

文章编号: 1007-4619 (2003) 03-0168-08

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

陈 晋^{1,2}, 卓 莉¹, 史培军^{1,2}, 一之濑 俊明²

(1 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875;

2 日本国立环境研究所, 日本国茨城县筑波市小野川 16-2, 筑波市 305-0053)

摘 要: 基于 DMSP/OLS 非辐射定标的夜间灯光平均强度数据构建了一个反映区域城市化水平的灯光指数, 并分析了该灯光指数与城市化水平在省级尺度上的相关性。研究表明, 灯光指数与反映城市化水平的复合指数存在较高的相关关系, 可以用于我国城市化水平及其时空分异分析和城市化进程监测。

关键词: DMSP/OLS 数据; 区域城市化水平; 灯光指数; 省级尺度

中图分类号: TP79 文献标识码: A

1 引 言

伴随着我国社会经济的高速发展和产业结构的调整, 城市化正在我国迅猛发展。1980—2000 年的 20 年间, 城市人口占总人口的比重已从 9.2% 增长到 19%^[1]。而且据估计, 到 2010 年我国城市人口占总人口的比重将从目前的 19% 增至 39%, 到 2050 年将可能增至 49%, 即 16 亿人口中近半数将集中在城市区域^[2]。城市化进程及其由此带来的环境问题将成为影响我国社会经济可持续发展的焦点问题之一, 为促使城市化进程与社会经济的协调发展, 最大限度地抑制其可能产生的负面影响, 有必要及时宏观地把握城市化的发展现状, 并深入解析城市化进程的内在机制。

城市化是一个涉及经济、社会、人口、地域空间等诸多方面的复杂过程, 因此, 社会学、经济学、人口学、城市规划学及地理学等相关学科都从各自的认识角度对城市化进行了定义^[3-9]。由于对城市化概念理解的不一, 使得各学科对城市化过程进行测度的指标和方法差异较大^[6-10]。综合各方面的研究成果, 目前测度城市化水平的方法主要有两种, 即主要指标法和复合指标法。主要指标法是选择对城市化表征意义最强的, 又便于统计的个别指标, 来描述

城市化达到的水平。这种指标主要有人口和土地利用比例指标。复合指标法是选用与城市化有关的多种指标予以综合, 以表征城市化的水平。从目前的研究情况看, 无论是主要指标还是复合指标在量度城市化水平时都存在着许多问题。对于前者, 各国各地区对城市以及城市人口的定义存在着很大的差异, 特别是我国对城镇人口的定义变动很大, 概念不够准确, 造成不同年份, 不同地区之间可比性差。另外, 单一指标也不能反映出城市化的其它性质和发展的总体规模。对于后者, 从理论上讲这一方法可以克服主要指标法的不全面性, 能够更好地揭示城市化的复杂特性。然而, 由于研究重点、尺度及对象区域等的不同, 目前大多数的复合指标都具有很强的学科性和地域性, 缺乏一定的通用性, 使得复合指标法多局限于具体城市地域, 而无法进行国际间的比较分析^[3]。此外, 我国现有的城市化水平测度指标都基于统计数据, 由于数据获取的滞后性和统计工作中存在的不确定因素, 使得测度指标在可比性、可信度、及时性方面都存在着不足。因此, 构建一个能够综合、全面地刻画城市化发展及其特性, 并能够快速获取且具有较高可比性的城市化水平测度指标已成为迫切需要解决的问题。航天遥感技术的发展为满足上述需要提供了技术的可能性。

遥感技术应用于城市化研究在我国已有较长的

收稿日期: 2002-01-18; 修订日期: 2002-04-15

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G2000018604)

作者简介: 陈晋(1967—), 男, 四川西昌人, 副教授, 工学博士, 现主要从事遥感、GIS 应用研究, 已在国内外公开发表论文 20 余篇。

历史^[11,12],但主要集中在小尺度的城市土地利用分类、变化提取和空间扩展监测等方面^[13-20];而对大区域乃至整个全国的城市化遥感研究相对较少。这可能主要是由于缺乏适合较大空间尺度的城市化研究的遥感数据所造成的。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化研究提供了一种新的数据手段。DMSP/OLS 有别于利用地物对太阳光的反射辐射特征进行监测的 LANDSAT TM, SPOT HRV 和 NOAA AVHRR 传感器,该传感器可在夜间工作,能够探测到城市灯光甚至小规模居民地、车流等发出的低强度灯光,使之明显区别于黑暗的乡村背景,其与 AVHRR 相当的空间和时间分辨率,比较适合城市化进程的动态监测,国外许多学者已成功地将 DMSP/OLS 数据应用于城市研究。例如,Sutton 等人利用 1994—1995 年间的稳定灯光产品^[21],估算人口密度^[22];Imhoff 等用它估计城市面积和城市扩张对土壤资源的影响^[23,24];Gallo 等用夜间灯光数据评价了热岛效应对气象记录的影响^[25];Elvidge 等发现了各国家的灯光面积与国内生产总值(GDP)高度相关性^[26,27];Lo^[28]尝试建立了基于辐射定标夜间灯光强度数据的中国人口估算模型。而国内缺乏这种数据,相应的研究也比较薄弱。

本文重点介绍 DMSP/OLS 非辐射定标夜间灯光平均强度数据的处理流程,利用 DMSP/OLS 非辐射定标夜间灯光平均强度数据的特点,挖掘数据信息,构建了一个综合、全面反映区域城市化水平,具有较高可比性的灯光指数,并验证了这一指数的在省级尺度上的可靠性,该指数在地区、县级尺度上适用性的验证及分析和以此为基础的我国城市化强度及其时空分异的分析将在后续论文中给出。

2 DMSP/OLS 数据及预处理

DMSP 卫星上搭载 OLS 传感器始于 1976 年 9 月发射的 DMSP Block 5D-1 satellite F-1,目前使用中的 DMSP 卫星系统(F-12, F-13, F-14)均搭载了 OLS 传感器。该传感器有两个通道:1)可见光、近红外通道(VNIR, 0.4—1.0 μm ,光谱分辨率为 6-bit);2)热红外通道(TIR, 10—13 μm ,光谱分辨率为 8-bit),其获取图像的幅宽为 3000km,全分辨率数据(Full Resolution)的空间分辨率为 0.56km。卫星以一天 14 轨的速度飞行,每一个 OLS 传感器每天都能获取覆盖全球的黑夜和白天的图像。整个卫星系统一天能提供全球

4 个时段的观测数据:黎明,白天,黄昏和夜晚。设计这种传感器最初的目的是观测夜间月光照射下的云,因而具有较高的增益,这种高增益性能使 OLS 传感器不仅能监测云还能探测城镇灯光、火光、渔船灯光等发出的电磁波。

1992 年,美国空军和 NOAA 为 DMSP 数据在国家地理数据中心(NGDC: National Geophysical Data Center)建立了数字格式的文档。随后开发了相应的程序来识别和定位夜间 OLS 图像数据^[29]。NGDC 的早期 OLS 数据主要是基于低光数据(月光微弱条件下获取的数据)的稳定灯光数据产品(Stable Light Data),记录了一定时段内无云观测情况下灯光被探测到的频率。该产品虽然排除了亮云和水体的影响,但仅记录了各像元灯光出现的频率,缺乏灯光强度信息。于是 NGDC 在 1996—1997 年间(1996 年 3 月 16 日—3 月 24 日,1997 年 1 月 5 日—1 月 14 日,1997 年 2 月 3 日—2 月 12 日)对夜间灯光数据进行了辐射标定实验,得到的数据产品称为辐射定标夜间灯光强度数据(Radiance-calibrated Low-light Data)。该数据产品考虑了 VNIR 通道在高增益下,城市中心区域灯光数据饱和的问题,对增益进行了人为控制,然后对不同增益下的数据作平均化处理,最后得到 VNIR 通道辐射值的范围为 $1.54 \times 10^{-9} - 3.17 \times 10^{-7} \text{W/cm}^2 \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ 。由于该数据产品在获取数据时需要关掉星载跟踪扫描放大控制器(AS-GC)和 BRDF 放大倍数自动修正功能来实现对放大增益的人为控制,因此该类数据产品目前只有 1996—1997 年的实验产品(详细资料请参阅 Elvidge, 1999 论文^[30])。

本次研究使用的 OLS 数据产品来自日本国立环境研究所,该数据产品是介于上述两类产品之间的新数据产品,被称作非辐射定标的夜间灯光平均强度数据产品。它是由日本国立环境研究所和东京大学在 NGDC 的 DMSP/OLS 研究小组协助下,借鉴 1996—1997 年间夜间灯光数据辐射标定实验工作的经验,针对亚洲地区的特点开发的。根据 DMSP/OLS 的物理设计,在正常操作状态下,OLS 的增益会随着背景照度的变化进行自动调整,背景照度的变化依据月球运转周期以及月球的高度来预测。最低的放大倍数出现在满月时,这时的图像非常类似于白天可见光波段的图像。随着月光照度的减小,放大倍数逐渐增大,在每一个月亮周期中月光最暗的晚上,增益系数调到最大值(约 60dB)。对多时相不同增益下的 VNIR 通道数据(MoonLight50%以下的低

光数据)做平均化处理即可得到城市灯光强度分布。该方法虽然不可能获取充分满足要求的低倍增益数据,不可避免地存在大城市中心区域灯光数据饱和的问题,但由于亚洲地区(日本除外)城市发展水平低于北美地区,所以该近似方法带来的饱和问题并不显著。与 1996—1997 年的辐射定标夜间灯光强度数据的获取方法相比,该近似方法不需要对放大增益进行人为控制,因而可以充分利用现有数据储备进行多年度时间序列制图,为城市化的强度及其时空分异分析提供了条件。

日本国立环境研究所的非辐射定标夜间灯光平均强度数据产品主要利用了 1992 年(DMSP F10 卫星)、1996 年、1998 年(DMSP F12 卫星)各年度 9—11 月 MoonLight50% 以下的多时相 OLS 数据,按图 1 所示的数据预处理流程得到。其中,夜间灯光的提取

使用 Elvidge 等开发的程序自动完成,该程序根据背景亮度值设定局地阈值来识别夜间灯光^[29,30];VNIR 通道数据的消云处理则利用了热红外通道阈值法(云的温度比地表温度低);而偶然噪声(油气燃烧、火光、闪电等)则通过设定最少被观测到的发光次数阈值的方法来滤除(偶然噪声通常是那些被观测到发光次数较少的像元)。在消除了云及火光等偶然噪声影响后,在有效观测期间内(各年 9—11 月 MoonLight50% 以下观测日),确定 VNIR 通道数据中各像元无云观测的次数及其对应的灰度值(DN),并按下式分别计算各像元灰度平均值($DN_{average}$)得到最终数据产品。亚洲地区 1992 年、1996 年、1998 年的最终数据产品见图 2(图版 I),我们从最终数据产品中提取的中国部分(投影转换为 ALBERT 等面积圆锥投影)如图 3 所示。

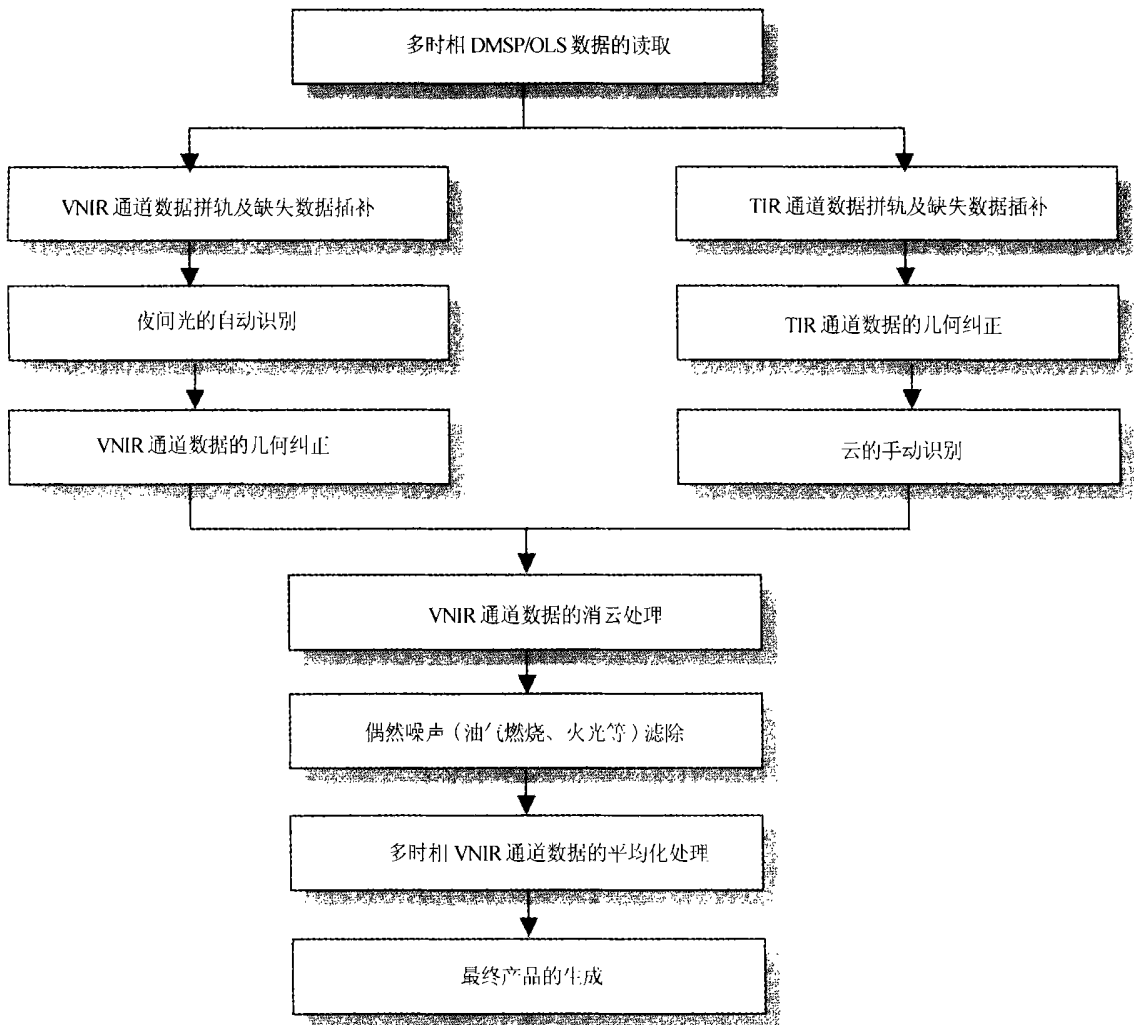


图 1 非辐射定标夜间灯光平均强度数据的预处理

Fig. 1 Flowchart for Non-radiance-calibrated average light intensity data pre-processing

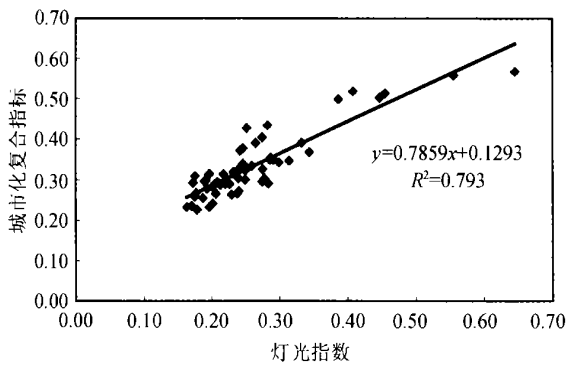


图3 基于灯光指数的城市化复合指标估算模型
Fig. 3 The regression model for composite urbanization index estimation using light index

$$DN_{average} = \frac{\sum_{t=1}^N DN_t}{N} \quad (1)$$

式中 N 为各像元无云观测的次数。

3 反映区域城市化水平的灯光指数构建

城市化水平是人口、产业结构、地域空间等方面城市化的综合反映;而DMSP/OLS夜间灯光平均强度正是这些因素相互作用结果的综合体现,因此,选用DMSP/OLS夜间灯光平均强度来分析评价城市化水平是比较恰当的。

3.1 反映区域城市化水平的灯光指数的定义

基于上述考虑,本文从区域夜间灯光分布的两方面属性来构建反映其城市化水平的灯光指数(L_j):(1)区域平均灯光强度属性;(2)区域灯光面积属性。两方面的属性通过下述指标予以定义和计算,然后用线性加权综合为灯光指数(L_j),为了去除量纲差异的影响和便于进行年度间比较,两属性指标都定义为相对数值。

$$L_j = I_j \times W_1 + S_j \times W_2 \quad (2)$$

式中, L_j 为区域 j 的灯光指数, I_j 和 S_j 分别为区域 j 平均灯光强度指标和灯光面积指标, W_1 、 W_2 为其权重,通过3.3的相关分析确定。

区域平均灯光强度指标 I_j (区域 j)定义为:

$$I_j = \frac{\sum_{i=1}^{63} DN_i \times \frac{n_i}{N \times 63}}{63} \quad (3)$$

式中 DN_i 为区域内第 i 等级的灰度值。 n_i 为区域内第 i 灰度等级的像元总数。 N 为区域内所有灯光像元总数($63 \geq DN \geq 1$),63为最大灰度等级。 I_j 表征

了相对于最大可能灯光强度的比例关系。

区域灯光面积指标 S_j 定义为:区域内所有灯光像元的总面积($63 \geq DN \geq 1$ 像元之面积)占整个区域面积($63 \geq DN \geq 0$ 像元之面积)的比例,反映了灯光的空间延展特性。

$$S_j = \frac{Area_N}{Area} \quad (4)$$

式中 $Area_N$ 为区域内所有灯光像元的总面积, $Area$ 为整个区域面积。

3.2 基于统计数据的城市化复合指标

为了评价灯光指数是否反映了区域的城市化水平,本研究参考曾鸿程,孙育秋等人的方案^[7],选取了3个反映城市化水平的主要因子按下式计算城市化复合指标,3个因子分别为:非农业人口占总人口的比重;第二、三产业产值占国内生产总值的比重;建成区面积占整个区域面积的比例。各因子为等权重。

$$C_j = \sum_{i=1}^3 W_i \times X_i \quad (5)$$

其中: C_j 为区域 j 的城市化水平复合指数; W_i 为第 i 种城市化因子的权重; X_i 为选取的城市化因子。

3.3 省级尺度上灯光指数与城市化复合指标的相关分析

为了进行省级尺度上灯光指数与城市化水平复合指标的相关分析,需要先计算各省、直辖市的灯光指数 L_j 和城市化水平复合指数 C_j , C_j 以中国城市统计年鉴数据和中国经济年鉴数据^[1,31,32]为基础按(5)式计算得到,灯光指数 L_j 按以下步骤计算:首先将非辐射定标的夜间灯光平均强度数据产品投影变换为兰勃特等面积方位投影,然后将相同投影方式的省级行政边界图转换成像元大小与之相匹配的栅格格式,并与夜间灯光平均强度数据进行叠置分析(Overlay)。以此为基础按(4)、(5)式分别计算各省、直辖市的平均灯光强度指标 I_j 和灯光面积指标 S_j 。由于我们没有先验平均灯光强度指标 I_j 和灯光面积指标 S_j 的相对重要性评价,(1)式中的权重按表1的组合给出,根据(1)式和表1的权重我们分别计算了1992年、1996年、1998年各省、直辖市的灯光指数 L_j 。在此基础上进行了省级尺度上灯光指数与城市化水平复合指标的相关分析,其结果见表1所示(由于统计数据的不可比性,台湾、香港、澳门未列入分析,西藏缺统计数据)。我们发现,这三年的灯光指数与城市化水平复合指标之间都有显著相关性,这说明灯光指数能够较好地反映区域的城市化水平。此外,在表1中,对于

表 1 省级尺度上灯光指数与城市化水平复合指标的
相关分析(表中值为相关系数)

Table 1 The correlation analysis between light
index and composite urbanization index

权重组合	1992年	1996年	1998年
$W_1=0.1, W_2=0.9$	0.823	0.855	0.869
$W_1=0.2, W_2=0.8$	0.830	0.861	0.872
$W_1=0.3, W_2=0.7$	0.838	0.867	0.875
$W_1=0.4, W_2=0.6$	0.848	0.873	0.877
$W_1=0.5, W_2=0.5$	0.858	0.880	0.878
$W_1=0.6, W_2=0.4$	0.870	0.887	0.878
$W_1=0.7, W_2=0.3$	0.882	0.893	0.875
$W_1=0.8, W_2=0.2$	0.897	0.896	0.869
$W_1=0.9, W_2=0.1$	0.895	0.888	0.856
$W_1=1.0, W_2=0$	0.865	0.857	0.834

注:均通过 0.001 水平的显著性检验

1992年、1996年来说,当 $W_1=0.8, W_2=0.2$ 时,两指

标的相关最为显著,而对于 1998年,当 $W_1=0.6, W_2=0.4$ 或 $W_1=0.5, W_2=0.5$ 时,相关系数达到最大。通过综合考虑,省级尺度上灯光指数计算式中,权重最终确定为 0.8 和 0.2。

由于灯光指数与城市化水平复合指标之间显著相关,因此可以通过建立灯光指数与城市化水平复合指标的回归模型,直接利用 DMSP/OIS 数据估算城市化水平复合指标。表 2 给出了 1992年、1996年、1998年各省、直辖市的灯光指数 L_j (权重为 0.8 和 0.2) 和城市化水平复合指标 C_j (为了比较的连续性,在处理 1998年的数据时,仍然将重庆直辖市的数据归入四川省),以表 2 中 1992年、1996年数据为样本,1998年数据为检验值建立的估算模型如图 3 所示,1998年的估算结果及误差如表 3 所示。通过模型直接估算城市化水平复合指标总体精度可达到 86%,其中辽宁、黑龙江、青海、宁夏有所低估,而河北、吉林、江苏、安徽、山东、河南、广西、海南等省有明显高估的趋势。

表 2 1992年、1996年、1998年各省、直辖市的灯光指数和城市化水平复合指标

Table 2 The light index and composite urbanization index in 1992, 1996 and 1998

	1992年灯光指数 (0.8, 0.2)	1992年城市化 复合指标	1996年灯光指数 (0.8, 0.2)	1996年城市 化水平复合指标	1998年灯光指数 (0.8, 0.2)	1998年城市 化水平复合指标
北京	0.41	0.518	0.45	0.513	0.53	0.52
天津	0.39	0.498	0.45	0.503	0.51	0.51
河北	0.25	0.301	0.28	0.326	0.35	0.33
山西	0.26	0.335	0.29	0.350	0.33	0.34
内蒙古	0.22	0.291	0.24	0.305	0.25	0.28
辽宁	0.25	0.427	0.28	0.434	0.33	0.44
吉林	0.24	0.372	0.25	0.378	0.28	0.27
黑龙江	0.26	0.390	0.27	0.405	0.29	0.41
上海	0.56	0.557	0.65	0.567	0.67	0.57
江苏	0.30	0.343	0.34	0.368	0.44	0.38
浙江	0.23	0.318	0.29	0.350	0.35	0.36
安徽	0.24	0.267	0.28	0.291	0.34	0.30
福建	0.21	0.288	0.25	0.324	0.31	0.33
江西	0.19	0.255	0.20	0.285	0.26	0.29
山东	0.28	0.304	0.31	0.348	0.40	0.36
河南	0.24	0.273	0.27	0.296	0.37	0.30
湖北	0.21	0.295	0.25	0.340	0.31	0.34
湖南	0.18	0.260	0.20	0.290	0.27	0.31
广东	0.29	0.354	0.33	0.391	0.39	0.40
广西	0.18	0.226	0.21	0.267	0.27	0.27
海南	0.20	0.233	0.23	0.264	0.26	0.24
四川	0.18	0.268	0.23	0.291	0.27	0.30
贵州	0.17	0.236	0.20	0.242	0.24	0.26
云南	0.16	0.233	0.19	0.279	0.23	0.28
陕西	0.19	0.297	0.23	0.320	0.27	0.33
甘肃	0.17	0.293	0.21	0.290	0.24	0.29
青海	0.18	0.310	0.20	0.315	0.22	0.32
宁夏	0.20	0.315	0.24	0.329	0.25	0.35
新疆	0.19	0.300	0.22	0.314	0.25	0.28

表3 1998年的估算结果及误差分析

Table 3 The estimation of composite urbanization index in 1998 and error analysis

	1998年灯光指数 (0.8, 0.2)	1998年城市化水平 复合指标(实际值)	1998年城市化水平 复合指标(估算值)	误差/%
北京	0.53	0.52	0.55	3.97
天津	0.51	0.51	0.53	4.50
河北	0.35	0.33	0.41	21.32
山西	0.33	0.34	0.39	14.50
内蒙古	0.25	0.28	0.33	15.78
辽宁	0.33	0.44	0.39	-12.05
吉林	0.28	0.27	0.35	30.76
黑龙江	0.29	0.41	0.36	-12.72
上海	0.67	0.57	0.66	14.84
江苏	0.44	0.38	0.48	26.85
浙江	0.35	0.36	0.41	13.46
安徽	0.34	0.30	0.39	33.05
福建	0.31	0.33	0.37	12.26
江西	0.26	0.29	0.33	16.38
山东	0.40	0.36	0.44	23.68
河南	0.37	0.30	0.42	37.60
湖北	0.31	0.34	0.37	8.49
湖南	0.27	0.31	0.34	11.66
广东	0.39	0.40	0.44	10.69
广西	0.27	0.27	0.34	23.47
海南	0.26	0.24	0.33	40.04
四川	0.27	0.30	0.34	11.94
贵州	0.24	0.26	0.32	24.75
云南	0.23	0.28	0.31	11.34
陕西	0.27	0.33	0.34	3.94
甘肃	0.24	0.29	0.32	9.19
青海	0.22	0.32	0.30	-3.87
宁夏	0.25	0.35	0.32	-6.36
新疆	0.25	0.28	0.33	19.78

4 基于灯光指数的城市化过程分析

根据上述分析结果,我们认为可以直接利用灯光指数代替统计数据来分析中国城市化进程的特点,这是因为:灯光指数与城市化复合指标之间存在显著相关性,同时灯光指数克服了统计数据中包含的人为影响的问题,可以在较大区域上同时快速获取,具有较高的区域及年际可比性。由表2所示的1992年,1996年,1998年各省、直辖市的灯光指数及由此生成的灯光指数空间分布图(图4,图版I)可以看出:我国城市发展水平具有空间不平衡性,呈现出东高西低,逐渐减小的格局,尤其是上海、北京、天津三个直辖市以及广东、辽宁、江苏等省的城市化水平明显高于其他省市。从发展过程看,城市化整体水平在不断提高,从1992—1996,1996—1998年间,全

国灯光指数平均值从0.24提高到0.28,再提高到0.33;1996—1998年间城市化水平提高速度明显高于1992—1996年间。从各省1992—1996,1996—1998年间城市化发展来看,1992—1996年间,东部的北京、天津、上海、江苏、浙江、安徽、福建、广东等省市及西部的四川、宁夏发展最为迅速;而1996—1998年间发展迅速的省市却集中在东、中部省市,包括北京、天津、上海、江苏、浙江、安徽、福建、广东、辽宁、河北、山西、江西、山东、河南、湖北等省市,其中尤以江苏、山东为最。

5 结论

(1) 本文重点介绍了DMSP/OLS非辐射定标的夜间灯光平均强度数据产品及预处理流程。该数据产品是由日本国立环境研究所和东京大学在NGDC的DMSP/OLS研究小组协助下针对亚洲地区特点开发的新数据产品,是消除云及火光等偶然噪声影响后对多时相VNIR通道灰度值(DN)进行平均化处理后得到的多年度时间序列产品。适用于宏观尺度的城市化强度及其时空分异研究。

(2) 基于DMSP/OLS非辐射定标的夜间灯光平均强度数据构建了一个反映区域城市化水平的灯光指数,该指数考虑了区域平均灯光强度和灯光面积两方面属性特征。通过省级尺度上灯光指数与城市化水平复合指标的相关分析发现:灯光指数与城市化水平复合指标之间有显著相关性,灯光指数能够较好地反映区域的城市化水平。此外,本文还建立了直接利用DMSP/OLS灯光指数的城市化水平复合指标估算模型,其总体精度达到86%。

(3) 从基于灯光指数的我国1992—1998年城市化过程分析看:我国城市发展水平具有空间不平衡性,呈现出东高西低,逐渐减小的格局。1992—1996,1996—1998年间城市化整体水平在不断提高,1996—1998年间城市化水平提高速度明显高于1992—1996年间。其中尤以东、中部省市发展迅速。

致谢 本文所使用数据的预处理,得到了美国国家地理数据中心(NGDC)Elvidge博士及东京大学中野氏的帮助,特此致谢。

参考文献(References)

- [1] Urban Social and Economic Investigation Section, National Bureau of Statistics, People's Republic of China. 50 Years of China City

- (1949—1998) [M]. Xinhua press, 1999. [国家统计局城市社会经济调查总队.《中国城市五十年》[M]. 新华出版社, 1999年.]
- [2] Yan Zh *et al.* Urban Geographic Information System Standardization Guide [M]. Beijing: Science Press, 1998. [阎正等. 城市地理信息系统标准化指南 [M]. 北京: 科学出版社, 1998.]
- [3] Xu X Q, Zhou Y X, Ning Y M. Urban Geography [M]. Beijing: Higher Education Press, 1997. [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.]
- [4] Yao Sh M. Metropolis Spatial Expanding in China [M]. University of Science & Technology of China Press, Hefei: 7—10. [姚士谋. 中国大都市的空间扩展 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1997, 7—10]
- [5] Wang F. Urbanization and Sustainable Development in China [M]. Beijing: Science Press, 2000. [王放著. 中国城市化与可持续发展 [M]. 北京: 科学出版社, 2000]
- [6] Wang H. Regional Urbanization Development Level Analysis—A Case in Shanxi Province [J]. *Geography and Research on Land Resource*, 1997, 13(4): 14—20. [王慧. 区域城市化发展水平的综合分析——以山西省为例 [J]. 地理学与国土研究, 1997, 13(4): 14—20.]
- [7] Zeng H Ch, Sun Y Q. A Research on Provincial Mapping of Urbanization Hierarchy—A Case in Sichuan Province [J]. *Sichuan Surveying and Mapping*, 1999, 22(2): 68—71. [曾鸿程, 孙育秋, 省区城市化水平等级图编制研究——以四川省为例 [J]. 四川测绘, 1999, 22(2): 68—71.]
- [8] Zhang G T. A Discuss on Constructing Urbanization Level Index System [J]. *Urban Problems*, 1998, 1: 6—9. [张耕田. 关于建立城市化水平指标体系的探讨 [J]. 城市问题, 1998, 1: 6—9.]
- [9] Dai H Zh, Liu Zh D. Compound Index Technique and Its Application on Measuring Provincial Urbanization Level in China [J]. *Urban Problem*, 1998, 4: 21—24. [代合治, 刘兆德. 复合指标法及其在测度中国省域城市化水平中的应用 [J]. 城市问题, 1998, 4: 21—24.]
- [10] Shen Ch. A Preliminary Study on Calculation of Urbanization Level [J]. *Urban Planning*, 1997, 1: 22. [沈迟. 关于城市化水平计算方法的探讨 [J]. 城市规划, 1997, 1: 22.]
- [11] Zhan Q M, Xiao Y H. Remote Sensing Technology in Cities [M]. Wuhan Technical University of Surveying and Mapping Press, 1999. [詹庆明, 肖映辉. 城市遥感技术 [M]. 武汉测绘科技大学出版社, 1999.]
- [12] Sun T Z, Zhou J H. Remote Sensing in Cities [M]. Shanghai Science and Technology Press, 1994. [孙天纵, 周坚华. 城市遥感 [M]. 上海科学技术文献出版社, 1994]
- [13] Li X, Ye J An. Application of PCA in Improving Land Use/ Cover detection precision—A Case study on urban land use expand in Zhujiang Delta [J]. *Remote Sensing*, 1997, 1(4): 282—289. [黎夏, 叶嘉安. 利用主成分分析改善土地利用变化的遥感监测精度——以珠江三角洲城市用地扩张为例 [J]. 遥感学报, 1997, 1(4): 282—289]
- [14] Li X W. Application of Main-Portion Transform and Color Transform on Information Extraction in TM—Case study on Suzhou City [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1992, 7(4): 251—259. [李旭文. 主成分变换和彩色变换在 TM 图像信息提取中的应用——以苏州市为例 [J]. 环境遥感, 1992, 7(4): 251—259.]
- [15] Zhen X N, Hu B X, Cui W H. Remote Sensing Experimental Study on Land Use Dynamic Analysis in Big Urban Edge Area [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1995, 15(1): 47—54. [郑兴年, 胡宝新, 崔伟宏. 大城市边缘区土地利用动态遥感试验研究——以北京市朝阳区为例 [J]. 地理科学, 1995, 15(1): 47—54.]
- [16] Dai Ch D, Tang L L, Chen G. Applying Remote Sensing for Urban Expanding and Environment Change [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1995, 10(1): 1—7. [戴昌达, 唐伶俐, 陈刚等. 卫星遥感监测城市扩展与环境变化的研究 [J]. 环境遥感, 1995, 10(1): 1—7.]
- [17] Chen Sh P, Zhou Ch H, Zeng Sh. Urbanization Problem and Pressing Mission in Urban Information System in China. Academic forum on Urban Geographic Information System [R]. Hong Kong: Geographic Information Science Unite Lab, 1998. [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. 城市地理信息系统学术论坛 [R]. 香港: 地球信息科学联合实验室出版, 1998]
- [18] Chen J, He Ch Y. Land Use/ Cover Change Detection Based on Change Vector Analysis(I) [J]. *Journal of Remote sensing*, 2001, 5(4): 259—266. [陈晋, 何春阳等. 基于变化矢量分析(CVA)的土地利用/覆盖变化动态监测(I) [J]. 遥感学报, 2001, 5(4): 259—266.]
- [19] Chen J, He Ch Y, Zhuo L. Land Use/ Cover Change Detection Based on Change Vector Analysis(II) [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2001, 5(5): 346—352. [陈晋, 何春阳, 卓莉等. 基于变化矢量分析(CVA)的土地利用/覆盖变化动态监测(II) [J]. 遥感学报, 2001, 5(5): 346—352.]
- [20] Shi P J, Chen J, Pan Y Zh. The Mechanism Analysis on Land Use/ Cover Change in Shenzhen City [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(2): 151—160. [史培军, 陈晋, 潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析 [J]. 地理学报, 2002, 55(2): 151—160.]
- [21] Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Kihn, E. A. & Davis, E. R (1995). Mapping city lights with nighttime data from the DMSP operational linescan system. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, LXIII(6): 727—734.
- [22] Sutton, P, 1997, Modeling Population Density with Nighttime Satellite Imagery and GIS. *Computers, Environment and Urban Systems*, 21(3—4): 227—244.
- [23] Imhoff, M. L., Lawrence, W. T., Stutzert, D. C. and Elvidge, C. D. A Technique for Using Composite DMSP/OLS 'City Lights' Satellite Data to Accurately Map Urban Areas [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 61: 261—370.
- [24] Imhoff, M. L., Lawrence, W. T., Elvidge, C., Paul, T., Levine, E., Prevalsky and Brown, Using Nighttime DMSP/OLS Images of City Lights to Estimate the Impact of Urban Land Use on Soil Resources in the U. S [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 59: 105—117.
- [25] Gallo, K. P., Tapley, J. D., McNab, A. L., and Karl, T. R. Assessment of urban heat islands: a satellite perspective [J]. *Atmospheric Research*, 1995, 37: 37—43.

- [26] Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Kihn, E. A., Kroehl, H. W., Davis, E. R., and Davis, C. Relation Between Satellite Observed Visible-Near Infrared Emissions, Population and Energy consumption [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1997, **18**: 1373—1379.
- [27] Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Hobson, V. H., et al. Satellite Inventory of Human Settlements Using Nocturnal Radiation Emission; A Contribution for the Global Toolchest [J]. *Global Change Biol.* 1997, **3**: 387—791.
- [28] Lo C. P., Modeling the Population of China Using DMSP Operational Linescan System Nighttime Data. [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 2001, **67**: 1037—1047.
- [29] Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Kihn, E. A., Kroehl, H. W., and Davis, E. R. Mapping of city lights using DMSP Operational Linescan System data [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1997, **63**: 727—734.
- [30] Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Dietz, J. B., Bland, T., Sutton, P. C., and Kroehl, H. W., Radiance Calibration of DMSP-OLS Low-light Imaging Data of Human Settlements [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1999, **68**: 77—88.
- [31] Urban Social and Economic Investigation Section, National Bureau Statistics, People's Republic of China. China City Statistics yearbook [M]. China Statistics press, 1993, 1997, 1999. [国家统计局城市社会经济调查总队. 中国城市统计年鉴 [M]. 中国统计出版社, 1993, 1997, 1999.]
- [32] National Bureau of Statistics, People's Republic of China. China Statistical year book [M]. China Statistics press, 1993, 1997, 1999. [国家统计局. 中国统计年鉴 [M]. 中国统计出版社, 1993, 1997, 1999.]

The Study on Urbanization Process in China Based on DMSP/OLS Data: Development of a Light Index for Urbanization Level Estimation

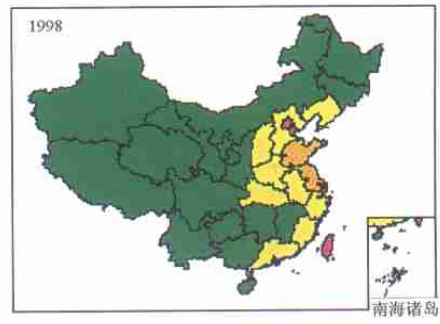
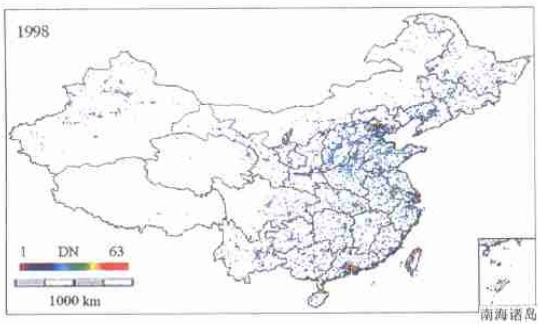
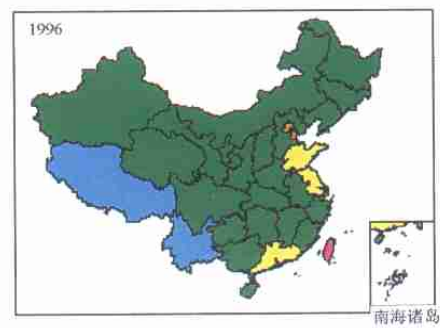
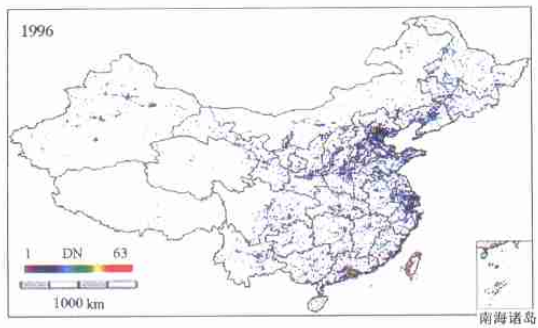
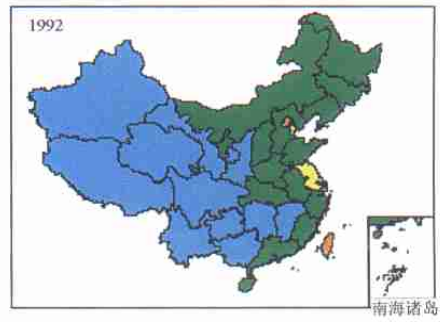
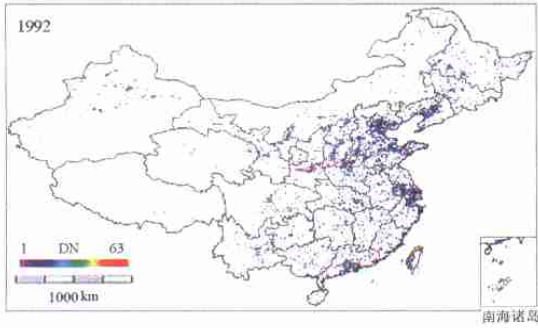
CHEN Jin^{1, 2}, ZHUO Li¹, SHI Pei-jun¹, Ichinose Toshiaki²

(1. Institute of Resource Science, Beijing Normal University, Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education of China, Beijing 100875, China;

2. Japan National Institute of Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, 305-8506, Japan)

Abstract: Urbanization, stimulated by striking economic development, has been proceeded in China on a large scale and with striking rapidity in the past two decades. It is necessary to monitor and model urbanization process of China for its sustainable development. This paper presents a new light index for regional urbanization level estimation considering the light spatial distribution and intensity based on DMSP/OLS data, which was pre-processed by Japan National Institute of Environmental Studies. The correlation analysis between light index and composite urbanization index was carried out in province scale. The result shows that there is significant relationship between two indexes. The regression model for composite urbanization index estimation using light index was also developed with R^2 equal to 0.793. It suggests that light index is an effective and applicable index for regional urbanization analysis and monitoring. Through the analysis of light index change in China during 1992 to 1998, it is shown that the urbanization level in China is different from high level in East China to low level in West China, and urbanization level was improved largely during 1992 to 1998, especially in provinces of East China.

Key words: urbanization; DMSP/OLS data; light index; China



灯光指数

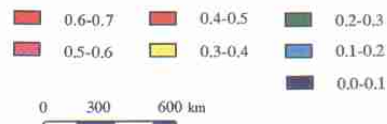


图 3 中国 1992 年、1996 年和 1998 年
非辐射定标夜间灯光平均强度图

图 4 中国 1992 年、1996 年和 1998 年各省、
直辖市灯光指数空间分布图