

## 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的陕西省城镇用地扩展研究

罗佳丽,杨海娟\*,徐 纳,李 梦,李姣姣

西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710127

**摘要:** 本文以陕西省 10 个地市和杨凌示范区为研究对象,选择 2000~2013 年 DMSP/OLS 夜间灯光数据,利用 ArcGIS 软件,从时空尺度、空间格局和扩张类型 3 个方面的统计数据,分析近 14 年陕西省城镇 14 个时期城镇用地情况。结果表明,从 2000~2013 年陕西省城镇用地面积持续增长,且表现出随时间的推移加速增长的态势;2000~2013 年间陕西省在城镇化过程中出现众多新兴小城镇,但是原有城镇面积的扩张是该时期的城镇用地面积增加的主导因素;各市(区)提取阈值的变化具有一定的规律性,可以反映出城镇扩张的类型。

**关键词:** DMSP/OLS 数据; 城镇扩展; 陕西

**中图分类号:** F301.23

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2324(2017)01-0064-06

## The Research on Urban Land Expansion in Shaanxi Province Based on DMSP/OLS Nighttime Light Data

LUO Jia-li, YANG Hai-juan\*, XU Na, LI Meng, LI Jiao-jiao

Northwest University, Xi'an 710127, China

**Abstract:** This paper took the 10 cities and Yangling demonstration area in Shaanxi Province as subject investigated, it was applied the ArcGIS software and the statistics-assisted threshold to extract 14 periods urban land based on the DMSP/OLS night light data of from the year 2000 to 2013. From the perspective of spatial scales, spatial patterns and expansion types, it analyzed the Shaanxi province urban expansion in the recent 14 years. The study showed that the urban land area in Shaanxi experienced a continuing growth from the year 2000 to 2013 and demonstrated a trend of accelerating growth over time. Besides, the results signified that many emerging small towns appeared from the year 2000 to 2013 in the process of urbanization, whereas the expansion of the original urban area was the dominant factor of the urban land area increased in this period. The change of extraction threshold value of each city had certain regularity, which could reflect the types of urban expansion.

**Keywords:** DMSP/OLS; urban expansion; Shaanxi

城市是人类文明发展的重要标志,改革开放以来中国各地掀起了城镇化热潮。有学者预测中国城镇化水平在 2020 年可能会达到 55~58%, 2035~2040 年有可能超过 70%。可见,在未来很长一段时期,中国城镇化将保持持续快速发展的势头<sup>[1,2]</sup>。伴随着城镇化进程的不断推进,城镇用地在不断增加,耕地资源减少、环境恶化、交通拥堵等问题也日渐突出,因此研究城镇用地的时空演变规律,对于确定城镇用地的合理分布,避免城镇用地的盲目扩张,实现区域的可持续发展具有重要意义<sup>[3]</sup>。

20 世纪 90 年代开始,美国军事气象卫星(DMSP)搭载的传感器(OLS)获取的夜间灯光数据在国内学术界得到了广泛使用,成为了一种监测城市化过程的一种新的有效的数据源。目前利用 DMSP/OLS 夜间灯光数据提取城镇用地信息的方法主要有以下 4 种:①统计数据法<sup>[4]</sup>,即以国家发布的统计数据作为参考,设定不同的阈值直到阈值范围内的城镇用地面积与统计数据充分接近为止,此方法操作简便易行,目前使用最为广泛;②经验阈值法<sup>[5]</sup>,根据历史经验人为主观地设定一个提取阈值,以此阈值提取城镇用地,该方法的提取效果随研究区的不同差异较大。③突变检测法<sup>[6]</sup>,该方法适用于只有一个中心城区的区域城镇用地信息的提取,基于城镇的边界为完整的多边形这一假设,以在改变阈值过程中城镇用地面积出现突变的值作为提取阈值。④高分辨率影像数据比较法<sup>[7]</sup>,一般有与 Landsat TM/ETM+图像比较和与 Google Earth 高分辨率影像比较两种方法,通过与高分辨率的影像对比提取城镇用地可以有效提高提取精度,并能够反映真实的城镇用地信息,但是对于大尺度的研究来讲,此方法处理效率较低,数据成本太大。

**收稿日期:** 2016-04-14

**修回日期:** 2016-08-31

**作者简介:** 罗佳丽(1992-),女,硕士研究生,主要从事土地利用规划与城乡协调发展研究. E-mail:1352153354@qq.com

**\*通讯作者:** Author for correspondence. E-mail:xayhj@163.com

本文以 DMSP/OLS 夜间灯光数据为数据源, 利用统计数据法提取 2000~2013 年城镇用地信息, 从时空尺度、空间格局和扩张类型 3 方面实证分析 2000~2013 年间陕西省 10 个地市和 1 个农业示范区城镇用地扩展的时空演变规律和形态演变过程, 以期揭示全省及各市城镇用地的扩展规律, 更准确地把握各个城市未来发展趋势, 为优化城市用地分布, 提高城镇用地效率等相关决策的制定及实施提供借鉴。

### 1 研究区及数据预处理

#### 1.1 研究区概况

陕西省地处我国内陆腹地黄河中游, 位于 105°29'~111°15'E、31°42'~39°35'N 之间, 全省总面积 20.56 万 km<sup>2</sup>。从北至南分为陕北高原、关中平原、秦巴山地三大自然区, 全省有 10 个地级市, 3 个县级市, 81 个县, 23 个市辖区。2014 年末, 全省常住人口 3775.12 万人, 城镇常住人口 1984.58 万人, 城镇化率 52.57%。

#### 1.2 数据来源

1.2.1 遥感数据 数据来源于美国国家海洋和大气管理局(NOAA)网站提供的 14 个年份的 DMSP/OLS 非辐射定标的夜间平均灯光强度数据, 空间分辨率为 1 km, 灰度 (DN) 值范围为 0~63。该数据有以下优势: ①DMSP/OLS 影像分辨率通常在 1 km 左右, 影像数据量远小于 TM 数据, 因此尤其适用于中、大尺度的城镇扩展研究; ②DMSP/OLS 传感器能探测到城镇灯光发出的电磁波, 能清晰识别有人类活动的地方, 这在城镇用地信息提取中具有极大的优势。

1.2.2 统计数据 所有人口、经济、城镇用地面积等数据来源于《中国城市统计年鉴》、《陕西省统计年鉴》和《陕西省土地利用现状数据集》。

1.2.3 辅助数据 陕西省各市(区)行政边界及主要道路矢量图。

#### 2.3 数据预处理

采用 2000~2013 年 14 个年份的全球 DMSP/OLS 非辐射定标夜间灯光平均强度数据。首先将数据从原始的地理经纬度坐标转为 Lambert Conformal Conic (WGS84 基准面), 重采样为 1 km, 其次用陕西省矢量地图对各年份数据进行裁剪, 得到陕西省各年份 DMSP/OLS 夜间灯光数据。根据夜间灯光影像的变化特点及规律, 参考邹进贵等人的研究成果, 对夜间灯光影像进行多年度之间的校正<sup>[8]</sup>。

### 3 研究方法

#### 3.1 灯光阈值的确定与城镇用地提取

根据 DMSP/OLS 夜间灯光数据的特点, 灯光强度 (DN 值) 越高的地方, 城镇用地的可能性就越大。借鉴基于统计数据提取城市用地的方法<sup>[9,10]</sup>, 以独立地市行政边界为单位提取城镇用地, 以改进统计数据提取法在提取小尺度区域的空间信息时误差较大的不足。分别对各市设定不同的阈值, 利用 ArcGIS 10 软件的重分类功能提取各市的城镇用地, 对比统计数据中的城镇用地面积数据直到与其接近为止(图 1)。图 1 中  $DN_T$  为夜间灯光数据的阈值;  $S(DN_T)$  为大于阈值的灯光斑块面积;  $\Delta S(DN_T)$  为提取数据与统计数据 (Area) 差值的绝对值;  $DN_{max}$  为阈值的最大值,  $DN_{min}$  为最小值。

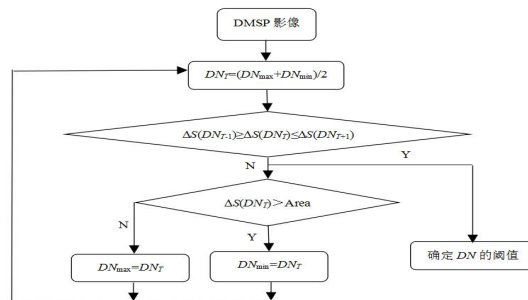


图 1 灯光阈值确定流程  
Fig.1 The flow chart for determining the threshold value

### 3.2 时空尺度

3.2.1 扩展速度 扩展速度是单位时间内城镇用地扩展面积与基期城镇用地面积的比值，表征城镇用地的年增长速度，反映城镇用地扩展的快慢。计算公式为：

$$W = \frac{\Delta A}{\Delta t \times A} \times 100 \% \tag{1}$$

式(1)中， $W$  为扩展速度； $A$  为初期城镇用地总面积； $\Delta A$  为城镇用地扩展面积； $\Delta t$  为时间间隔。

3.2.2 扩展强度 扩展强度是单位面积土地和单位时间内的城镇用地扩展面积，反映城镇用地扩展的强弱，其计算公式为：

$$I = \frac{\Delta A}{\Delta t \times TA} \times 100 \% \tag{2}$$

式(2)中， $I$  为城市扩展强度指数； $TA$  为土地总面积。

3.2.3 扩展形态指数 扩展形态指数指一定时期内城镇用地面积的增长率与上一个时期年增长率的比值，本文利用扩展速度表征城镇用地的扩展模式。计算公式为：

$$U = \frac{W_{t_2 \sim t_3}}{W_{t_1 \sim t_2}} \tag{3}$$

式(3)中， $W_{t_2 \sim t_3}$  表示  $t_2 \sim t_3$  时期内的扩展速度， $W_{t_1 \sim t_2}$  表示  $t_1 \sim t_2$  时期内的扩展速度，当  $U > 1$  时，为加速型城镇用地扩展模式， $0 < U < 1$  时为减速型城镇用地扩展模式， $U = 1$  时为匀速型城镇用地扩展模式。

### 3.3 空间格局

利用景观分析软件 Fragstats4.1，对通过 DMSP/OLS 夜间灯光数据提取的陕西省 2000~2013 年城镇建设用地的景观形态进行定量研究。由于现有的景观格局指数数量多且大部分空间指数相关性高<sup>[11,12]</sup>，为了既能反映陕西省城镇建设用地的景观格局特征，又不使冗余度过大，选取包括斑块数量(Number of Patches, NP)、景观总面积(Total Area, TA)、平均斑块大小(Mean Patch Size, MPS)、景观形状指数(Landscape Shape Index, LSI)、连接度指数(Patch Cohesion Index, COHESION)、聚合度指数(Aggregation Index, AI)、最大斑块指数(Largest Patch Index, LPI)7 个典型景观格局指标。

## 4 结果与分析

### 4.1 城镇用地提取结果及精度评价

4.1.1 定性分析 相较中国特别是东部沿海地区来说，2000~2013 年陕西省的灯光影像均表现出斑块数量少且亮度低，但从年际变化来看，陕西省的灯光亮度值逐年增加且不断向外蔓延。由图 2 可以看出，DMSP/OLS 数据能够较好地表达城镇的形态和轮廓信息，城市中心灯光的亮度值较大，外围区域亮度值较小。对于单个地市而言，表现为以主城区为中心的面状扩展形态，对于全省整体而言，表现为沿交通干线线性扩张。总体来说，陕西省灯光斑块以西安市为中心、以国道主干线和西部大通道为骨架、省内连接 11 个市（区）、省外贯通东西的“米”字型高速公路网延展，县级区域亦可清晰判读，随时间推移灯光覆盖区域向外扩展现象明显。

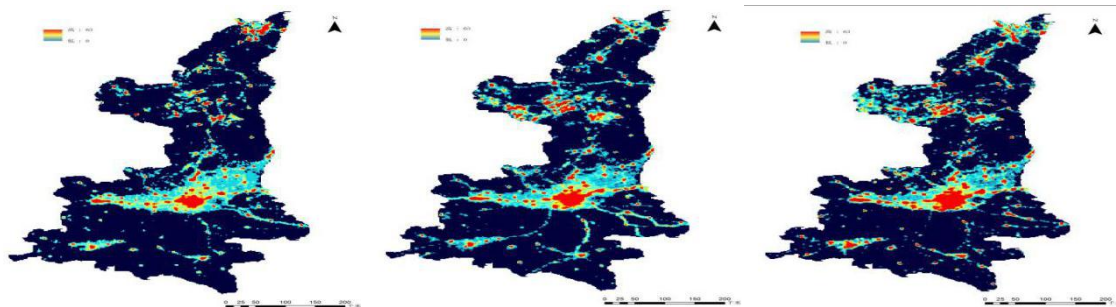


图 2 2000、2007、2013 年陕西省夜间灯光影像

Fig.2 The night light images in Shaanxi Province in the year 2000, 2007 and 2013

4.1.2 定量分析 选择 2000 年、2004 年、2008 年和 2013 年 4 个年度的城镇用地提取结果进行验证(如表 1), 结果显示, 利用 4 个年份的灯光影像提取到的各市(区)城镇用地面积与其统计值之间的相对误差绝对值, 除 2000 年安康市以外, 基本都控制在 10%以内, 说明利用 DMSP/OLS 灯光图像提取的陕西省各市(区)的城镇空间信息具有一定的可信性, 可以在此基础上进一步进行区域城镇扩展空间过程的研究。

表 1 不同年份DMSP/OLS数据最佳阈值与城镇用地面积估算值及对比  
Table 1 The optimal threshold of DMSP/OLS data in different years and the estimation of the urban area

地区 Districts	2000			2004			2008			2013		
	阈值 Threshold	面积(km <sup>2</sup> ) Area	误差(%) Error	阈值 Threshold	面积(km <sup>2</sup> ) Area	误差(%) Error	阈值 Threshold	面积(km <sup>2</sup> ) Area	误差(%) Error	阈值 Threshold	面积(km <sup>2</sup> ) Area	误差(%) Error
西安市	50	213	-1.02	57	251	1.53	60	370	5.77	61	723	9.91
铜川市	31	20	6.00	42	20	3.56	45	26	1.70	45	61	-0.86
宝鸡市	35	49	5.05	44	51	2.19	53	58	1.06	50	223	1.27
咸阳市	28	102	0.47	47	107	-1.36	50	128	0.91	59	269	2.33
杨陵区	37	7	0.00	48	9	-4.08	48	11	1.33	55	31	-3.07
渭南市	24	76	-5.63	40	81	-1.73	49	86	-2.31	50	297	9.13
汉中市	19	50	1.59	34	51	-1.51	38	53	-1.47	51	155	0.92
安康市	13	30	12.56	26	32	0.34	28	33	0.04	44	78	7.37
商洛市	19	20	-6.20	29	24	-3.11	37	28	3.21	48	63	-0.09
延安市	45	47	-2.78	51	49	-2.31	59	52	-2.50	57	121	-1.89
榆林市	42	42	-6.89	53	50	-4.81	57	64	-2.17	56	285	2.78

## 4.2 城镇用地扩张的时空特征

表 2 2000~2013 年陕西省 11 个地市(区)城镇扩展情况  
Table 2 The urban expansion of 11 cities in Shannxi from the year 2000 to 2013

地区 Districts	2000~2004			2005~2008				2009~2013			
	面积(km <sup>2</sup> ) Area	强度 Intensity	速度 Rate	面积(km <sup>2</sup> ) Area	强度 Intensity	速度 Rate	形态指数 Morphology index	面积(km <sup>2</sup> ) Area	强度 Intensity	速度 Rate	形态指数 Morphology index
陕西省	69	0.01%	2.62%	184	0.02%	6.32%	2.41	1397	0.14%	30.74%	4.86
关中地区	52	0.02%	2.77%	160	0.07%	7.66%	2.77	924	0.33%	27.10%	3.54
西安市	38	0.09%	4.46%	119	0.29%	11.85%	2.66	353	0.70%	19.08%	1.61
铜川市	0	0.00%	0.00%	6	0.04%	7.50%	-	35	0.18%	26.92%	3.59
宝鸡市	2	0.00%	1.02%	7	0.01%	3.43%	3.36	165	0.18%	56.90%	16.58
咸阳市	5	0.01%	1.19%	21	0.05%	4.77%	4.01	141	0.27%	21.07%	4.41
杨陵区	2	0.53%	7.14%	2	0.53%	5.56%	0.78	12	1.81%	12.63%	2.27
渭南市	5	0.01%	1.64%	5	0.01%	1.54%	0.94	221	0.34%	58.16%	37.69
陕南地区	7	0.00%	1.75%	7	0.00%	1.64%	0.93	183	0.05%	32.11%	19.58
汉中市	1	0.00%	0.50%	2	0.00%	0.98%	1.96	102	0.08%	38.49%	39.26
安康市	2	0.00%	1.67%	1	0.00%	0.78%	0.47	46	0.04%	28.75%	36.80
商洛市	4	0.01%	5.00%	4	0.01%	4.17%	0.83	35	0.04%	25.00%	6.00
陕北地区	10	0.00%	2.81%	17	0.01%	4.29%	1.53	290	0.07%	40.28%	9.39
延安市	2	0.00%	1.06%	3	0.00%	1.53%	1.44	69	0.04%	26.54%	17.34
榆林市	8	0.00%	4.76%	14	0.01%	7.00%	1.47	221	0.10%	69.06%	9.87

分别提取 2000、2004、2008 和 2013 年 4 个年度陕西省 11 个地市(区)的城镇用地空间分布的栅格数据, 并将用地扩展结果叠加(图 3), 结合表 2 分析各分区城镇用地的时空变化情况。

随着西部大开发、关中-天水经济区、“一带一路”战略的实施, 陕西省被赋予了关键性角色, “两环三纵七横六辐射”高速公路网、西安咸阳国际机场等都成为陕西发展的硬件支撑, 凭借得天独厚的区位和资源优势, 近年来陕西省城镇化进程逐步加快, 这些都直接促使建设投入的增加和城镇用地的扩展。从全省城镇用地变化来看, 陕西省的城镇用地面积从 2000 年的 659 km<sup>2</sup> 增加到 2013 年的 2306 km<sup>2</sup>, 增长了约 1.5 倍。从三个区域城镇用地变化来看, 2000~2013 年关中地区的城镇扩展最明显, 城镇用地面积增长量占到了全省的 66%, 陕北地区的城镇用地面积增长幅度最大, 14 年间增长了约 2.6 倍, 而陕南地区的城镇用地面积无论是增长幅度还是增长量均为最低, 14 年间仅增长了 197 km<sup>2</sup>。

统计数据显示 2008~2009 年仅 1 年时间全省城镇用地面积增长了近 1 倍, 查阅相关资料分析可能是由于 2009 年进行了第二次全国土地调查, 这一年城镇用地面积的变化既有当年实际增加所致, 也有两次土地调查数据的差异, 所以该时期的城镇用地扩展将不予分析。

分析年际变化, 第 1 个时段(2000~2004 年)陕西省的城镇用地扩展主要集中在以西安为中心的关中城市群, 到第 2(2005~2008 年)、3(2009~2013 年)两个时段陕北地区城镇扩展速度明显加快甚至超过关中地区。结合该地区的实际发展状况可知, 2005~2013 年是陕北地区的石油和煤炭工业快速发展期, 建设项目数量增加的同时城市设施也在不断完善, 引起了该地区城镇用地面积的大幅度增加; “十一五”期间, 关中城市群经历了一个快速发展期, 相比 2000 年前后, 该时期西安的带动和辐射作用明显增强, 基础设施尤其是交通的改善有力地推动了区域经济的发展, 因此在 2、3 两个时段关中地区新增建设用地量出现井喷式增长, 表 2 结果显示, 关中地区在第 2、3 两个时段的扩展强度分别是第 1 个时段的 2.1 和 13.7 倍; 陕南地区在 1、2 两个时段均呈低强度扩展的态势, 但到第 3 个时段, 城镇扩展速度迅速加快, 这主要是由于该时期陕南地区的移民搬迁工程及重点示范镇建设所引起的城镇用地需求的增加。

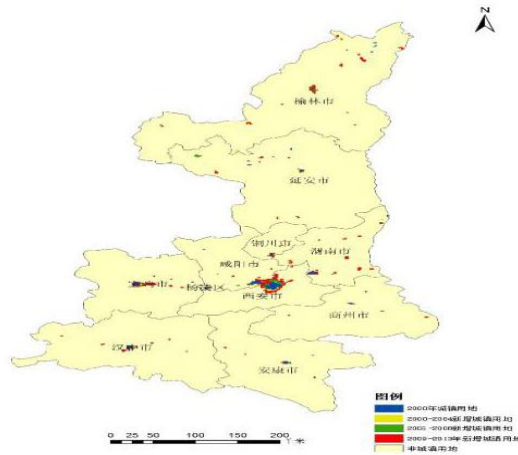


图 3 2000~2013 年陕西省城镇用地空间扩张示意图

Fig.3 Map of urban land expansion in Shaanxi from 2000 to 2013

### 4.3 城镇用地扩张的景观形态特征

城市斑块数目 NP 和景观形状指数 LSI 表征城镇扩展的程度。NP 值可反映整个景观的异质性, NP 值越大景观破碎度越高, 反之破碎度低, LSI 表征城镇用地形态的复杂度。2000~2008 年斑块数量和景观形状指数均有所波动但总体持平, 表明这一时段陕西省的城镇斑块趋于成片连通, 城镇用地趋于紧凑。2009 年之后 NP 值和 LSI 值缓慢增长, 表明该时期出现了一些新兴城镇。2000~2013 年城镇总面积 TA 和平均斑块面积 MPS 值持续增加, 14 年间陕西省城镇用地面积的年均增长速率约为 17.22%, 该数值要快于新兴城镇斑块的增长速率(9.17%), 以上结果表明 2000~2013 年间的陕西省的城镇化过程总体处于快速发展状态, 出现众多新兴小城镇, 但是原有城镇面积的扩张是该时期的城镇用地面积增加的主导因素。最大斑块指数(LPI)是最大斑块面积占斑块总面积的比例, 能表征区域城镇首位度。14 年间陕西省的 LPI 值呈波动上升趋势, 而西安市是本区域面积最大的城市, 这也充分说明近年来西安市的经济地位的日趋重要以及辐射周边城镇的能力日益凸显。连通性指数(COHESION)和聚集度指数(AI)表征城镇的一体化程度, 2000~2013 年间这两个指数总体上呈上升趋势, 表明城镇用地斑块在逐渐积聚, 景观连接度在提高, 城镇分布更集中。

### 4.4 城镇用地扩张类型

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来识别不同的城镇用地主导扩展

类型<sup>[13]</sup>。基本思路是:当提取阈值随时间推移不断增加时,为填充增强主导扩展类型,反之为外延主导扩展类型。

根据阈值提取结果,2000~2004年间陕西省各市(区)的城镇用地提取阈值基本上都呈不同程度的上升趋势,表明该时期为填充增强主导型扩展;2005年关中地区率先转向外延性扩展,陕北陕南仍以填充型扩展为主;2009~2013年,11个地市(区)的 $DN_T$ 值变化趋于一致,表现为 $DN_T$ 值的上升和下降交替出现,2009、2011年以外延主导型扩展为主,其余年份以填充增强型扩展为主。

## 5 结论

本文在传统的利用 DMSP/OLS 遥感影像提取城镇信息时使用统一阈值的基础上,采用了统计数据法提取陕西省11个地市(区)14年城镇化信息,结果表明陕西省近14年来城镇用地面积在逐步增加,关中地区城镇用地面积增长量最大,陕北地区城镇用地扩展幅度最大,陕南地区的城镇扩展相对缓慢;景观格局指标测度表明,2000~2013年全省城镇斑块的连接度和一体化程度在提高,西安市在全省的中心作用也在不断提升,全省城镇斑块数量和面积基本上呈上升趋势,斑块破碎度在加强,出现众多新兴小城镇,但是原有城镇面积的扩张是城镇用地面积增加的主导因素;利用各市(区)提取阈值 $DN_T$ 来判断城镇扩展的类型得出:2000~2008年关中地区扩展由填充增强型转向外延性扩展,陕北陕南地区保持填充增强型扩展类型不变,2009~2013年各市(区) $DN_T$ 值变化基本一致,城镇扩展类型在外延式扩展与填充式扩展之间交替变化。

## 参考文献

- [1] 王梦奎.中国中长期发展的重要问题(2006-2020)[M].北京:中国发展出版社,2005
- [2] 周一星.健康城镇化与城市土地增长[C].北京:健康城市化与城市土地利用研讨会,2005
- [3] 王琳,徐涵秋,李胜.福州城市扩展的遥感动态监测[J].地球信息科学,2006,8(4):129-135
- [4] He CY, Shi PJ, Li JG, *et al.* Restoring urbanization process in China in the 1990s by using non-radiance-calibrated DMSP/OLS nighttime light imagery and statistical data[J]. Chinese Science Bulletin, 2006,51(13):1614-1620
- [5] Cristina M, Christopher DE, Ramakrishna RN, *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
- [6] 杨洋,何春阳,赵媛媛,等.利用 DMSP/OLS 稳定夜间灯光数据提取城镇用地信息的分层阈值法研究[J].中国图象图形学报,2011,16(4):666-673
- [7] 王晓慧,肖鹏峰,冯学智,等.基于 DMSP/OLS 数据的中国大尺度城镇用地信息提取[J].国土资源遥感,2013,25(3):159-164
- [8] 邹进贵,陈艳华,田径,等.基于 ArcGIS 的 DMSP/OLS 夜间灯光影像校正模型的构建[J].测绘地理信息,2014,39(4):33-37
- [9] 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
- [10] 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
- [11] 布仁仓,胡远满,常禹,等.景观指数之间的相关分析[J].生态学报,2005,25(10):2764-2775
- [12] Riitters KH, O'Neill RV, Hunsaker CT, *et al.* A factor analysis of landscape pattern and structure metrics[J]. Landscape Ecology, 1995,10(1):23-39
- [13] 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