市化过程的指数。由 1998~2003 年各城市平均灯光强度空间分布图(图 4)可以看出,长三角城市群的城市化水平存在着较大的区域内部差异,其基本态势是以上海市为中心,城市化水平向外围逐渐递减。

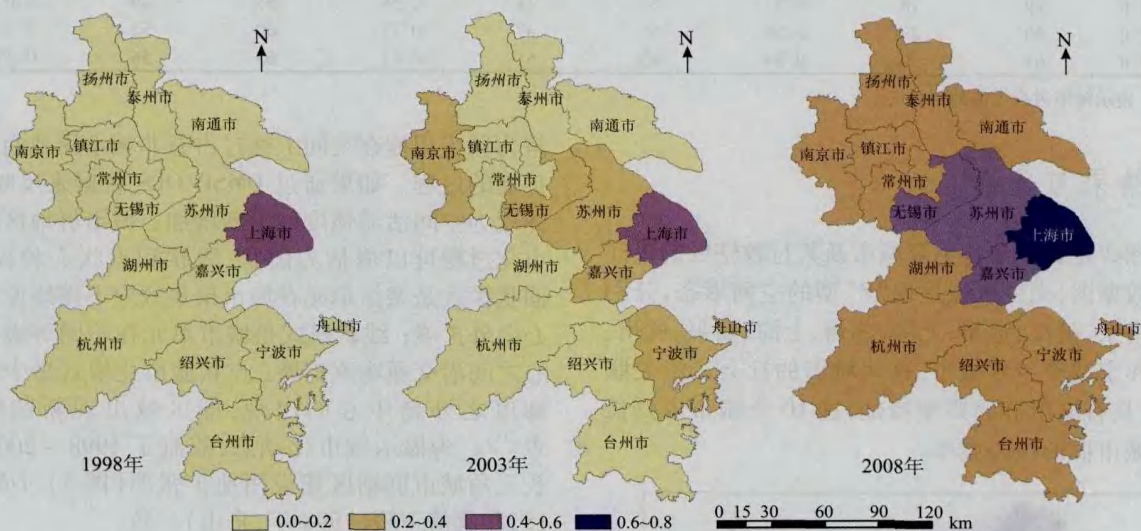


图 4 1998(左)、2003(中)及 2008(右)年长三角城市群灯光强度

Fig.4 Night light intensity grade in Yangtze Delta with the DMSP/OLS data from 1998(left)、2003(middle) to 2008(right)

从城市化过程看,长三角城市群整体城市化水平不断提高,1998~2003 年,区域平均灯光强度的均值从 0.154 增长到 0.219;2003~2008 年,均值由 0.219 增长到 0.347,属于加速发展阶段(表 4)。

表 4 长三角城市群 1998~2003 年平均灯光强度

Tab.4 Average night light intensity of agglomerations Yangtze Delta from 1998 to 2008

城市	1998 年	2003 年	2008 年
南京市	0.179	0.220	0.324
镇江市	0.132	0.174	0.297
常州市	0.140	0.193	0.368
扬州市	0.113	0.135	0.233
无锡市	0.191	0.304	0.514
泰州市	0.114	0.133	0.245
苏州市	0.183	0.329	0.546
南通市	0.111	0.118	0.242
湖州市	0.095	0.146	0.221
嘉兴市	0.142	0.221	0.417
杭州市	0.146	0.190	0.288
绍兴市	0.107	0.161	0.224
宁波市	0.130	0.222	0.319
舟山市	0.129	0.219	0.334
台州市	0.109	0.156	0.218
上海市	0.450	0.582	0.759
平均	0.154	0.219	0.347

在区域整体城市化水平提升的同时,区域内部的差距也逐渐减小,平均灯光强度的变差系数由 1998 年的 0.543 减小到 2003 年的 0.517,到 2008 年,减小到 0.429。

由于 TNLI 和社会、经济、土地等统计数据相关性也较好,本文也分析了 TNLI 的时空变化。1998、2003 和 2008 年, TNLI 的均值分别为 43 466、62 066 和 89 513,变差系数依次为 0.646、0.615 和 0.540, TNLI 变化趋势与平均灯光强度相似,变动幅度稍有差异。

3.3 城市群用地扩展类型

基于 DMSP/OLS 数据特点,像元灯光强度随时间的变化在一定程度上可以反映其所在区域开发利用强度的变化过程,因此可以根据城市像元灯光强度的时间变化特征来识别不同的城市用地主导扩展类型^[24]。基本思路是:

当 $DN_{T,1998} \leq DN_{T,2003} \leq DN_{T,2008}$ 时,为填充增强主导扩展类型;当 $DN_{T,1998} \geq DN_{T,2003}$ 或当 $DN_{T,2003} \geq DN_{T,2008}$ 时,为外延主导扩展类型,依据其阶段性特征,可以细分为填充增强-外延主导扩展类型、外

延-填充增强主导扩展类型、外延持续主导扩展类型等。根据表3的计算结果可知,在1998~2003年间的长三角城市群中,镇江、常州、扬州、无锡、苏州、南通、湖州、嘉兴、绍兴、舟山和台州市属于填充增强主导扩展类型;南京、杭州和上海属于外延-填充增强主导扩展类型;泰州和宁波属于填充增强-外延主导扩展类型。1998年,南京、杭州和上海的市辖区建设用地面积分别为179、169和550 km²,2003年快速增长到499 km²、336 km²和1 825 km²,增长倍数分别为2.8、2.0和3.3,增速分别为64 km²/a、33.4 km²/a和255 km²/a,而同期其他城市增速多在10 km²/a以内。但在2003~2008年间,这3个城市市辖区的建设用地增长放缓,南京和上海的年均增速分别为19.6 km²/a和120.8 km²/a,杭州市基本持平(表3的DN_T值也较好地体现了这种趋势)。由于建设用地在前一阶段增长过快,3个城市的城市化过程更多表现为以外延扩展为主,在第二阶段转变为填充增强的类型。泰州和宁波则相反,1998~2003年其市辖区建设用地扩展速度分别为1.8 km²/a和9.2 km²/a,2003~2008年市辖区建设用地扩展速度加快,分别为5.4 km²/a和33.4 km²/a,超出前一阶段两倍,因此属于填充增强-外延主导扩展类型。

4 结论

(1)DMSP/OLS夜间灯光数据值反映了人类空间活动的强弱,可以根据这一特点区分城市和乡村;夜间灯光数据适宜于大尺度城市化进程动态监测和区域开发利用强度研究。

(2)采用平均灯光强度作为城市化水平的表征,分析长三角城市群的城市化水平空间分异,这一指标与其他灯光指数相比,不仅排除了城市建成区面积的不利影响,计算也更为简便。

(3)应用夜间灯光数据可以解释人类活动强度,通过分析数据的变化,了解城市扩张过程中开发利用的强度,为城市土地集约利用和城市管理提供参考,这也是灯光数据区别于传统遥感数据的优势。

(4)1998~2008年期间,长三角地区城市群灯光数据提取阈值可与平均灯光强度指标相对应,阈值均值的增加表明区域整体城市化水平不断提升,阈值变幅缩小表明城市化水平的区域内部差距变小。

(5)在不同区域和尺度的研究中,灯光数据阈值往往差别较大,这可能与研究尺度和研究区域城市化水平的差异有关。本文对长三角城市群的研究符合这一推断,但其有效性仍有待今后进一步探讨。

参考文献:

- [1] Charles T. An Urban World[M]. Boston: Little Brown and Company, 1974.
- [2] 许学强,周一星,宁越敏. 城市地理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997.
- [3] 姚士谋,朱英明,陈振光,等. 中国的城市群[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001.
- [4] Glaeser E L. Are Cities Dying[J]. The Journal of Economic Perspectives, 1998, 12(2): 139-160.
- [5] Grant U. Opportunity and Exploitation in Urban Labour Markets[M]. London: Overseas Development Institute, 2008.
- [6] Park H S. Variations in the Urban Heat Island Intensity Affected by Geographical Environments[D]. Tsukuba Japan: The University of Tsukuba, 1987.
- [7] 陈晋,卓莉,史培军,等. 基于DMSP/OLS数据的中国城市化过程研究——反映区域城市化水平的灯光指数的构建[J]. 遥感学报, 2003, 7(3): 168-175.
- [8] 陈述彭,周成虎,曾杉. 我国城市化问题与城市信息系统的紧迫任务[M]. 香港: 地球信息科学联合实验室出版社, 1998.
- [9] Croft T A. Burning Waste Gas in Oil Fields[J]. Nature, 1973, 245: 375-376.
- [10] Sutton P. Modeling Population Density with Night-Time Satellite Imagery and GIS[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 1997, 21(3/4): 227-244.
- [11] Elvidge C D, Baugh K E, Kihn E A. Relation Between Satellite Observed Visible-near Infrared Emissions, Population, Economic Activity and Electric Power Consumption[J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(6): 1373.
- [12] Amaral S, Câmara G, Monteiro A M V, et al. Estimating Population and Energy Consumption in Brazilian Amazonia Using DMSP Night-time Satellite Data[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2005, 29(2): 179-195.
- [13] Gallo K P, Tarpley J D, McNab A L, et al. Assessment of Urban Heat Islands: A Satellite Perspective[J]. Atmospheric Research, 1995, 37(1/3): 37-43.
- [14] 卓莉,李强,史培军,等. 20世纪90年代中国城市用地外延扩展特征分析[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2007(3): 98-102.
- [15] 李景刚,何春阳,史培军,等. 基于DMSP/OLS灯光数据的快速城市化过程的生态效应评价研究——以环渤海城市群地区为例[J]. 遥感学报, 2007, 11(1): 115-126.
- [16] 曹丽琴,李平湘,张良培. 基于DMSP/OLS夜间灯光数据的城市人口估算——以湖北省各县市为例[J]. 遥感信息, 2009(1): 83-87.
- [17] 卓莉,史培军,陈晋,等. 20世纪90年代中国城市时空变化特征——基于灯光指数CNLI方法的探讨[J]. 地理学报, 2003(6): 893-902.
- [18] Gottmann J. Megalopolis or the Urbanization of the Northeastern Seaboard[J]. Economic Geography, 1957, 33(3): 189-200.
- [19] Imhoff M L, Lawrence W T, Stutzer D C, et al. A Technique for Using Composite DMSP/OLS "City Lights" Satellite Data to Map Urban Area[J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 61(3): 361-370.
- [20] 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(3/4): 277 - 291.
- [21] 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.
- [22] 卓 莉, 陈 晋, 史培军, 等. 基于夜间灯光数据的中国人口密度模拟[J]. 地理学报, 2005, 60(2): 266 - 276.
- [23] 何春阳, 李景刚, 陈 晋, 等. 基于夜间灯光数据的环渤海地区城市化过程[J]. 地理学报, 2005, 60(3): 409 - 417.
- [24] 卓 莉, 李 强, 史培军, 等. 基于夜间灯光数据的中国城市用地扩展类型[J]. 地理学报, 2006, 61(2): 169 - 178.

Pattern and Process of Urbanization in the Yangtze Delta Based on DMSP/OLS Data

XU Meng - jie, CHEN Li, LIU Huan - jin, WANG Hui

(College of Public Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The lighted area, night light intensity, compounded night light index (CNLI) and total night light index (TNLI) of 16 cities in the Yangtze Delta were derived from the DMSP/OLS night light data in 2008, and their correlations with urbanization statistics were calculated respectively. Of these factors, the night light intensity proved to be an effective indicator for assessing the urbanization level. Construction land information of urban agglomerations in 1998, 2003 and 2008 was also extracted from DMSP/OLS night light data after the determination of the threshold value. Then the pattern and process of urbanization in the Yangtze Delta were analyzed and the expansion process of buildup area was categorized into several types. During the study period, urban agglomerations in the Yangtze Delta had three typical spatial expansion modes, of which the polygon mode could be observed in all the cities, the linear mode exists along main highways and railways, and the point mode occurs mainly around the less important cities. In spite of the imbalance of urbanization level within the study area, the regional differentiation was lessened gradually. According to the variation of the threshold value from 1998 to 2008, 11 cities, namely Zhenjiang, Changzhou, Yangzhou, Wuxi, Suzhou, Nantong, Huzhou, Jiaxing, Shaoxing, Zhoushan and Taizhou, belonged to the filling - in dominant type, Nanjing, Hangzhou and Shanghai belonged to the first - extension - then - filling - in dominant type, and Taizhou and Ningbo belonged to the first - filling - in - then - extension dominant type.

Key words: DMSP/OLS; Night light data; Yangtze delta; Urbanization

第一作者简介: 徐梦洁(1973 -), 女, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为土地评价、区域经济。

(责任编辑: 刁淑娟)