

1992-2010年基于DMSP-OLS图像的环渤海城市群空间格局变化分析

范俊甫^{1,2}, 马 廷¹, 周成虎¹, 周玉科^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 从DMSP-OLS数据提取城市区域的经验阈值法存在固有的缺陷, 经验阈值对不同的空间区域不具备通用性, 不适用的经验阈值, 将导致城区面积提取具有较大误差, 可采用统计数据对经验阈值进行修正以降低误差。本文在大时空尺度条件下以少量样本城市的统计数据对经验阈值方法进行了修正; 另采用Elvidge二次多项式模型对DMSP-OLS时间序列数据进行了校正。在此基础上选取总斑块数量、景观总面积、平均斑块大小、最大斑块面积比、斑块密度、景观形状指数、总边界长度、平均边界密度和斑块平均回旋半径共9个景观生态学指标, 采用FRAGSTATS 3.3软件计算分析了1992-2010年环渤海区域城市发展的空间格局变化特征。结果表明: 1992-2010年间, 环渤海区域城市化进程持续较快发展, 城市建成区总面积增加了2.14倍, 平均城市建成区面积增加了76%, 提取到的城市斑块平均回旋半径增加了约26.5%, 并且城市景观斑块的复杂度明显上升, 可检测到的城镇总个数增加了82%。但是, 每100km²内孤立的城市景观斑块数却降低了约76%; 大城市持续扩张的相对速度慢于中小城市, 城市区域边界密度和整体城市分布景观格局破碎度逐渐降低, 核心城市与周围卫星城市的景观斑块的联通性逐步增加。

关键词: DMSP-OLS; 经验阈值修正; 环渤海城市群; 建成区; 空间格局

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2013.00280

1 引言

美国国防气象卫星计划(Defense Meteorological Satellite Program, DMSP)搭载的线扫描系统(Operational Linescan System, OLS)传感器具有较高的光电放大特性。因此, 该传感器对夜间低可见度的光源敏感, 可探测到夜间城市灯光、火光乃至微弱的海上渔船灯光^[1]。故DMSP-OLS数据被大量用于人为和自然发生的火灾监测^[2]、城市发展评估^[3-5]等。因此, 用DMSP-OLS的时间序列数据, 可在较大的时空尺度上分析城市发展的空间变化。Elvidge等使用DMSP-OLS数据开展提取城市建成区的研究, 并指出DMSP-OLS数据在社会、环境、能源、经济等各方面的应用前景和价值^[4]。Small等对以DMSP-OLS稳定夜间灯光数据提取城市区域的阈值方法进行了分析, 针对灯光照亮区域与实际城区之间存在的 inconsistence 关系, 总结出不同尺度下提取

到的灯光照亮区域与实际城市区域直接的纠正参数^[5], 该方法在无法获取精确统计数据区域可作为对城市区域大小数值进行估计的便捷手段, 但针对特定区域的经验阈值不具备通用性。Imhoff等使用突变检测方法来确定城市区域面积提取的最佳阈值, 该方法基于城市区域灯光较非城区稳定的假设, 当逐渐增大提取阈值时城市区域逐渐缩小, 达到一定程度时城市区域将从内部分裂, 斑块数量增加, 提取到的城区周长将突然增加, 选取该阈值点作为城市区域面积提取的最佳阈值^[6], 该方法不考虑城市之间的差异, 故不适用于大空间尺度条件下大量城市区域面积的提取。王翠平等指出, 京津冀城市用地扩张趋势, 以北京、天津、唐山等城市为中心向周围扩张并逐渐形成城市群连绵区^[7-8]。Elvidge等研究人员以西西里岛地区为例分析了1994-2008共15年DMSP-OLS数据集之间的相关性, 给出了上述数据集相对于F121999数据集

收稿日期: 2012-11-09; 修回日期: 2013-01-08.

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAH06B03、2011BAH24B10); 中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-07)。

作者简介: 范俊甫(1985-), 男, 博士生, 研究方向为并行空间分析算法和遥感信息提取研究等。E-mail: fanjf@reis.ac.cn

的经验校正模型和逐年校正参数^[2]。在大时空尺度条件下,经验阈值方法通常不具备通用性,且获取详细统计数据,以及覆盖完整的高分辨率遥感图像较为困难,而采用部分具备详细统计数据的样本城市对已有经验阈值进行修正是一个降低DMSP-OLS数据提取城市面积误差的可行途径。

国内有学者使用DMSP-OLS和其他数据对该区域的城市化过程进行了研究,何春阳等利用DMSP-OLS数据和省级统计数据提取城市区域,进而分析了20世纪90年代环渤海城市群的空间模式特征和区域城市化过程特征^[10]。李景刚等综合利用DMSP/OLS夜间灯光数据和SPOT/VGT时间序列数据,分析和研究了1998-1999年环渤海城市群区域城市化过程对植被初级生产力的季节性变化影响^[11]。刘浩等应用系统相对发展度模型分析1999-2008年间环渤海地区土地利用与城市化的相互关系,发现环渤海地区城市协调水平较低,但在不断优化,山东半岛圈尤为显著。通过计算Moran's I空间自相关指数发现区域内城市协调度总体上保持稳定的随机分布,没有强烈的极化效应,高值扩散区多集中于京津冀圈与辽东半岛圈等传统城市地带^[12]。但在较长的时间跨度上使用DMSP-OLS数据,对该区域城市群在城市化发展过程中的空间格局变化特征所开展的相关研究较少,在目前中国经济快速发展的大背景下,单体城市的演化融入到城市群的发展过程中,城市群空间格局的变化特征可以为区域内城市群结构调整、区域产业聚集和结构调整,以及宏观经济调控和土地利用政策的制定提供重要依据^[13]。

本文采用二次多项式校正模型及1992-2010年的DMSP-OLS稳定夜间灯光数据,提取了城市建成区面积。在此基础上,与传统的阈值分析方法进行比较,以典型城市为例与统计数据进行了误差分析,并与Landsat-TM数据的NDBI指数方法的城区提取结果进行验证,得到较为精确的城镇面积和空间分布数据,以及空间格局变化特征。

2 研究区数据源分析

2.1 研究区分布特征

环渤海区域包括北京、天津、河北、辽宁、山东、山西和内蒙古5省2市,土地面积112万km²,占全国13.31%,涉及约2.6亿人口,占全国的22.2%。该

区域传统工业基础雄厚,人力及自然资源丰富,社会基础设施建设较为完善,高科技产业发展迅速,自身产业结构互补性较强,与周边国家经济联系紧密。环渤海城市群是继珠三角城市群、长三角城市群之后我国经济增长的第三极,历史上以沈阳、鞍山为核心的辽东半岛区域是中国的重工业基地,北京、天津一直是本区域的核心城市,而山东半岛城市群在青岛和济南双核心的拉动下也发展迅速。在中国经济迅速发展的大背景下,环渤海区域正经历着剧烈的城市化过程,区域内核心城市与中小城市的协作与矛盾、城市产业结构调整、城市间优势资源整合、区域长期规划、区域空间管理制度的制定^[14]等都要求充分把握区域城市空间分布和格局变化特征。本研究选取该区域34个地级及以上城市作为研究对象,空间分布如图1所示。

2.2 数据源

本研究利用1992-2010年间共19年的DMSP-OLS非辐射定标的夜间稳定灯光数据,其下载自美国国家海洋和大气管理局下属的国家地理数据中心网站^[15]。非辐射定标的DMSP-OLS夜间稳定灯光数据的空间分辨率为30"(弧秒,在赤道附近约为1 km,40°N处约为0.8 km)。本研究所用数据来自6个不同的传感器:F10(1992-1994)、F12(1994-1999)、F14(1997-2003)、F15(2000-2007)、F16(2004-2009)和F18(2010),由于不同传感器之间的固有差异以及成像环境等因素的影响,未经辐射定标的不同年份图像之间的DN值不具有可比性^[2,3,16]。Elvidge等最早通过对西西里岛地区的DMSP-OLS非辐射定标稳定夜间灯光图像进行相对于F12(1999)数据集的回归分析,给出了如公式(1)所示的二次多项式经验校正模型和1994-2008年的逐年校正参数^[2]。Ma等以该校正模型对中国区域内的F16(2009)数据集进行了校正^[3]。

我们采用公式(1)所示的二次多项式校正模型,选取F12(1999)数据集西西里岛地区的数据,分别对F10(1992)、F10(1993)、F16(2009)、F18(2010)数据集的相同区域数据进行回归分析(见图2及表1)。本研究利用表1,1992、1993、2009、2010年及Elvidge所给1994-2008共19年的校正参数,对相应年份环渤海区域夜间稳定灯光数据进行校正,提取了城市建成区面积,同时,与统计年鉴数据进行对比分析。

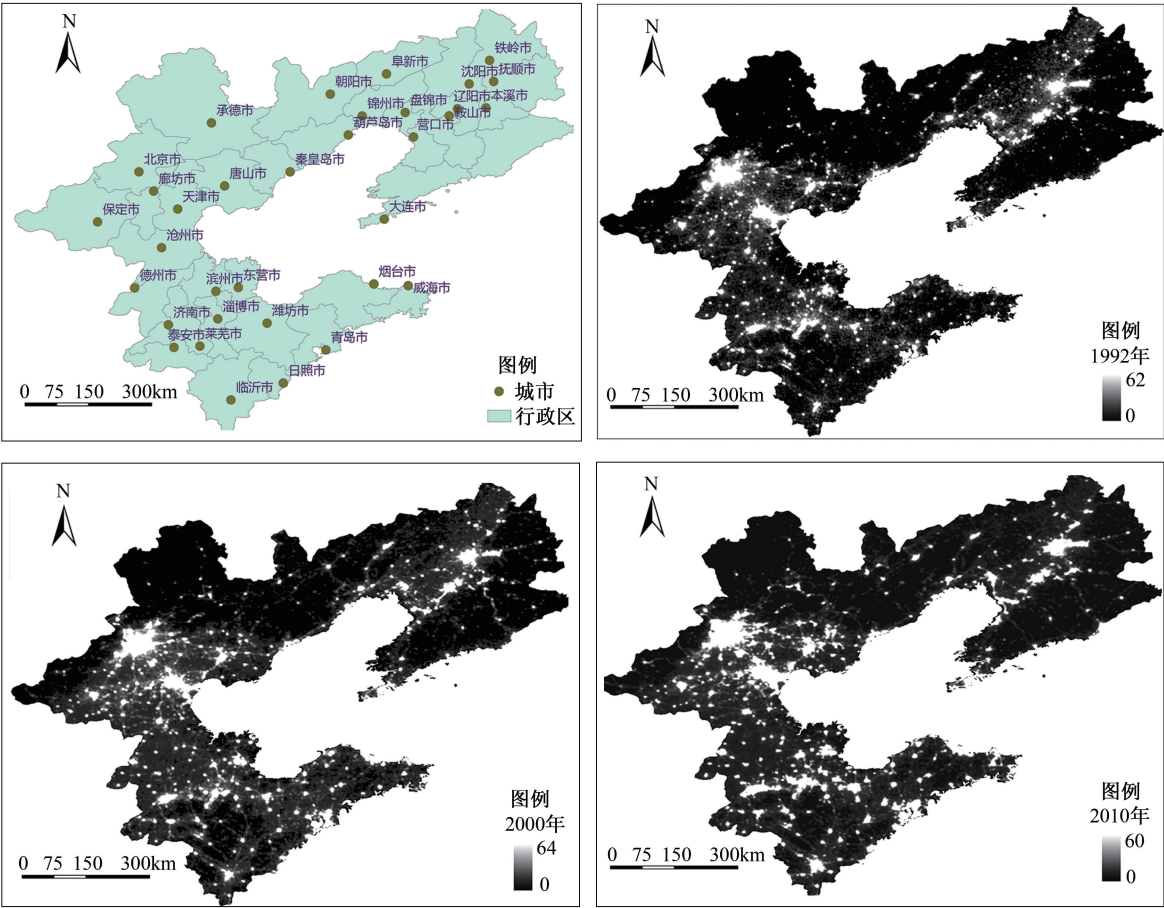


图1 环渤海区域城市分布图及1992、2000、2012年夜间灯光数据(校正后)
Fig.1 Cities in Bohai Rim and DMSP-OLS images of 1992, 2000 and 2010 (after correction)

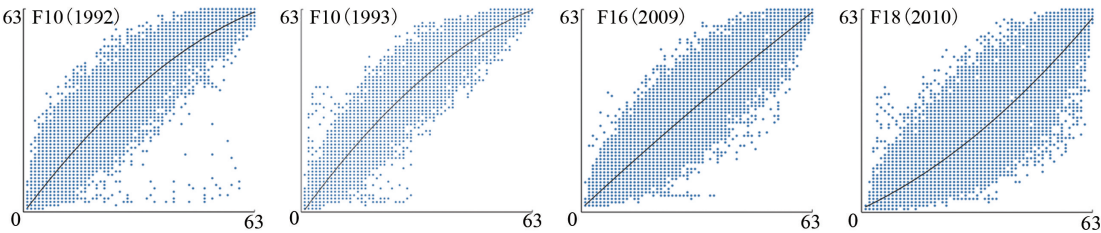


图2 西西里岛地区F101992、F101993、F162009和F182010数据相对F121999的回归分析结果
Fig.2 Regression results of F101992, F101993, F162009 and F182010 against F121999 in Sicily Island area

表1 西西里岛地区F10(1992)、F10(1993)、F16(2009)和F18(2010)数据相对F12(1999)的校正参数列表
Tab.1 Correction parameters of F10(1992), F10(1993), F16(2009) and F18(2010) against F12(1999) in Sicily Island area

卫星	年份	C ₀	C ₁	C ₂	R ²	点数
F10	1992	-1.9786	1.5795	-0.0089	0.9002	35 549
F10	1993	-0.9286	1.5822	-0.0090	0.9323	38 519
F16	2009	0.9878	1.0610	-0.0014	0.8995	33 777
F18	2010	2.5479	0.4911	0.0068	0.8527	36 193

$$DN_{adjusted} = C_0 + C_1 \times DN + C_2 \times DN^2 \quad (1)$$

为了提高经验阈值方法提取城市面积的精度，验证方法的可行性和正确性，我们选取1992–2010年共19年的城市建成区面积数据齐全的4个典型城市：北京、沈阳、济南、潍坊和全国城市建成区总体数据作为分析样本，来对经验阈值进行修正，得到较为精确的阈值组合进行历年城市建成区面积提取。城市的建成区面积统计数据来源于中国统计年鉴^[17]、中国城市统计年鉴^[18]、中国城市建设统计年鉴^[19]，以及北京^[20]、山东^[21]、辽宁^[22]、和天津^[23]等省市的地方年鉴。

3 城市群空间格局分析

3.1 研究方法

3.1.1 对经验阈值的修正方法

传统的经验阈值方法是对某一地区的夜间灯光数据进行分割,通过反复实验求最接近于真实建成区数值的分割阈值,但是,该方法并不适合进行大尺度研究^[24]。突变检测法将城市作为单个个体进行研究,忽略了城市之间的空间和发展差异特征^[6]。统计数据比较法往往要求具备较为详尽的历年统计数据^[25],但其有时难以获取,对实际应用造成一定的困难。针对上述各种方法的不足,本文提出使用研究区域内统计数据齐全的样本城市对经验阈值进行修正,以确定合理的阈值序列,降低城市面积提取的误差,进而逐年提取该区域所有城市的建成区面积。对经验阈值的修正方法可以描述为:

(1)首先,对选取的 c 个城市按照空间位置和某一指标 p 进行分组,本文选取城市建成区面积作为分组指标。假设在空间上可以分为 m 组,按指标 p 可以分为 n 组,则最终将会形成分组数 r 为:

$$r = m \times n \quad (2)$$

(2)对每个城市进行逐年阈值计算,为每个城市找到逐年最佳阈值组合 v ,分别计算得到每个组的平均向量 V ,组合在一起作为所有分组的不同年度的经验阈值矩阵 M 。

$$v = (v^{1994} \quad v^{1995} \quad \dots \quad v^{2009}) \quad (3)$$

$$M = \begin{bmatrix} v_0^{1994} & v_1^{1994} & \dots & v_r^{1994} \\ v_0^{1995} & v_1^{1995} & \dots & v_r^{1995} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_0^{2009} & v_1^{2009} & \dots & v_r^{2009} \end{bmatrix} \quad (4)$$

(3)对区域内所有城市按照公式(4)确定的阈值组合进行建成区面积提取。若不进行分组,即 $m=1, n=1$,则最终将仅有1个分组, v 即为最终修正后的阈值。

本文研究区内样本城市较少,在不进行分组的情况下,将全国城市建成区总体数据加入分析样本计算出另一套阈值 V ,计算 v 与 V 逐年阈值的无权重均值,作为修正后的经验阈值进行环渤海区域内城市面积提取,并选择天津市进行验证。经过修正的环渤海区域城市建成区面积提取阈值序列及按照该序列提取的天津市历年城市建成区面积的相对误差结果如图3所示。

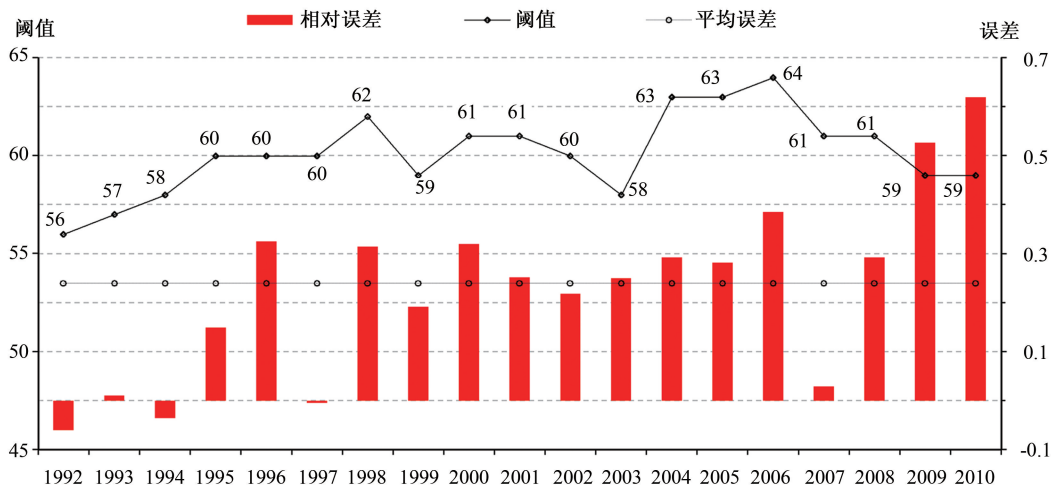


图3 优化后的阈值组合序列及天津市建成区面积提取历年误差结果

Fig.3 Annual optimized thresholding values and urban area extraction result errors of Tianjin City

以天津市为例,采用修正后的经验阈值提取到的历年城市区域面积平均相对误差约为0.229,相对误差的标准偏差约为0.178,其中,2009年与2010年误差最大。该方法得到的城市建成区面积与以50为阈值的经验阈值法^[24]提取得到的结果相比,平均相对误差降低了将近2.6倍;历年城市建成区面

积提取的数值标准偏差更小,说明结果更加稳定。我们采用查勇提出的NDBI指数法^[26]基于Landsat-TM数据提取了天津市1992、2000和2010年的城市建筑区域,并与DMSP-OLS数据提取结果进行了对比验证(如图4所示),发现DMSP-OLS数据提取结果与Landsat-TM数据提取结果在空间上吻合

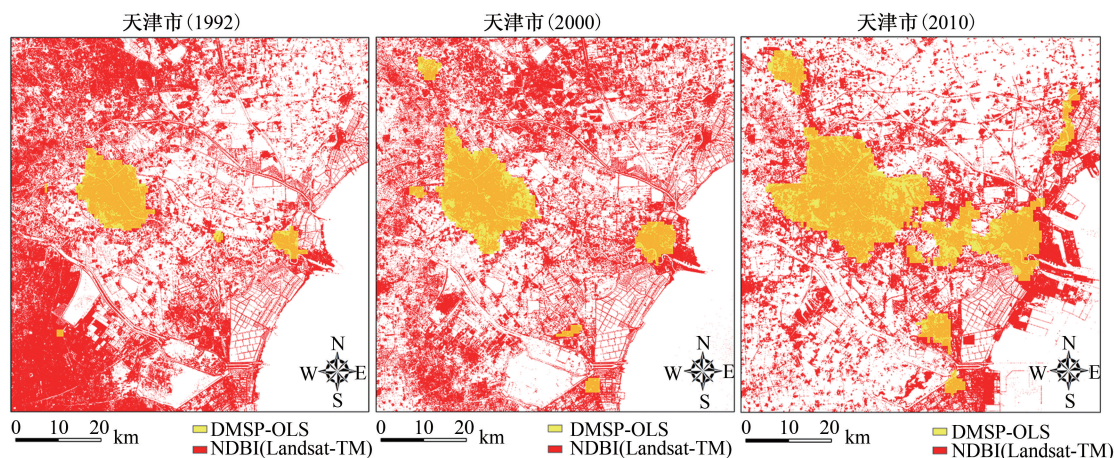


图4 Landsat-TM (NDBI)和DMSP-OLS数据提取天津市城区结果对比

Fig.4 Extraction results comparison using Landsat-TM (NDBI method) and DMSP-OLS data of Tianjin City

良好,且DMSP-OLS数据提取结果的噪声水平更低,直观地反映地表人类活动密集的空间范围,但因其分辨率较低和灯光扩散效应的影响,其在精细程度上不及后者。综上所述,在进行大时空尺度下城市区域范围提取时,以DMSP-OLS数据提取照亮区域来估算研究区域的城市建成区面积仍是一种简便、可行的方法。

3.1.2 空间格局变化分析方法

景观格局指标反映了大小和形状不一的景观斑块在空间上的排列特征^[27]。本研究针对由DMSP-OLS灯光数据提取得到的环渤海区域城市群建成区数据的景观类型单一性特点,选取包括总斑块数量(Number of Patches, NP)、景观总面积(Total Area, TA)、平均斑块大小(Mean Patch Size, MPS)、最大斑块面积比(Largest Patch Index, LPI)、斑块密度(Patch Density per 100km², PDh)、景观形状指数(Landscape Shape Index, LSI)、总边界长度(Total Edge, TE)、平均边界密度(Edge Density, ED)和斑块平均回旋半径(Radius of Gyration, GYRATE)等9个典型景观格局指标,使用FRAG-STATS 3.3软件计算了环渤海区域34个地级以上城市区域范围内1992–2010年间城市发展格局变化特征。

3.2 城市空间格局变化分析

以表2所示的各项景观格局指标计算结果进行回归分析,得到如图5所示的各项指标在1992–2010年共19年内的变化趋势。

在斑块水平上,景观形状指数代表了区域内各

个孤立斑块形状的复杂程度和不规则程度。我们发现环渤海区域在1992–2010年间城市区域的形状复杂度逐渐上升,且2001–2010年间上升的速度比1992–2000年快。城市斑块的平均面积以3.85%的速度逐年增加,且城市斑块的平均回旋半径也逐年增大1.6%,这说明区域内城市用地面积正在迅速扩张。

在景观水平上,总斑块数量指景观中所有的斑块总数,描述的是整个景观的异质性,NP值与景观破碎度呈良好的正相关性,NP越大景观破碎度高;反之破碎度低。1992–2010年间环渤海区域可探测到的城市区域斑块快速增加,19年间孤立的城市斑块增加了约82%,这说明该区域出现了众多的新兴城镇。景观总面积代表了该区域可探测到的城市区域总面积,能直观反映本区域城市面积规模和尺度变化。图5(b)、(c)显示1992–2010年间环渤海区域城镇总面积(TA)和平均斑块面积(MPS)持续增加,且表2中所示的计算结果显示该时间段内本区域年均城市建成区面积增加率约为7.18%,该数值要快于新兴城市数量的增加速度(约为3.74%)。以上结果表明,环渤海区域自1992年到2010年间的城市化过程总体处于快速发展状态,部分小城镇逐步发展为新城市,但是原有城市的发展和面积的扩张是该区域城市建成区面积快速增加的主导因素。

由上可见,1992–2010年间环渤海区域城市群最大城市区域斑块面积比(LPI)稍有下降,但速度不明显,而北京市是本区域面积最大的城市,因此,北京市城市面积在该时期内迅速扩张,该现象对已有大城市面积扩张导致环渤海区域城市建成区面

表 2 1992-2010 年环渤海城市群景观格局指标计算结果

Tab.2 Calculation results of 9 urban landscape metrics of Bohai Rim in 1992-2010

年份	NP	TA(km ²)	MPS(km ²)	LPI(%)	PDh	LSI	TE(km)	ED(km ⁻¹)	GYRATE(m)
1992	74	2347.91	31.73	29.05	3.15	8.39	1639.06	6.98	1689.60
1993	65	2170.81	33.40	30.74	2.99	7.79	1455.60	6.71	1702.05
1994	68	2453.00	36.07	33.16	2.77	7.96	1582.48	6.45	1706.79
1995	78	2669.05	34.22	31.31	2.92	8.57	1777.93	6.66	1722.18
1996	66	2730.78	41.38	30.22	2.42	8.24	1723.07	6.31	1926.19
1997	82	2480.93	30.26	26.75	3.31	8.07	1536.19	6.85	1566.67
1998	68	2263.40	31.56	33.29	3.00	7.88	1500.18	6.63	1646.83
1999	75	2630.84	35.08	32.01	2.85	8.10	1666.49	6.33	1631.92
2000	80	3638.35	45.48	29.55	2.20	8.82	2132.83	5.86	1987.68
2001	80	3607.48	45.09	34.12	2.22	8.61	2081.39	5.77	1915.00
2002	86	3894.08	45.28	33.17	2.21	8.80	2203.12	5.66	1915.78
2003	99	4332.07	43.76	28.96	2.29	9.84	2597.46	6.00	1937.72
2004	93	4254.91	45.75	31.40	2.19	9.78	2564.88	6.03	1968.52
2005	98	4673.05	47.68	29.72	2.10	10.09	2767.19	5.92	2053.74
2006	107	5095.60	47.62	27.85	2.10	10.67	3055.23	6.00	2040.71
2007	109	5762.13	52.86	25.65	1.89	10.74	3278.11	5.69	2173.10
2008	102	5678.35	55.67	30.40	1.80	10.61	3202.67	5.64	2150.84
2009	120	6717.46	55.98	26.51	1.79	11.20	3686.16	5.49	2157.86
2010	132	7375.17	55.87	28.89	1.79	11.70	4032.49	5.47	2137.80

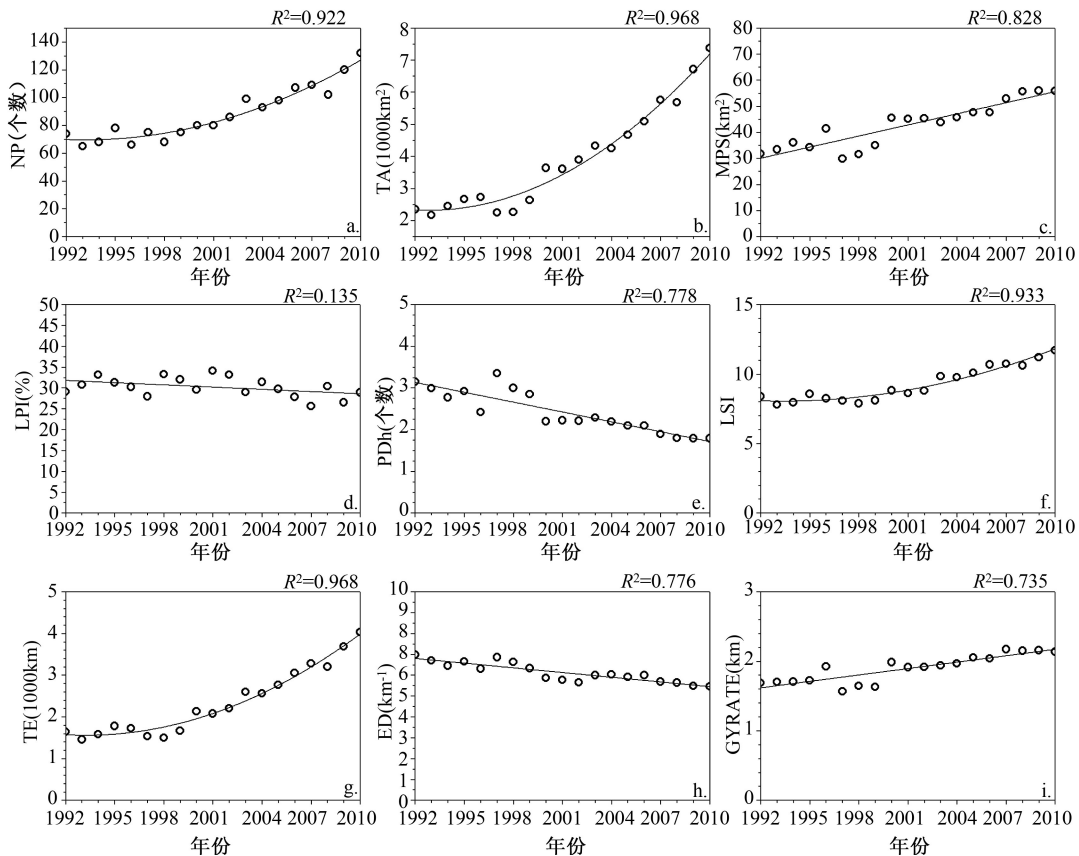


图 5 1992-2010 年环渤海城市群景观格局各指标变化趋势图

Fig.5 The 9 urban landscape metrics change trends of Bohai Rim in 1992-2010

积快速增加这一结论做出了侧面验证。但由于受城市土地资源有限的客观条件制约,导致本区域最大城市斑块面积比(LPI)呈现逐年降低的趋势,且国家控制超大城市规模,合理发展中等城市,加大力度发展小城市的宏观政策也在一定程度上促进了这种局面的形成。尽管如此,北京市及其周边卫星城市群仍旧是最具发展活力和主导性的区域。

本时期内伴随传统核心城市迅速扩张,以及新兴城镇的涌现,每100km²能够观测到的孤立城市区域斑块数量以年均2.43%的速度逐年降低,2010年较1992年共降低了约76%,且同时出现城市区域边界总长度增加而城市区域边界密度却逐年降低的

现象,我们发现该区域城市边界总长度的年均增长率约为5.59%,而城市边界密度年均降低约1.27%。这说明环渤海区域1992-2010共19年间城市分布的景观破碎度逐渐降低,在空间上表现出来即为城市面积扩张,相邻城市、核心城市与其卫星城逐渐连接成片。本研究使用DMSP-OLS夜间稳定灯光数据,以修正后的经验阈值提取得到1992、2000和2010年环渤海区域,以及北京市的城市建成区范围,如图6所示。随着社会经济的发展,北京市、天津市的市区范围已经扩张到原来的周边区县,出现了将周边区县等卫星城连结成片的趋势。

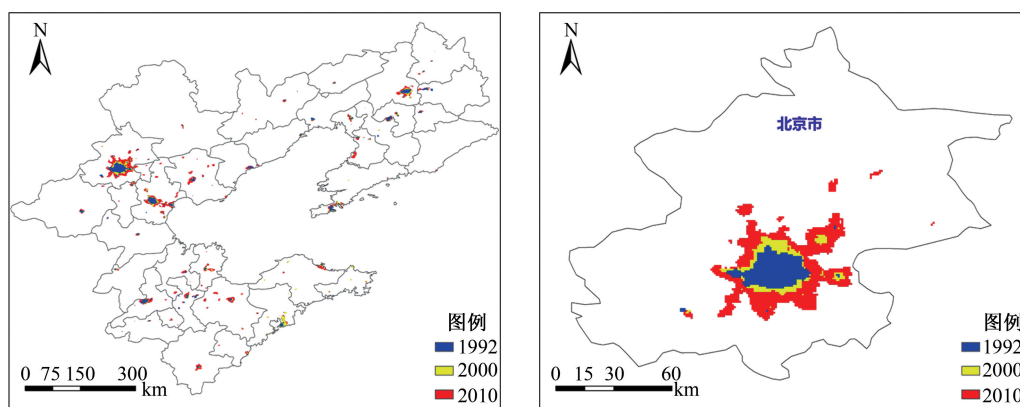


图6 环渤海城市群和北京市1992、2000、2010年城市建成区范围比较

Fig.6 Urban area changes map of Bohai Rim and Beijing City in 1992, 2000 and 2010

4 结语

本研究利用DMSP-OLS数据提取环渤海区域34个地级市1992-2010年间的城市灯光照亮区域作为建成区面积,并分析了空间格局变化,城市建成区总面积增加了2.14倍,同时,涌现出众多的新兴城镇,孤立城市区域数量增加了约82%,平均城市区域斑块面积增加了约76%,而传统核心城市面积扩张是区域内城市面积增长的主导因素;区域内单一城区斑块形状复杂度上升,但百平方公里内可探测到的孤立城市区域斑块数量,以及城市区域边界密度逐年下降,表明城区分布景观整体破碎度逐年降低;区域内核心城市(如北京市)的扩张速度要慢于其他新兴城市,但核心城市或大城市与其卫星城有明显的连结成片的趋势。综上分析认为,环渤海区域正处于一个快速城市化和深刻变革的发展过程。

本文对1992、1993和2010年的DMSP-OLS数据进行了相关性校正,这是今后研究中提高城市区域面积提取精度的一个有价值的研究方向。

参考文献:

- [1] Croft T A. Burning waste gas in oil fields[J]. *Nature*, 1973 (245):375-376.
- [2] Elvidge C D, Ziskin D, Baugh K E, *et al.* A fifteen year record of global natural gas flaring derived from satellite data [J]. *Energies*, 2009,2(3):595-622.
- [3] Ma T, Zhou C, Pei T, *et al.* Quantitative estimation of urbanization dynamics using time series of DMSP/OLS nighttime light data: A comparative case study from China's cities[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2012(124): 99-107.
- [4] Elvidge C D, Baugh K E, Kihn E A, *et al.* Mapping city lights with nighttime data from the DMSP operational linescan system[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1997,63(6):727-734.

- [5] 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.
- [6] Imhoff M L, Lawrence W T, Stutzer 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 李振泉,杨万钟,陆心贤.中国经济地理[M].上海:华东师范大学出版社,1999.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 刘浩,郑文升,张毅,等.城市土地集约利用度与城市化综合水平协调度分析——以环渤海地区为例[J].*华中师范大学学报*,2012,46(5): 616-623.
- [13] 薛东前,王传胜.城市群演化的空间过程及土地利用优化配置[J].*地理科学进展*,2002,21(2):95-102.
- [14] 李晓西,卢一沙.长三角城市群空间格局的演进及区域协调发展[J].*规划师*,2011,27(1):11-15.
- [15] NOAA/NGDC. OLS - Operational Linescan System[EB]. <http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/sensors/ols.html>, 2012.
- [16] Liu Z., He C., Zhang Q., *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(1):62-72.
- [17] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,1993-2011.
- [18] 国家统计局城市社会经济调查总队.中国城市统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,1992-2010.
- [19] 中华人民共和国住房和城乡建设部.中国城市建设统计年鉴[M].北京:中国计划出版社,2009.
- [20] 北京市统计局.北京统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,1995-2010.
- [21] 山东省统计局.山东统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,1993-2011.
- [22] 辽宁省统计局.辽宁统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,1993-2011.
- [23] 天津市统计局.天津统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,1993-2011.
- [24] Milesi C, Elvidge C D, Nemani R R, *et al.* Assessing the impact of urban land development on net primary productivity in the southeastern United States[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003,86(3):401-410.
- [25] He C, Shi P, Li J, *et al.* Restoring urbanization process in China in the 1990's by using non-radiance calibrated DMSP/OLS nighttime light imagery and statistical data [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006,51(7):856-861.
- [26] 查勇,倪绍祥,杨山.一种利用 TM 图像自动提取城镇用地信息的有效方法[J].*遥感学报*,2003,7(1):37-40.
- [27] 李秀珍,布仁仓,常禹,等.景观格局指标对不同景观格局的反应[J].*生态学报*,2004,24(1):123-134.

Changes in Spatial Patterns of Urban Landscape in Bohai Rim from 1992 to 2010 Using DMSP-OLS Data

FAN Junfu^{1,2}, MA Ting¹, ZHOU Chenghu¹ and ZHOU Yuke^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic and Nature Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The photoelectric amplification characteristics of Operational Linescan System (OLS) sensors on board of the Defense Meteorological Satellite Program's (DMSP) satellites make the instruments sensitive to low visible lights in the night which can distinguish the differences of light signals between urban and rural areas. Remotely sensed nighttime lights datasets derived from the DMSP-OLS sensors have been extensively applied to assess and monitor the process of urbanization and human activities, which has become an important data source for studies on regional urbanization and human activities. Methods used to extract urban built-up areas

from DMSP-OLS data, such as empirical global thresholding-based methods and the sudden detection method, cannot avoid their own defects. The experience thresholding values are not universal in different regions and the sudden detection method cannot be applied in large scales. In this study, we corrected the experience thresholding values by introducing statistical data of some sample cities in the research area which combined with a calibration process to DMSP-OLS time serial data for extracting urban built-up area from satellite-based nighttime light data at large temporal and spatial scales. Nine landscape metrics: the number of patches (NP), the landscape total area (TA), the mean patch size (MPS), the largest patch index (LPI), the patches density of per hundred km² (PDh), the landscape shape index (LSI), the total edge length (TE), the edge density (ED) and the radius of gyration (GYRATE) are calculated by the FRAGSTATS3.3 software to analysis the spatial pattern change characteristics of urban area in Bohai Rim. The study showed that from 1992 to 2010, the urbanization in Bohai Rim experienced a continuing and rapid process. In this region, the total urban built-up areas expanded for 2.14 times, the average built-up area of cities increased for 76%, the gyrate of extracted urban patches expanded about 26.5% which suggested that the complexity of urban patch shapes were increased. The amount of detected urban patches got 82% increase but the number of isolate cities in each 100 km² were decreased by about 76% which implied that the expansion of traditional cities was the dominant factor of the area increasing rather than continuously emerging towns. The expansions of metropolises were slower than small cities, and the overall landscape fragmentation degree was decreased gradually with the trend of urban area connection between core cities and their exurbs.

Key words: DMSP-OLS; thresholds correction; Bohai Rim; urban built-up area; spatial pattern