

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

Xiaomei Yang, Peng Qin\*

Qingdao Agricultural University, Qingdao Shandong  
Email: [1781929121@qq.com](mailto:1781929121@qq.com)

Received: Jan. 7<sup>th</sup>, 2020; accepted: Jan. 30<sup>th</sup>, 2020; published: Feb. 6<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

Taking Qingdao as the research object, based on the data of Qingdao city from 1992 to 2013, the night lights and the social economic data and geographical spatial data, the analysis of all kinds of lighting index and social factors of correlation index, index of Qingdao city lights and related social factors index of fitting degree is higher, and through the monitoring index of the urban land expansion characterization of 20 years of Qingdao, the change of the urban expansion and the spatial distribution changes. In addition, by means of geographical regression analysis and inversion, demographic and economic factors were used to represent the change of light index to verify the change of urban land expansion and spatial distribution in Qingdao. The results showed that the urbanization level of Qingdao continued to improve in the past 20 years, and the urbanization level gradually accelerated from 1992 to 2010. The spatial pattern of Qingdao's development presents the development driven by central circle and group. There will also be the problem of unbalanced spatial development. In the first 15 years, the development mainly centered on the east bank urban area, and in the last five years, more attention will be paid to the overall development.

## Keywords

Urban Land, Nighttime Lighting, Social Factors

---

# 基于DMSP/OLS夜间灯光数据青岛市城镇用地扩展研究

杨晓美, 秦 鹏\*

青岛农业大学, 山东 青岛  
Email: [1781929121@qq.com](mailto:1781929121@qq.com)

---

\*通讯作者。

收稿日期: 2020年1月7日; 录用日期: 2020年1月30日; 发布日期: 2020年2月6日

## 摘要

以青岛市为研究对象, 基于青岛市1992~2013年夜间灯光数据和社会经济数据以及地理空间数据, 分析灯光指数和各种社会因素指标的相关度, 得出青岛市灯光指数与相关社会因素指标的拟合度较高, 进而又通过城镇用地扩展的监测指标表征20年来青岛市的城镇扩展变化情况及空间分布变化情况。除此外, 通过地理回归分析反演, 运用人口、经济的因素表征灯光指数的变化验证青岛市城镇用地扩展变化以及空间分布变化。结果表明: 青岛市在20年间城镇化水平持续提高, 且在1992~2010年间城市化水平逐步加快, 在2010年后处于减缓趋势, 更加注重城市集约、节约型发展。青岛市发展的空间格局呈现中心圈层带动、组团式发展。也会存在空间发展不平衡的问题, 前15年主要以东岸城区为中心发展, 后5年更加注重整体发展。

## 关键词

城镇用地, 夜间灯光, 社会因子

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

城镇化是人类文明发展的必阶段。改革开放以来, 我国已经进入了快速城市化阶段。城镇用地扩展作统城镇化的主要表征, 是我国城市化在空间上表现最显著的特征之一[1]。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[2][3]。但是城镇扩展不仅会造成耕地资源的流失, 而且会深刻地影响全球覆被的变化, 从而对全球变化、碳循环、生物多样性等造成影响。遥感技术具有多波段、多时相以及覆盖范围广的特性使其在城市扩展监测、环境监测、生态评价、人口密度和城市规划管理等研究中得到了广泛的应用[4]。利用遥感图像提取城镇、农村居民地信息国内外已有大量研究。夜间灯光遥感数据来源于美国军事气象卫星DMSP (Defense Meteorological Satellite Pro-gram)搭载的OLS (Operational Linescan System)传感器。OLS有别于传统的传感器, 它具有很强的光电放大能力, 可在夜间工作, 能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, 并使之明显区别于黑暗的乡村背景[5]。DMSP/OLS数据与AVHRR具有相同空间分辨率, 为大尺度的城市研究提供一种独特数据获取手段[6]。利用夜间灯光遥感数据研究青岛市城镇用地扩展的空间格局及其过程对协调发展青岛市城镇用地扩展具有重要意义。

## 2. 研究区域与研究数据

### 2.1. 青岛市概况

青岛, 山东省地级市, 青岛是国家沿海重要中心城市、新一线城市、沿海开放城市、国际性的港口与滨海旅游度假城市、蓝色经济领军城市、国家历史文化名城, 青岛市居民幸福指数位居全国第二名, 被誉为“东方瑞士”。青岛作为世界啤酒之城、世界帆船之都, 是国务院批准的山东半岛蓝色经济区规

划核心区域龙头城市。截至 2017 年, 青岛市土地总面积为 11,292 平方公里, 辖市南区、市北区、李沧区、崂山区、城阳区、即墨区、黄岛区 7 个区, 代管平度、莱西、胶州 3 个县级市, 有 1 个国家级新区, 总人口为 929.05 万人, 人口密度为 823 人/平方公里。截止到 2017 年年末, 青岛地区生产总值 11,037.28 亿元, 人均 GDP 达到 109,407 元[7]。

## 2.2. 数据来源

### 2.2.1. DMSP/OLS 稳定夜间灯光数据

采用的 1992~2013 年青岛市 DMSP/OLS 夜间灯光数据来源于美国国家地理信息中心网站 (<https://ngdc.noaa.gov/eog/download.html>), 此数据具有以下几点优势: 1) 基于 DMSP/OLS 的灯光影像的地面分辨率为  $0.0083333^{\circ}$ , 约 1 km 左右[8], 影像数据量非常小, 甚至不到 TM 数据的 1%, 处理方便; 2) 基于 DMSP/OLS 的夜间灯光影像可以反映综合性信息[9], 可以探测小规模居民地、平流发出的低强度灯光, 适合大尺度城市上动态监测, 在研究城市拓展变化、对生态环境及能源影响、建成区提取、与城市发展的相关性方面有极大优势。3) 数据是基于完美质量规则进行合成的: ① 收集从 1500 公里宽半径为中心获得的数据; ② 不受日光或月光的影响; ③ 去除眩光灯; ④ 收集晴天获得的数据和⑤ 排除极光影响。

### 2.2.2. 统计数据和辅助数据

青岛市各项指标数据来源于《青岛市统计年鉴》、国家统计局官网; 青岛市行政边界 1:100 万、1:400 万矢量来源于国家基础地理信息中心网站。

## 2.3. 数据预处理

### 2.3.1. 夜间灯光数据校正

在 Arcgis10.5 软件中用青岛市行政区划矢量文件将下载的 1992~2013 年 22 个年份的稳定的无云的夜间灯光数据进行裁剪, 查看其属性表, 进而进行数据校正。因为获取夜间灯光影像有 6 个不同传感器, [8]而 DMSP 不同传感器具有不同的辐射探测性能(包括辐射探测限值和辐射饱和值), 且探测光谱波段也存在细微差别, 因此不同传感器获取相同的年份的影像有所不同[10]; 此外, 随着时间的推移, 各传感器的辐射探测能力也逐渐衰退。而不同 DMSP 卫星搭载的 OLS 传感器未对影像数据进行星上标定和相互校正, 导致不同年份不同传感器间的长时间序列数据不具有连续性和可比性[11]。主要存在以下问题: 1) 由于没有星上定标, 同一传感器获取的不同年份的数据存在异常波动。2) 由于卫星的衰退及不同传感器的探测性能不同, 造成了不同传感器间不同年份影像数据不连续且不同传感器获取的相同年份数据不相同: 比如 F12 和 F14 获得的 1997 年的总 DN 值相差 31.5%, F15 和 F16 获得的 2007 年的总 DN 值相差 26.2%。[12]。3) F18 相较于其他传感器存在突变现象, F16 获得的 2009 年数据和 F18 获得的 2010 年数据跨度非常大。4) 灯光数据有上界。由于灯光数值的可取范围为 0-63, 如果一个省或市的灯光最高亮度值达到 63 时, 会出现不能继续增加的情况, 这与 GDP 增长没有上限是符合的, 因此可能会降低灯光数据与真实 GDP 间相互拟合的程度。为解决上述问题, 在对 DMSP/OLS 稳定夜间灯光数据进行研究和利用时, 必须对其进行传感器间相互校正、连续性校正等。[13]为了减少这种情况带来的误差, 首先对灯光数据进行了预处理。在范小晶[14]等关于能源和夜间灯光的研究中提到不同传感器同一年份数据误差较大, 其中最明显的是 F14 与 F12 和 F15 之间的差异。因此我们对于不同年份的夜间灯光数据采用两种方式减小误差。如下:

1) 对传感器的相互校正使用伪不变区域作为标准区域, 使用伪不变区域的某一年份数据作为参考数据, 在校正年份跨度大的数据时会受伪不变区域中“伪”的影响, 削弱年际变化[13]。采用张梦琪等人基于伪不变区域的依次校正的方法: a) 使用累计 DN 值高且表现稳定的传感器作为参考传感器 F16; b) 使用参考传感器的历年数据向前或向后去校正与它临近的传感器 F14 的数据, 依据最小二乘法对相同年份

的数据 F16、F14 建立回归方程；c)利用该方程校正 F14 的历年数据；d) 使用校正后的传感器 F14 作为标准，再次向前或向后校正下一个传感器，以此类推，依次校正所有传感器。校正过程中，如果两个临近传感器没有重合年份，则使用相邻两个年份的数据作回归，建立两个传感器间的校正方程。依次校正的方法使用相同年份或相邻年份的数据作比较，控制了经济发展对校正结果的影响，能够在连续性校正的同时保留经济发展特征(见图 1)。

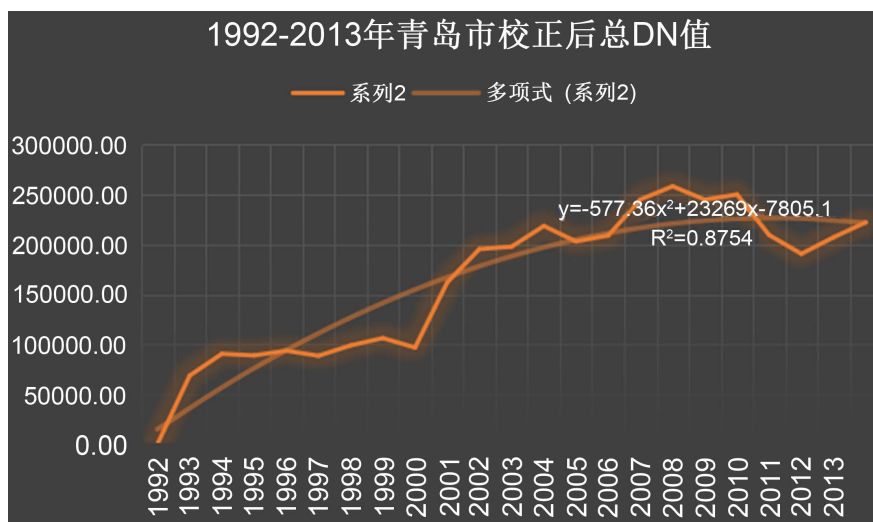


Figure 1. DN values after mutual correction for different years in Qingdao city  
图 1. 青岛市不同年份相互校正后 DN 值

2) 求取相同年份不同传感器的均值

$$DN_{avg} = \frac{DN_1 + DN_2}{2}$$

其中式中  $DN_{avg}$  为求取平均之后的 DN 总值， $DN_1$  为相同年份其中一个传感器的 DN 值， $DN_2$  为相同年份另一个传感器的 DN 值(见图 2、图 3)。

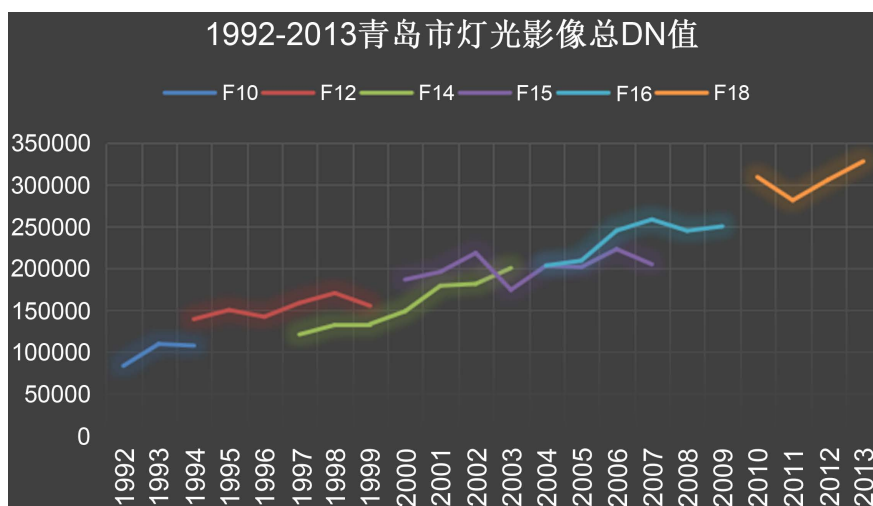


Figure 2. DN values of different sensors in each year in Qingdao  
图 2. 青岛市不同传感器各年份 DN 值

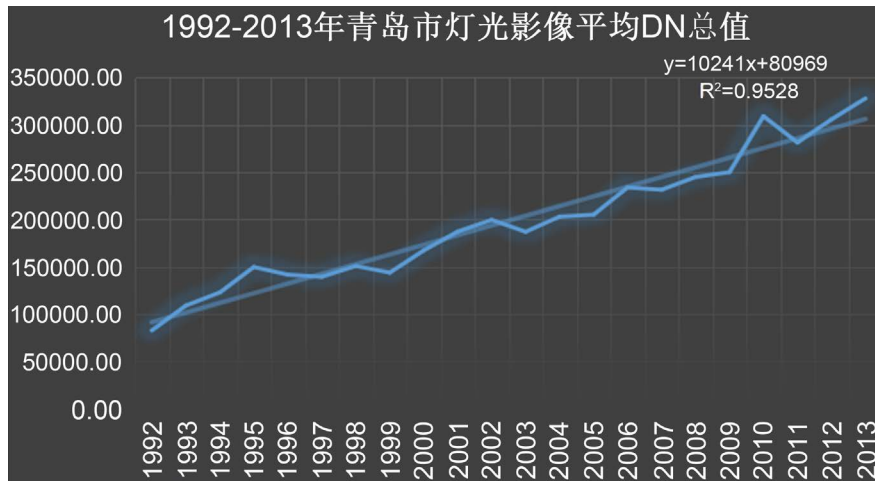


Figure 3. DN value after mean correction for different years in Qingdao  
图 3. 青岛市不同年份均值校正后 DN 值

### 3. 研究方法

#### 3.1. DN 值与统计指标相关性分析

选取青岛市 1992~2013 年建成区面积、全年用电量、青岛市财政收入、年末总人口、GDP 几项社会因子指标使用 SPSS 软件进行相关性分析，最终选用两种函数模型来表征灯光影像与城市社会因子的关系，具体结果见表 1。

Table 1. DN value and correlation index analysis table  
表 1. DN 值与相关指数分析表

指标方法	建成区面积(km <sup>2</sup> )	全年用电量(亿千瓦时)	地方财政收入(万元)	人均 GDP(元/人)	年末总人口(万人)	GDP(万元)
皮尔逊相关性	0.926	0.972	0.926	0.962	0.958	0.959
肯德尔 tau_b	0.913	0.905	0.896	0.913	0.913	0.913
斯皮尔曼 Rho	0.982	0.981	0.979	0.982	0.982	0.982
指标方法	社会从业人数(万)	规模以上固定资产投资总额(万)	绿地面积(公顷)	公园绿地面积(公顷)	人均公园绿地面积(m <sup>2</sup> )	建成区绿化覆盖率(%)
皮尔逊相关性	0.962	0.926	0.956	0.955	0.947	0.939
肯德尔 tau_b	0.896	0.931	0.913	0.905	0.901	0.883
斯皮尔曼 Rho	0.979	0.988	0.982	0.981	0.978	0.972

由表 1 可以看出采用皮尔逊相关性方法研究中，DN 值与全年用电量的相关性最强，为 0.972，相关性最小的是建成区面积及规模以上固定资产投资总额，为 0.926，但相关性均大于 0.9，相关性显著；且在与城市建成区的显著性检验中，显著性<0.05 (见表 4)，符合检验要求。因此，我们可以用夜间灯数据来表征城镇扩展变化。

### 3.2. 数据处理

在 22 年份的夜间灯光数据中, 最终选取四个年份 1992、1998、2003、2008、2013 (1992、2000、2010、2013) 稳定、无云的夜间灯光影像(不需进行大气校正); 建立数据系统库, 对影像进行目视解译, 因为青岛市的 GDP 值一直处于上升的状态, 因此初步判断夜间灯光亮度与城镇扩展的关系为正相关。将 1992 年的灯光数据加入到 ENVI 中, 进行线性 2% 拉伸, 使用修改后的青岛市矢量边界对灯光数据进行裁剪, 裁剪的灯光数据使用 ENVI 进行非监督分类处理, 分类为 6 类并进行分类后处理, 小图斑去除, 分类统计; 分类后将不同年份矢量文件连接到软件中, 在 Arcgis 中进行数据处理。获取分类后文件属性表中的图斑的相关信息(包括图斑面积和周长)以及栅格文件中像元的信息(包括像元数量及灰度值), 在 excel 表中进行公式计算, 计算出相关指数。本研究基于对城镇用地扩展监测指标“扩展强度指数”、“紧凑度指数”、“分维指数”、“稳定性指数”、“年平均扩展速率”等进行分析, 对城镇用地扩展变化与各因素关系进行客观分析, 并找出青岛市扩展规律。

### 3.3. 城市扩展指标

#### 1) 城镇扩展速度

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[15]。计算公式为

$$W = \frac{\Delta A}{\Delta t \times A} \times 100\% \quad (1)$$

其中  $W$  为城镇扩展速度;  $A$  为初期夜间灯光高值区表征的城镇用地总面积;  $\Delta A$  为后期城镇用地扩展面积;  $\Delta t$  为时间间隔。城镇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。

#### 2) 城镇扩展强度指数

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[15]。计算公式为

$$UII = \frac{\Delta A}{\Delta T \times TA} \times 100\% \quad (2)$$

其中  $UII$  为城市扩展强度指数;  $TA$  为土地总面积,  $A$  为初期城镇用地总面积;  $\Delta A$  为夜间灯光高值区表征的城镇用地扩展面积;  $\Delta t$  为时间间隔。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。

#### 3) 城镇扩展形态指数

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, 表征城镇用地的扩展模式[15]。计算公式为

$$U = \frac{W2}{W1} \quad (3)$$

其中  $W2$  表示一定时期内的扩展速度,  $W1$  表示上一时期内的扩展速度, 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。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, 在本文中利用扩展速度表征城镇用地的扩展模式。

### 3.4. 城市空间形态指数[16] [17]

#### 1) 紧凑度指数

城市紧凑度指数数值越大, 说明其形状的紧凑性越有紧凑度。计算公式为

$$BCI = 2\sqrt{\pi A}/P \tag{4}$$

其中  $BCI$  为城市外部形态的紧凑度,  $A$  为夜间灯光亮度高值表征的建成区面积,  $P$  为相应建成区外围轮廓的周长。城市紧凑度指数数值越大, 说明其形状越有紧凑性, 反之, 说明形状的紧凑性越差。

#### 2) 分维指数

分维指数越大表明形态越复杂、边界越规则。计算公式为:

$$D = 2 \ln(A/4)/\ln P \tag{5}$$

其中  $D$  为城镇区域图斑的分维指数,  $A$ 、 $P$  分别表示斑块的面积和周长。 $D$  值越大表明形态越复杂、边界越不规则。

#### 3) 稳定性指数

稳定性指数数值越大, 表示空间形态越稳定:

$$ST = |1.5 - D| \tag{6}$$

$ST$  为稳定性指数,  $D$  为分维指数,  $ST$  值越大表示空间形态越稳定。

## 4. 青岛市城镇扩展分析

### 4.1. 青岛市城市扩展信息

城镇用地范围为建设用地一级类型中的城镇用地, 指大、中、小城市及县镇以上建成区用地。对城镇用地扩展的研究, 主要指在研究时段的起止之间探究城镇用地在数量结构上的特点和变化[18]。城市化扩展的主要特征是建成区面积随着城市化不断加快出现不断向外延伸和面积增加的现象[19]。

#### 4.1.1. 数据分析

1) 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。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[15]。扩展形态指数指一定时期内城镇用地面积的年增长率与上一个时期年增长率的比值, 表征城镇用地的扩展模式。如表 2, 1992~2000 年, 青岛市城镇扩展强度指数是 0.73; 2000~2010 年, 青岛市城镇扩展强度指数是 0.79; 2010~2013 年, 青岛市城镇扩展强度指数是 0.13; 由此可以得出 1992~2010 期间, 城镇扩展的强度最大, 2010 年后城镇扩展速度减缓, 属于减速型发展模式。整体而言, 青岛市逐步向集约节约的方向发展。减缓规模的扩张, 注重集约的发展。

2) 城市紧凑度指数数值越大, 说明其形状的紧凑性越有紧凑度[15]。如表 3, 自 1992~2013 年, 紧凑度指数呈减小趋势, 整体稳定在 0.6~0.7 之间; 说明青岛市建成区由紧凑的形态布局逐渐分散, 不局限于某一地区的发展, 而是扩展为整体的发展, 辐射带动发展多个中心圈。

Table 2. Extended quality index

表 2. 扩展质量指标

年份	扩展强度指数(%)	扩展速度(%)	扩展模式
1992~2000	0.73	9.34	0.62 减速型
2000~2010	0.79	5.77	
2010~2013	0.13	0.61	

**Table 3.** Spatial morphology index  
**表 3.** 空间形态指标

年份	紧凑度指数	分维指数	稳定性指数
1992	0.66	9.59	8.09
2000	0.63	11.43	9.93
2010	0.62	11.65	10.15
2013	0.60	17.78	16.28

3) 分维指数越大表明形态越复杂、边界越规则; 稳定性指数数值越大, 表示空间形态越稳定。数据可以看出青岛市城镇区域形态相对复杂, 边界不规则, 但空间形态稳定逐步增强。

#### 4.1.2. 制图分析

1) 通过 1992、2000、2010、2013 四个年份的灯光指数图可以明显看出 1992~2010 年城镇是逐步扩展的, 灯光高亮度值的区域逐渐扩大, 2010~2013 年相对稳定, 变化不明显(如图 4)。

2) 由 1992~2013 年城镇扩展图可以看出青岛市总体上符合“三带一轴、三湾三城、组团式”的空间发展布局。自 1992 年至 2013 年, 以市南区、市北区为主的东岸城区、以城阳为主的北岸城区以及西岸城区构成的中心湾区为发展主力, 发展迅速, 并联动发展即墨区、胶南市(黄岛区), 东部湾区(鳌山湾)、西部湾区(灵山)、平度市、莱西市相对发展缓慢(如图 5、图 6)。

#### 4.2. 社会因子分析

城市化进程发展不合理会引起很多问题如城市热岛、空气污染、温室气体和健康风险的增加。因此, 调查城市化进程及其对中国社会的影响对于管理和决策的可持续发展至关重要。从 1990 年代到 2009 年, 几乎所有中国地级市扩张的夜间灯光照明区域, 皆由当地普遍的城市化进程造成的。其中, 采用线性模型回归分析, 夜间照明区域的扩张与城市电力消耗的增加量呈显著正相关, 相关程度达 97.2%; 夜间灯光值与城市 GDP 之间呈正相关, 相关程度高达 95.9%; 并且城市人口增长与加权夜间照明区域的扩张呈显著正相关, 线性模型相关程度高达 95.8%; 此外, 城市建成区面积增长趋势也非常明显, 与夜间灯光数据同样呈正相关, 相关程度高达 92.6%。这些结果表明, DMSP/OLS 夜间灯光的变化与青岛市的空间和社会经济活动存在统计学上同步变动的相关性(如表 4)。

**Table 4.** Correlation function model  
**表 4.** 相关性函数模型

DN 值与相关指数相关性分析						
	函数	R	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	标准估算的错误	显著性
DN 值与建成区面积	线性	0.926	0.857	0.85	39.69	0.003
	指数	0.962	0.925	0.921	0.137	0.000
DN 值与全年用电量	线性	0.972	0.945	0.942	23.301	0.000
	指数	0.963	0.928	0.924	0.173	0.000
DN 值与青岛市 财政收入	线性	0.926	0.857	0.85	876,693.224	0.000
	指数	0.966	0.934	0.931	0.305	0.000



Continued

DN 值与年末总人口	线性	0.958	0.919	0.914	10.11	0.000
	指数	0.957	0.916	0.912	0.014	0.000
DN 值与 GDP	线性	0.959	0.92	0.916	6,088,644.861	0.000
	指数	0.974	0.949	0.947	0.223	0.000

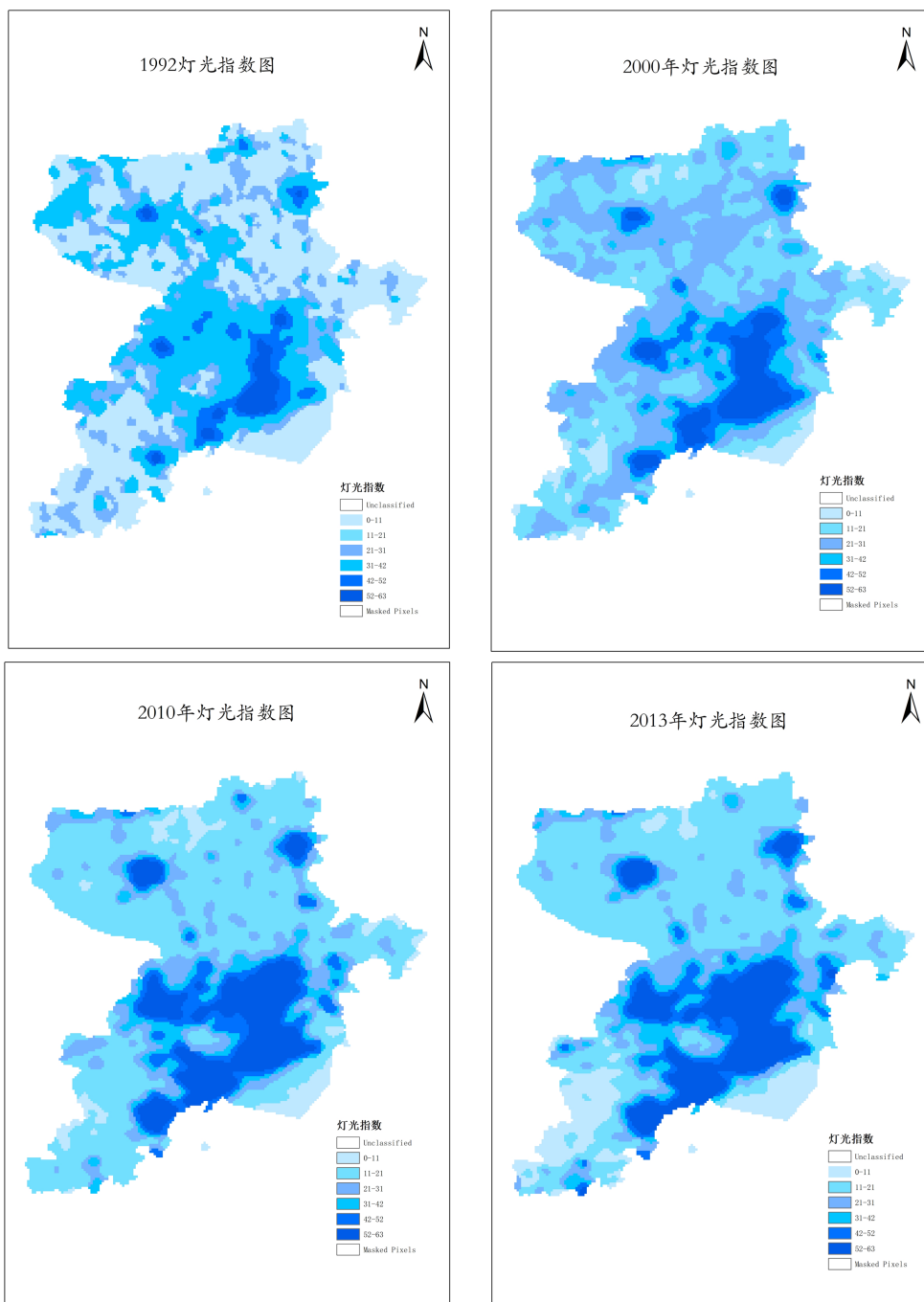


Figure 4. Lighting index chart of Qingdao in different years

图 4. 青岛市不同年份灯光指数图

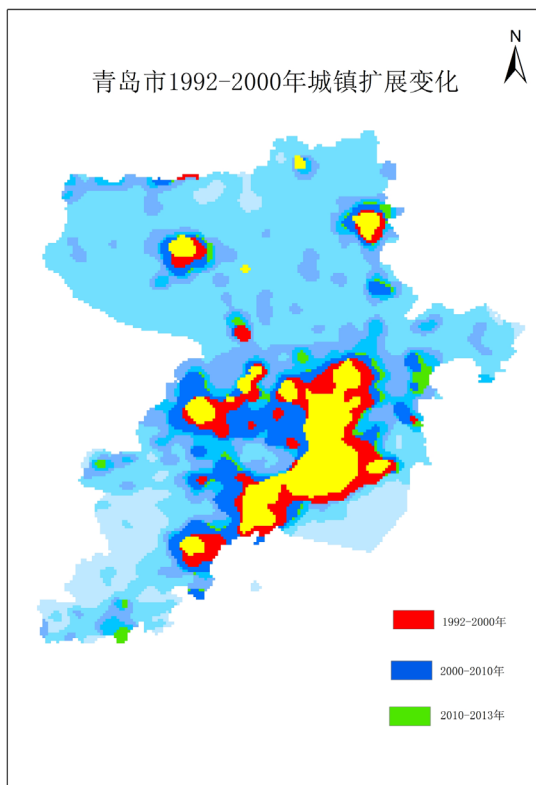


Figure 5. Urban expansion and change map of Qingdao city  
图 5. 青岛市城镇扩展变化图

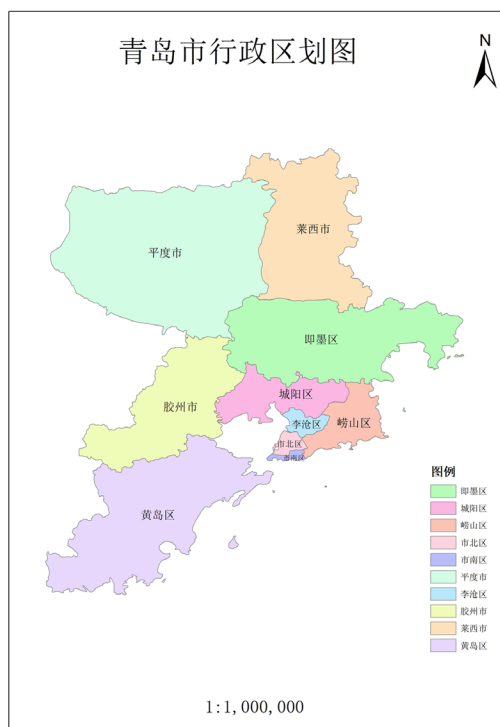


Figure 6. Administrative district map of Qingdao city  
图 6. 青岛市行政区划图

### 4.2.1. 夜间灯光与 GDP

#### 1) 地理加权回归(GWR)

在回归分析中我们往往分析的是两种具有时间序列数值的相关性，是统计学中统计的各种数值的相关程度，普通的回归分析往往不能解释数据空间上关系，而通过地理加权回归则就可以将地理位置要素考虑在内，在分析中会对地理因素给予一定的权重，然后再进行空间各要素的相关分析。是采用通过在线性回归模型中假定回归系数是观测点地理位置的位置函数，将数据的空间特性纳入模型中，分析回归关系的空间特征的方式，以表征空间异质性[20]。

#### 2) 青岛市经济影响因素的空间异质性

a) 影响因素变量选取各区市年末总人口、固定资产投资、从业人口数三个基本变量，用以表征 GDP 发展状态来确定使用哪一种回归分析，分析结果如下：(见图 7、图 8)

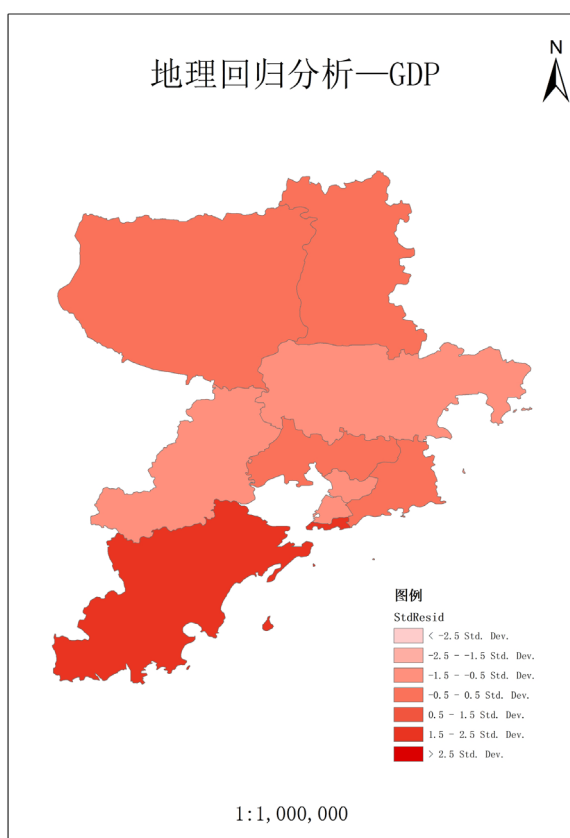
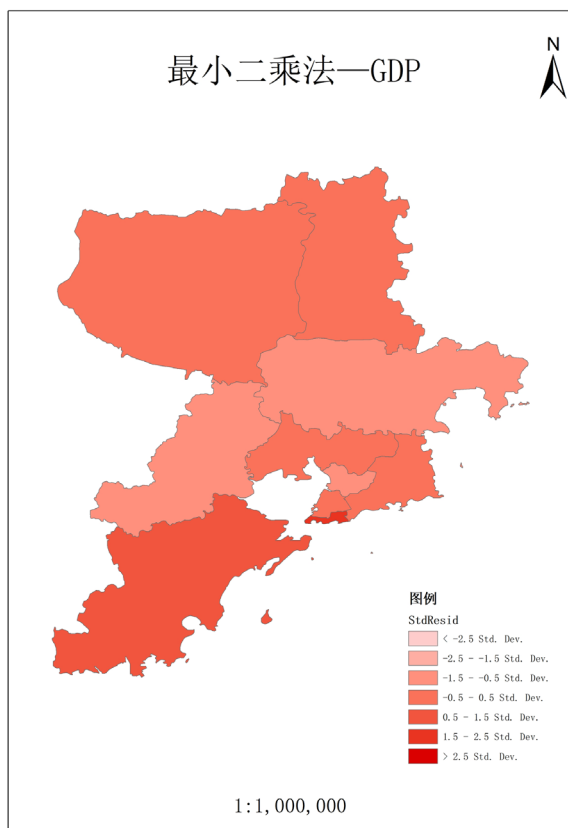


Figure 7. Geographical regression analysis-GDP

图 7. 地理回归分析-GDP

图 7、图 8 中的不同的数值和颜色，代表的是系数的标准误差。它是用来衡量每个系数估计值的可靠性。标准误差与实际系数数值相比较小时，代表着估计值的可信度会更加高。而较大标准误差的原因可能是存在局部多重共线性问题。官方说法中，需要检查超过 2.5 倍标准差的地方，这些地方可能会有问题，在本图中即黄岛区和市南区。通过数值的对比可以看出地理回归模型的拟合程度更好，黄岛区和市南区的颜色更浅代表着拟合程度更好，模型的准确度更高。AIC c 是模型准确度的一种度量，可以比较不同的回归模型。一般来讲，数值越低拟合程度越好。在本次模型构建中，相较于最小二乘法，地理回归加权的 AIC c 值具有更佳的效果。



**Figure 8.** Least square method-GDP

**图 8.** 最小二乘法-GDP

b) 将平均灯光强度作为被解释变量，人口、GDP、从业人口数以及 DN 值作为解释变量，用地理回归加权进行分析(如表 5)。

**Table 5.** Statistics of geographical regression analysis data

**表 5.** 地理回归分析数据统计

VARNAME	VARIABLE
Bandwidth	132769.21
ResidualSquares	250.17
EffectiveNumber	5.54
Sigma	7.49
AICc	106.94
R <sup>2</sup>	0.94
R <sup>2</sup> Adjusted	0.88

1) 在核估计中，核函数对回归分析结果的影响比较小，但是带宽(Bandwidth)对结果影响非常大，因此宽带是“地理加权回归”的最重要参数。宽带是指控制模型平滑程度的一项指标。在本次回归模型中，

为辐射超过青岛市的半径范围, 采用的带宽较大, 准确性较高。

2) Residual Squares 是指模型中的残差平方和。残差测量值越小, 地理回归模型与观测数据的拟合程度越高。在本次的模型中, 测量值较大, 拟合度程度较好。

3) Effective Number 这个数值的结果与带宽的选择有关。是拟合值的方差与系数估计值的偏差之间的折衷表示[21] [22]。Sigma 西格玛值为标准化剩余平方和(剩余平方和除以残差的有效自由度)的平方根[21] [22]。代表着残差的估计标准差。数值越小越好。主要用于 AIC c 计算。

4)  $R^2$ :  $R^2$  是拟合度的一种度量。其值在 0.0 到 1.0 范围内变化, 数值越大代表着拟合度越高。 $R^2$  计算的分母为因变量值平方和。因此在增加一个解释变量的时候, 分母不变, 但是分子会发生改变, 这就可能出现拟合度上升的情况, 但大部分都是假象, 因此这个值仅作为参考, 大多数用下面的校正后的  $R^2$ 。

5)  $R^2$  Adjusted: 校正的  $R^2$  的计算将按分子和分母的自由度对它们进行正规化[21] [22]。这对模型中变量数有补偿的效果, 所以校正的  $R^2$  值一般小于  $R^2$  值。在此模型中校正的  $R^2$  值为 0.88, 相关性较强。 $R^2$  值大于 0.85, 所以可以用人口, GDP, 从业人口数, DN 值表征平均灯光指数。通过用地理加权回归反演灯光指数验证夜间灯光数据表征扩展强度的方法是可行的。

由图 9、图 10 可以看出青岛市的平均灯光强度与人口、GDP 发展水平基本保持一致, 在 1992~2013 年间人口、经济主要集中于市南区、市北区、崂山区、李沧区并不断向外延伸发展。加入地理因素的综合考虑后, 市南区、市北区、崂山区、符合沿海岸城市经济发展水平高、灯光指数强的状况, 平度市、城阳区的分析结果存在误差。

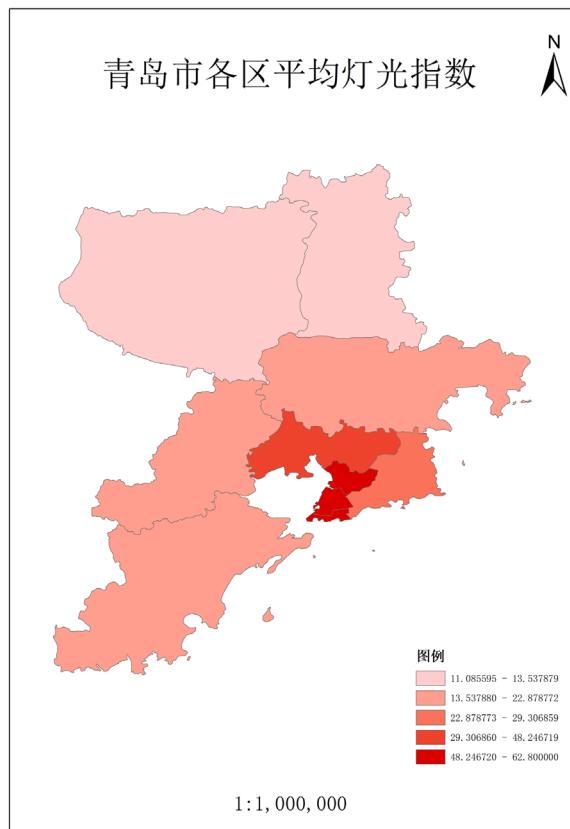
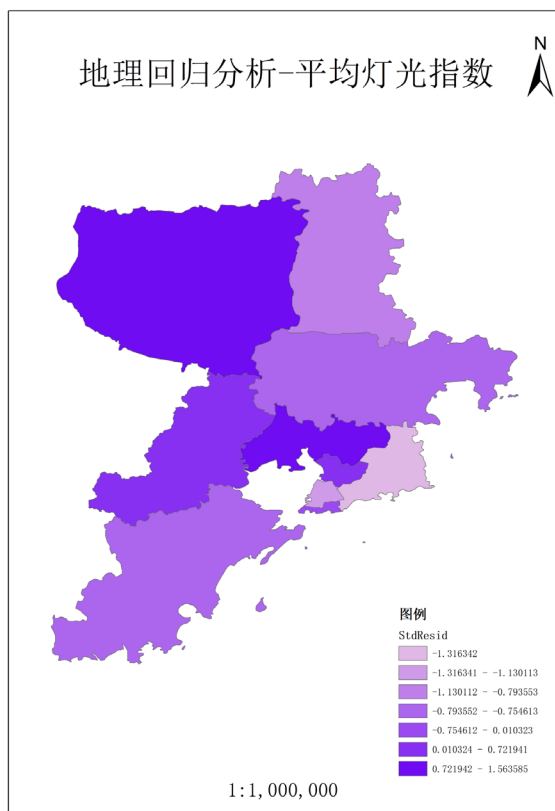


Figure 9. Qingdao district mean light index  
图 9. 青岛市各区平均灯光指数



**Figure 10.** Geographical regression analysis-mean light index  
**图 10.** 地理回归分析 - 平均灯光指数

## 5. 研究总结

本文采用夜间灯光数据测度城镇化水平的方法, 基于城镇用地扩展监测指标“扩展强度指数”、“紧凑度指数”、“分维指数”、“稳定性指数”、“年平均扩展速率”进行分析, 通过各指标表征城镇扩展水平及其空间格局分布。分析 1992 年、2000 年、2010 年、2013 年青岛市 DMSP/OLS 夜间灯光影像数据可知: 在这 20 年间, 青岛市城镇化水平持续提高, 且在 1992~2010 年间城市化水平逐步加快, 在 2010 年后处于减缓趋势, 更加注重城市集约、节约型发展。青岛市发展的空间格局呈现中心圈层带动、组团式发展。以市南区、市北区为主的东岸城区、以城阳为主的北岸城区以及西岸城区构成的中心湾区为发展主力, 发展迅速, 并联动发展即墨、胶南, 东部湾区(鳌山湾)、西部湾区(灵山)、平度市、莱西市相对发展缓慢。通过地理回归加权分析也可以验证此推断, 通过夜间灯光数据表征城镇扩展状态具有一定的优势, 可以较好的表征青岛市 20 年来的城镇扩展状况, 但也存在劣势, 如灯光区域的漂移、灯光像元溢出、城市中心的饱和和现象等会存在相应的误差[23], 会影响到指标因子表征城镇扩展的准确度。总体而言, 青岛市的发展基本符合规划的预期, 但也存在发展不平衡的问题。

## 参考文献

- [1] 秦鹏, 郭德明. 青岛市城镇用地扩展研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(S1): 401-404.
- [2] 罗佳丽, 杨海娟, 徐纳, 李梦, 李姣姣. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的陕西省城镇用地扩展研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2017, 48(1): 64-69.
- [3] 李标. 中国集约型城镇化及其综合评价研究[D]: [学位论文]. 成都: 西南财经大学, 2014.

- [4] 李爱民. 基于遥感影像的城市建成区扩张与用地规模研究[D]: [博士学位论文]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2009.
- [5] 王跃云, 徐昀, 朱喜钢. 江苏省城镇建设用地扩展时空格局演化——基于 1993、1998、2003 年度夜间灯光数据的分析[J]. 现代城市研究, 2010, 25(2): 67-73.
- [6] 舒松, 余柏菡, 吴健平, 刘红星. 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.
- [7] 岳艳. 青岛市社区银行发展的影响因素及对策研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛科技大学, 2016.
- [8] 陈龙胤. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光影像的中国东部沿海地区城市扩张监测与分析[D]: [硕士学位论文]. 长春: 东北师范大学, 2014.
- [9] 杨眉, 王世新, 周艺, 王丽涛. DMSP/OLS 夜间灯光数据应用研究综述[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(1): 45-51.
- [10] 曹子阳, 吴志峰, 匡耀求, 黄宁生. DMSP/OLS 夜间灯光影像中国区域的校正及应用[J]. 地球信息科学学报, 2015, 17(9): 1092-1102.
- [11] 邹进贵, 陈艳华, 田径, 王涛. 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.
- [12] 程志刚, 杨欣悦, 董思言, 孙晨, 吴洋. 利用城市夜间灯光资料和 NDVI 研究成都地区植被覆盖度变化[J]. 气象科技进展, 2016, 6(1): 14-20.
- [13] 张梦琪, 何宗宣, 樊勇. DMSP/OLS 稳定夜间灯光影像的校正方法[J]. 测绘通报, 2017(12): 58-62+76.
- [14] 范小晶, 张永福, 程珍珍. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的新疆 1992-2013 年能源消费研究[J]. 国土资源遥感, 2019, 31(1): 212-219.
- [15] 赵敏, 程维明. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的城市空间扩展研究综述[J]. 测绘与空间地理信息, 2015, 38(3): 64-68.
- [16] 王雪微, 王士君, 宋颍, 胡海峰. 长春市城市建设用地演进的空间识别及影响机制研究[J]. 地理科学, 2015, 35(7): 873-881.
- [17] 刘沁萍, 杨永春, 付冬暇, 李鸿轶, 田洪阵. 基于 DMSP-OLS 灯光数据的 1992-2010 年中国城市空间扩张研究[J]. 地理科学, 2014, 34(2): 129-136.
- [18] 李平星, 樊杰. 城市扩张情景模拟及对城市形态与体系的影响——以广西西江经济带为例[J]. 地理研究, 2014, 33(3): 509-519.
- [19] 秦鹏, 董玉祥, 李裕梨. 广州市城镇用地扩展及预测分析[J]. 资源科学, 2012, 34(10): 1881-1890.
- [20] 张洁. 基于 GWR 模型的城市住宅地价空间分异研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [21] 玄海燕, 罗双华, 王大斌. GWR 模型中权函数的选取与窗宽参数的确定[J]. 甘肃联合大学学报(自然科学版), 2008, 22(3): 10-12.
- [22] 字玥. 基于 GWR 模型的城市住宅地价空间分异对比研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2017.
- [23] 韩向娣, 周艺, 王世新, 刘瑞, 姚尧. 夜间灯光遥感数据的 GDP 空间化处理方法[J]. 地球信息科学学报, 2012, 14(1): 128-136.