

基于夜间灯光数据的太湖流域城镇开发程度数据集

顾羊羊¹, 乔旭宁^{2*}, 林乃峰¹, 徐梦佳¹, 黄贤峰³

1. 生态环境部南京环境科学研究所, 南京 210042;
2. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454003;
3. 贵州省环境科学研究设计院, 贵阳 550081

摘要: 利用 DMSP/OLS 稳定夜间灯光数据, 结合社会经济发展数据, 借鉴土地利用程度的概念, 构建太湖流域城镇开发程度数据集并验证。数据结果表明: 基于夜间灯光数据构建的城镇开发程度指数能够综合反映经济水平、城镇边界扩张、非农人口比例等城镇发展特征, 有效表征城镇扩张现象。2000–2010 年, 太湖流域城镇开发程度主要围绕 2000 年各地市中心城区往四周扩散增加, 流域北部、东部以及东南部平坦的地形、便捷的交通, 人类活动剧烈, 城镇开发程度快速增加。流域西南部以及西部地区受地形等自然因素影响, 城镇开发程度增加缓慢。该数据集包括 2000–2010 年太湖流域城镇开发程度数据。该数据集的分析研究成果发表在《生态学报》2018 年第 38 卷第 16 期。

关键词: 夜间灯光数据; 城镇扩张; 城镇开发程度; 太湖流域; 生态学报

DOI: 10.3974/geodp.2019.01.11

1 前言

城镇开发是一个涉及社会经济、人口、地域空间等诸多方面复杂过程, 城镇开发程度能够有效反应城镇扩张现象^[1]。加强城镇扩张监测, 对区域可持续化管理具有重要意义。美国军事气象卫星 (Defense Meteorological Satellite Program, DMSP) 搭载的传感器 (Operational Linescan System, OLS) 获取的夜间灯光影像数据, 能够有效探测城市夜间灯光甚至小规模居民地、车流等产生的低强度灯光信号, 是监测人类活动、进行城镇开发研究的良好数据源^[2–3]。DMSP/OLS 夜间灯光数据已经被国内外学者广泛的运用于城市发展^[4], GDP 空间化^[5–6], 能源消耗碳排放^[3]以及生态环境影响^[7]等领域。目前, 基于 NDVI 植被覆盖变化^[8]、土地利用/覆被变化^[9]、潜在 NPP 变化^[10–11]等指标间接分析人类活动变化研究较多, 使用夜间灯光数据量化城镇开发程度表征人类活动研究较少^[7]。研究单元很少涉及县域或更小尺度。本文利用 DMSP/OLS 稳定夜间灯光数据, 结合社会经济发展数据, 借鉴土地利用程度的概念, 构建太湖流域城镇开发程度数据集。该数据集能够为制定差异

收稿日期: 2019-01-07; 修订日期: 2019-03-10; 出版日期: 2019-03-25

基金项目: 中华人民共和国科学技术部 (2017YFC0506606, 2016YFC0502106); 国家社会科学基金 (14BJY021); 河南理工大学 (T2018-4); 中央级公益性科研院所基本科研业务专项 (GYZX180202)

*通讯作者: 乔旭宁 A-2330-2019, 河南理工大学测绘与国土信息工程学院, qiaoxuning@126.com

数据引用方式: [1] 顾羊羊, 乔旭宁, 林乃峰等. 基于夜间灯光数据的太湖流域城镇开发程度数据集[J]. 全球变化数据学报, 2019, 3(1): 76–82. DOI: 10.3974/geodp.2019.01.11.

[2] 乔旭宁, 顾羊羊, 邹长新等. 基于夜间灯光数据的太湖流域城镇开发程度数据集(2000–2010) [DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2018. DOI: 10.3974/geodb.2018.08.16.V1.

化的城镇开发政策提供数据支撑。

2 数据集元数据简介

《基于夜间灯光数据的太湖流域城镇开发程度数据集（2000–2010）》^[12]的名称、作者、地理区域、数据年代、时间分辨率、空间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 《基于夜间灯光数据的太湖流域城镇开发程度数据集（2000–2010）》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	基于夜间灯光数据的太湖流域城镇开发程度数据集（2000–2010）
数据集短名	UDL_TaihuLakeBasin_2000-2010
作者信息	乔旭宁 A-2330-2019, 河南理工大学测绘与国土信息工程学院, qiaoxuning@126.com 顾羊羊 T-2889-2018, 生态环境部南京环境科学研究所, gyy@nies.org 邹长新 A-2951-2019, 生态环境部南京环境科学研究所, zcx@nies.org 黄贤峰 A-2542-2019, 贵州省环境科学研究设计院, bloodworlf@qq.com 胡涛 A-2471-2019, 中国环境科学研究院, hpuht001@163.com
地理区域	太湖流域 3.69 万 km ² , 30°28'N–32°15'N, 119°11'E–121°51'E
数据年代	2000–2010
时间分辨率	年
空间分辨率	1 km
数据格式	.tif
数据量	313 KB（压缩后）
数据集组成	数据集由 11 个数据文件包组成，即包括 2000–2010 年太湖流域城镇开发程度产品
基金项目	中华人民共和国科学技术部（2017YFC0506606, 2016YFC0502106）；国家社会科学基金（14BJY021）；河南省（2018-YXXXZ-07, 2014GGJS-044, 2016-CXTD-04）
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101, 中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、实体数据（中英文）和通过《全球变化数据学报》（中英文）发表的数据论文。其共享政策如下：（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报》（中英文）编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10%引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[13]

3 数据研发方法

3.1 原始数据及预处理

夜间灯光数据来源于美国国家地理数据中心（<http://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp>）。DMSP/OLS 夜间灯光数据有 3 种全年平均产品：无云观测频数、平均灯光数据、稳定灯光

数据。稳定灯光数据范围主要包括来自城市、乡镇及其他持久光源的区域,数据的灰度值范围为 0–63,像元大小 $0.008,333^{\circ[14]}$ 。由于稳定夜间灯光数据城镇中心存在饱和像元,故可参照 NGDC 网站提供 2006 年全球无饱和夜间灯光数据,对稳定夜间灯光数据进行辐射校正。在 ENVI 5.3 软件中将 2000–2010 年 11 幅全球夜间灯光影像重投影转换为 Lambert

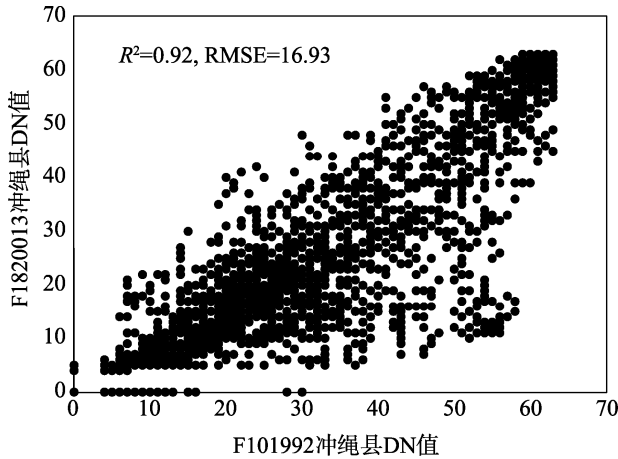


图1 日本冲绳 F101992 与 F182013 夜间灯光像元 DN 值 (Digital Number) 的拟合关系

等角圆锥投影,重采样生成 1 km 分辨率的栅格网格,并用太湖流域矢量边界进行裁剪。

本文参考 Wu 等^[15]和曹子阳等^[16]的校正方法,选择日本冲绳县作为不变目标进行影像辐射校正:①日本冲绳县近 20 年社会经济变化较小,发展过程相对稳定;②冲绳县的影像中 DN (Digital Number) 值从低到高分布均匀;③冲绳县 1992 年的夜间灯光影像与 2013 年夜间灯光影像有很好的线性关系,其中 $R^2=0.92, RMSE=16.93$ (图 1)。

根据相关研究表明^[15, 17],幂函数校正模型拟合相关性最好,故选择幂函数方程建立校正模型:

$$DN_{correct} + 1 = a \times (DN_m + 1)^b \quad (1)$$

式中, DN_m 、 $DN_{correct}$ 表示校正前后像元 DN 值, a 和 b 为幂函数回归参数。

3.2 算法原理

本文借鉴土地利用程度概念^[9],构建城镇开发程度 (Urban Development Level, UDL),用来表征城镇扩张^[18]。其公式为:

$$U = 100 \times \sum_{i=1}^n D_i \times P_i \quad (2)$$

$$\Delta U_{b-a} = U_b - U_a = \left\{ \left(\sum_{i=1}^n D_i \times P_{ib} \right) - \left(\sum_{i=1}^n D_i \times P_{ia} \right) \right\} \times 100 \quad (3)$$

式中, U 为研究区域的城镇开发程度; D_i 为第 i 级夜间灯光像元值 (校正前像元值范围为 0–63); P_i 为第 i 等级的夜间灯光像元值面积百分比; ΔU_{b-a} 为城镇开发程度变化,如果 ΔU_{b-a} 为正数,则表明该区域 b 时间城镇开发程度大于 a 时间城镇开发程度;否则相反。 U_a 、 U_b 为时间 a 和时间 b 对应第 i 等级城镇开发程度面积百分比。

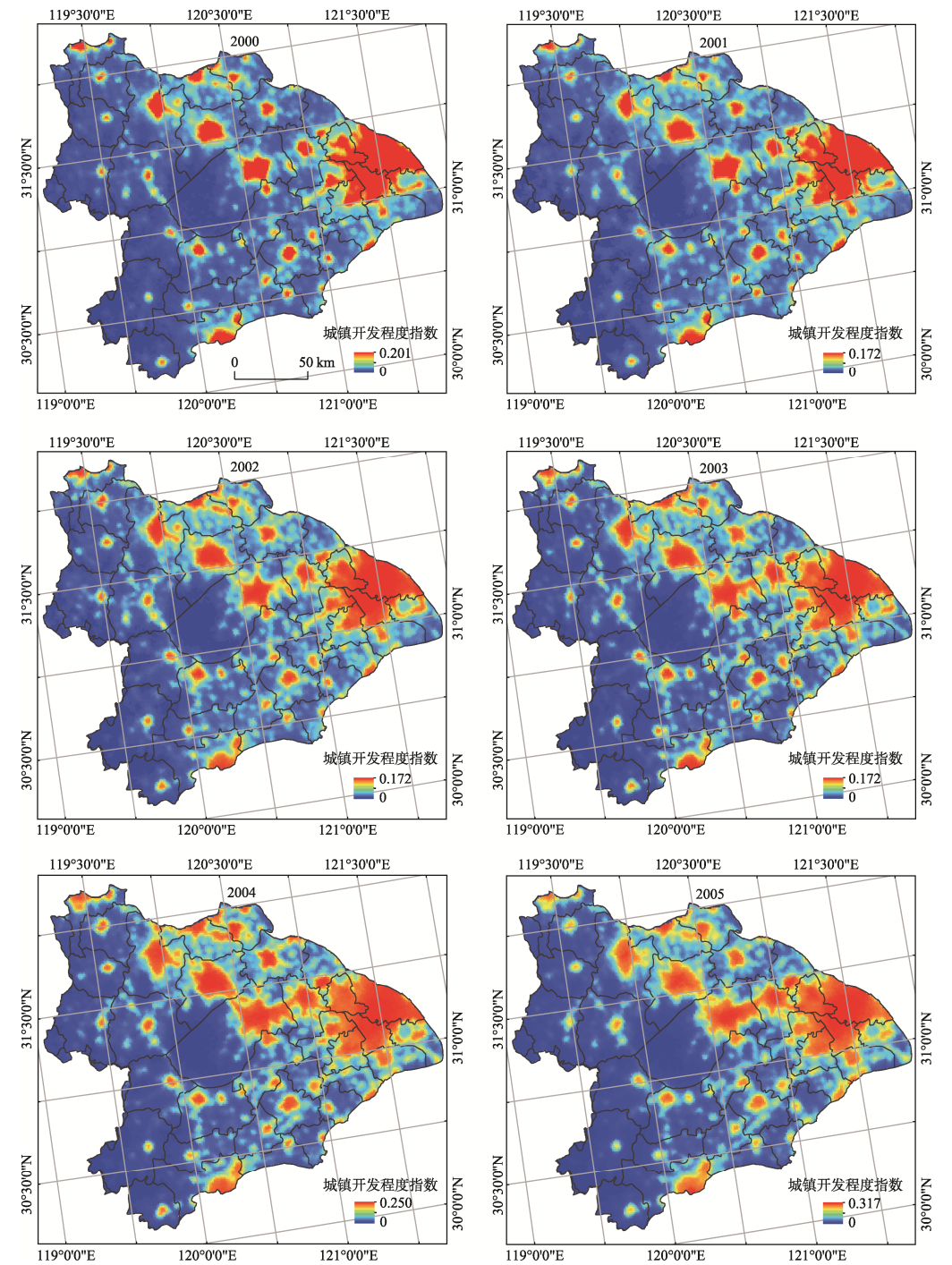
4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

《基于夜间灯光数据的太湖流域城镇开发程度数据集 (2000–2010)》的组成见表 2,空间分布图见图 2。

表 2 基于夜间灯光数据的太湖流域城镇开发程度数据集组成

数据名称	数据年代	空间分辨率
基于夜间灯光数据的太湖流域城镇开发程度数据产品	2000、2001、2002、2003、2004、2005、2006、2007、2008、2009、2010	1 km



续图

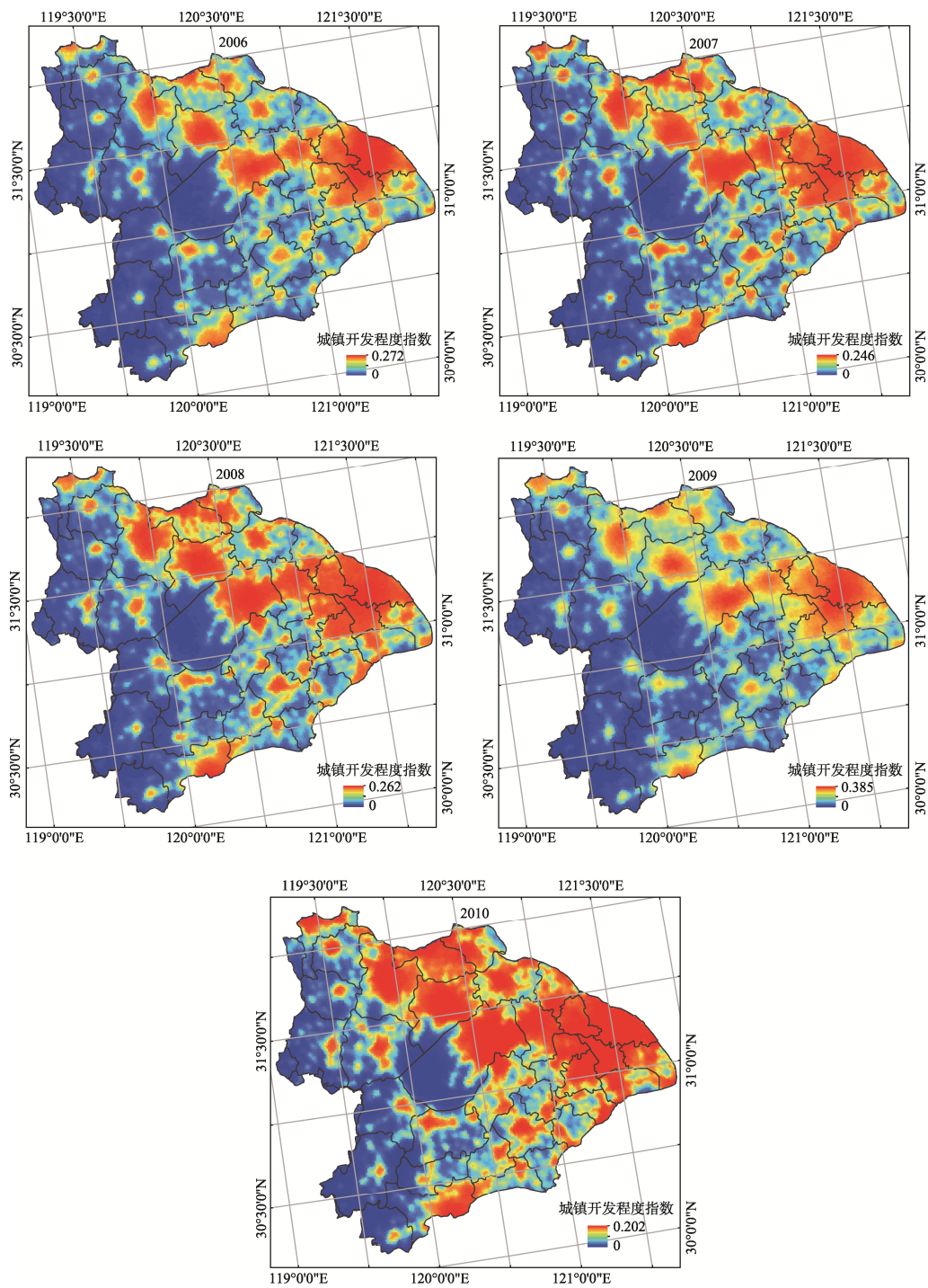


图 2 2000–2010 年历年太湖流域城镇开发程度空间分布数据可视化图

4.2 数据产品

2000–2010 年太湖流域城镇开发程度空间分布如图 2 所示。2000 年太湖流域开发程度

高值区主要分布在上海市、苏州市、无锡市、常州市等地市中心，而宜兴市、溧阳市等地城镇开发程度指数偏低，但这些地区已经初具规模，并在空间形成集聚效应。2000 年流域城镇开发程度低值区广泛分布，人类对流域开发处于较低水平。2010 年太湖流域城镇开发程度高值区存在流域东部、北部以及东南部等地，而流域西南部 and 西部的城镇，比如安吉县、长兴县等地，城镇开发相对较慢。2000–2010 年，太湖流域城镇开发程度主要围绕 2000 年各地市中心城区往四周扩散增加，流域北部、东部以及东南部平坦的地形、便捷的交通，人类活动剧烈，城镇开发程度快速增加。流域西南部以及西部地区受地形等自然因素影响，城镇开发程度增加缓慢。

4.3 数据结果验证

统计太湖流域各市县 2000–2010 年 GDP 总值（百亿元）、建成区面积（ km^2 ）、非农人口数（万人）、年末总人口（万人）。如图 3 所示，流域 GDP 总值、建成区面积、非农人口和非农人口比例逐年增加，城镇开发程度指数的总值也呈现增加趋势。2000–2010 年城镇开发程度总值 UDL_{sum} 与 GDP、建成区面积、非农人口和非农人口比例四组关系的 R 都高于 0.9， R^2 都高于 0.83，且 F 值较大， F 检验的显著性概率 P 值小于 0.01，4 组数据均通过显著性检验，相关性较好。基于夜间灯光数据构建的城镇开发程度指数能够有效表征城镇扩张现象。

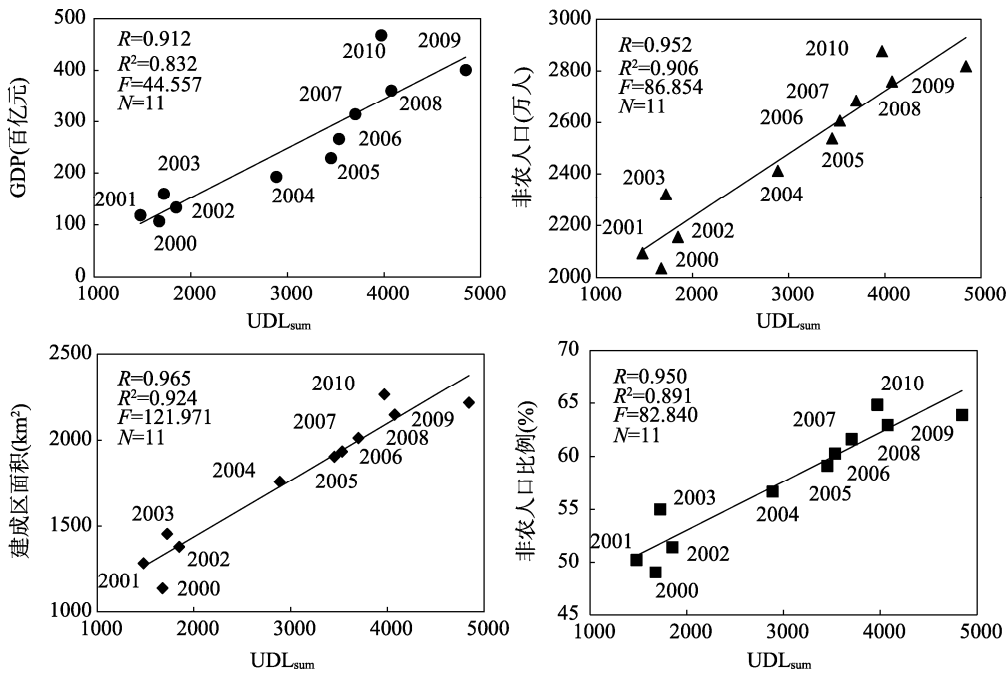


图 3 2000–2010 年太湖流域城镇开发程度总值与 GDP、建成区面积、非农人口、非农人口比例变化趋势

5 讨论和总结

基于夜间灯光数据构建的太湖流域城镇开发程度指数与流域国内生产总值 GDP、建成

区面积、非农人口、非农人口比例具有较好的相关性,能有效表征城镇扩张现象。2000–2010年,太湖流域北部、东部以及东南部的城镇开发程度快速增加,西南部以及西部地区增加缓慢。使用不变目标法校正夜间灯光数据,能有效解决像元饱和现象,使得不同年份城镇开发程度具有比较性。在下一步研究中结合连续性校正方法优化夜间灯光数据校正处理。

作者分工: 乔旭宁对数据集的开发做了总体设计;黄贤峰采集和处理了 DMSP/OLS 夜间灯光数据;徐梦佳设计了模型和算法;林乃峰做了数据验证;顾羊羊撰写了数据论文等。

参考文献

- [1] 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.
- [2] Elvidge, C. D., Cinzano, P., Pettit, D. R. The nightsat mission concept [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, 28(12): 2645–2670.
- [3] 顾羊羊, 乔旭宁, 樊良新等. 夜间灯光数据的区域能源消费碳排放空间化[J]. 测绘科学, 2017, 42(2): 140–146.
- [4] 高亚红, 顾羊羊, 乔旭宁等. 基于夜间灯光数据的南京城镇用地提取[J]. 测绘科学, 2017, 42(6): 93–98, 154.
- [5] Shi, K. F., Yu, B. L., Huang, Y. X., *et al.* Evaluating the ability of NPP-VIIRS nighttime light data to estimate the gross domestic product and the electric power consumption of China at multiple scales: a comparison with DMSP-OLS data [J]. *Remote Sensing*, 2014, 6(2): 1705–1724.
- [6] Jean, N., Burke, M., Xie, M., *et al.* Combining satellite imagery and machine learning to predict poverty [J]. *Science*, 2016, 353(6301): 790.
- [7] 刘焱序, 吴文恒, 温晓金等. 晋陕蒙能源区城镇化过程及其对生态环境的影响[J]. 地理研究, 2013, 32(11): 2009–2020.
- [8] 信忠保, 许炯心, 郑伟. 气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖变化的影响[J]. 中国科学(D 辑), 2007, 37(11): 1504–1514.
- [9] 吴琳娜, 杨胜天, 刘晓燕等. 1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 54–63.
- [10] 潘桂行, 申涛, 马雄德等. 人类活动和自然因素对海流兔河流域生态环境影响分析[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(4): 67–72.
- [11] 毛德华. 定量评价人类活动对东北地区沼泽湿地植被 NPP 的影响[D]. 长春: 中国科学院研究生院, 2014.
- [12] 乔旭宁, 顾羊羊, 邹长新等. 基于夜间灯光数据的太湖流域城镇开发程度数据集(2000–2010) [DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2018. DOI: 10.3974/geodb.2018.08.16.V1.
- [13] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. DOI: 10.3974/dp.policy.2014.05 (2017 年更新).
- [14] Huang, Q. X., He, C. Y., Gao, B., *et al.* Detecting the 20 year city-size dynamics in China with a rank clock approach and DMSP/OLS nighttime data [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2015, 137: 138–148.
- [15] Wu, J. S., He, S. B., Peng, J., *et al.* Inter-calibration of DMSP-OLS night-time light data by the invariant region method [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2013, 34(20): 7356–7368.
- [16] 曹子阳, 吴志峰, 匡耀求等. 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.
- [17] 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.
- [18] 乔旭宁, 顾羊羊, 邹长新等. 基于夜间灯光数据的太湖流域城镇扩张对净初级生产力的影响[J]. 生态学报, 2018, 38(16): 5883–5893.