

基于 FY-3C/VIRR 地表温度数据的上海市热岛效应时空特征分析

肖 寅¹, 宋轶欣², 姜丽菲², 周少骞², 王 剑²

(1 上海蔚星数据科技有限公司 上海 200080;

2 上海航天电子通讯设备研究所 上海 201109)

摘要: 城市热岛效应是当前城市生态领域关注的焦点问题之一。本文以上海为例, 基于 FY-3C/VIRR LST 数据, 通过计算研究区的热岛强度指数与热岛比例指数, 定量分析上海市 2019 年全年城市热岛效应的时空变化特性。结果表明: 上海市 2019 年全年各月份的总热岛区域面积均在 40% 以上, 城市热岛效应较为显著, 其中 7 月份总热岛区域面积最大; 上海市热岛效应的空间分布呈现出“北热南冷”的格局, 热岛效应主要分布在中部和北部; 上海市 5—7 月热带比例指数较高, 为较严重热岛, 随着 8 月份平均地表温度的继续升高, 热岛比例指数有所下降。

关键词: 热岛效应; 风云三号; 时空变化特征

中图分类号: TP75; TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-1000(2023)03-0116-07

DOI: 10.12347/j.ycyk.20220725002

引用格式: 肖寅, 宋轶欣, 姜丽菲, 等. 基于 FY-3C/VIRR 地表温度数据的上海市热岛效应时空特征分析[J]. 遥测遥控, 2023, 44(3): 116–122.

Temporal and spatial characteristics of heat island effect in shanghai based on FY-3C/VIRR LST

XIAO Yin¹, SONG Kexin², JIANG Lifei², ZHOU Shaoqian², WANG Jian²

(1. Shanghai Satellite Data Technology Co., Ltd, Shanghai 200080, China;

2. Institute of Aerospace Electronic Communication Equipment, Shanghai 201109, China)

Abstract: Urban heat island (UHI) effect is one of the most important issues in urban ecology. Based on FY-3C/VIRR LST data, the temporal and spatial variation characteristics of urban heat island effect in Shanghai in 2019 were quantitatively analyzed by calculating heat island intensity index and heat island proportion index in the study area. The results show that : the total heat island area of Shanghai in 2019 is more than 40%, and the urban heat island effect is significant, and the total heat island area of Shanghai in July is the largest; the spatial distribution of the heat island effect in Shanghai presents a pattern of "hot in north and cold in south", and the heat island effect is mainly distributed in the central and northern part of Shanghai; the tropical proportion index of Shanghai was relatively high from May to July, and it was a serious heat island. With the continuous increase of average surface temperature in August, the heat island proportion index decreased.

Keywords: Shanghai; Heat island effect; FY-3C; Temporal and spatial variation characteristics

Citation: XIAO Yin, SONG Kexin, JIANG Lifei, et al. Temporal and spatial characteristics of heat island effect in shanghai based on FY-3C/VIRR LST[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2023, 44(3): 116–122.

引 言

随着城市的迅速扩张, 城市生态环境也面临着越来越大的压力。城市热岛效应(urban heat

island effect)作为当前城市生态领域关注的焦点问题之一, 由英国学者 Howard 于 1833 年首次提出, 其定义为城区气温高于乡村、郊区的现象^[1]。城市热岛效应会引起市区温度上升, 从而带来大气环

境破坏、恶劣天气频发、加剧经济损失甚至危害人体健康等一系列问题^[2]。城市热环境的变化主要是由城市快速扩张引起的^[3]，表现在两个方面：一是城市规模扩大、人口增加带来的人为排放热源的增加^[4]；二是城市化过程带来的城市下垫面类型的变化，导致城市地表显热表面比例升高而潜热表面比例降低，城市热岛效应进一步加剧^[5]。

目前城市热岛效应研究的主要方法有气象观测法、数值模拟法和遥感监测法^[6]。传统的气象监测法可以获得温度气象数据的精确定位和准确数据，但很难反映整个区域内全部地面的热辐射状况^[7]。数值模拟法可以获得三维连续的多层温度数据，但算法复杂且产品分辨率不够高^[8]。遥感监测法是城市热岛效应研究的一种重要方法，具有时间高度同步、空间高度覆盖、数据获取方便等优点，在城市热岛的时间变化和空间分布特征的研究方面具有不可替代的优势^[9]。而在城市热岛遥感监测的数据方面，常用的卫星数据有陆地资源卫星 Landsat 遥感影像和 MODIS 卫星数据^[10]。MODIS 数据空间覆盖范围广、时间分辨率高^[11]；而 Landsat 遥感影像则具有更高的空间分辨率，适合于小尺度的地表温度研究^[12]。此外，随着我国新一代极轨气象卫星风云三号的升空，全球资料获取能力大幅度提高，回访周期长、空间分辨率低等缺点均在一定程度上被克服，城市热岛研究的数据来源得到了进一步扩充^[13]。

上海作为我国的沿海国际大城市，城市化程度高，常住人口过千万。过去几十年的快速城市化带来的下垫面改造与人为热能释放等导致上海的城市热岛效应也随之快速发展^[14]。与此同时，上海郊区的诸多乡镇和农村地区与中心城区的下垫面类型和景观分布形成了鲜明的对比^[15]。本文以上海为例，基于 FY-3C/VIRR 地表温度数据开展上海市热岛效应的时空分布特征研究，以期为上海市的可持续发展和城市热岛效应缓解策略的制定提供科学的参考。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

上海市位于亚洲大陆东沿，太平洋西岸，中国东部，长江入海口，地理位置介于 120°51'E~122°12'E，30°4'N~31°53'N 之间，地处亚热带季风气候区，四季分明，春秋较短，冬夏较长，气候温

和，梅雨天气较为常见。上海共有 16 个区、107 个街道、106 个镇、2 个乡。2019 年上海建成区面积 1 237.85 平方千米。截至 2021 年底，上海市常住人口 2 487.1 万人，城镇人口 2 220.9 万人，城镇化率为 89.3%。其中黄浦区、杨浦区、普陀区、徐汇区、静安区、虹口区和长宁区，这七个区的城镇化率达到 100%。崇明区城镇化率最低，还没有突破 50%，因此不作为本次的研究区域。图 1 为上海市域规划范围图。

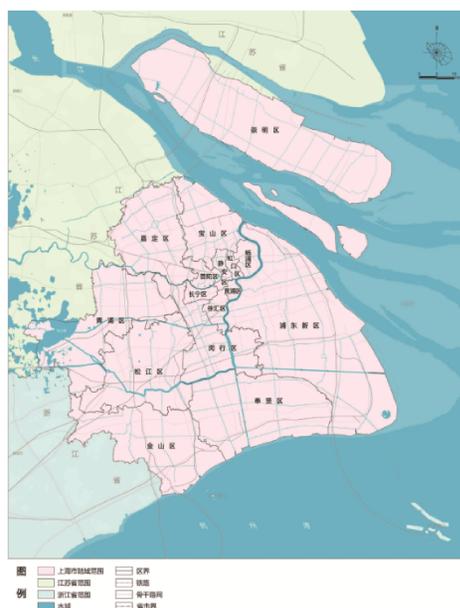


图 1 上海市域规划范围图(2017—2035 年)(来源：

<https://www.shanghai.gov.cn/>)

Fig. 1 Urban planning scope map of Shanghai (2017—2035) (source:<https://www.shanghai.gov.cn/>)

1.2 数据获取与处理

风云三号(FY-3)是我国自主研发的第二代极轨气象卫星，该系列包括 01 星 FY-3A、02 星 FY-3B、03 星 FY-3C 以及 04 星 FY-3D。FY-3 系列卫星载有十多种成像和探测仪器，如可见光红外扫描辐射计(VIRR)、中分辨率光谱成像仪(MERSI)、微波成像仪(MWR)等^[16]。国家卫星气象中心使用 VIRR 数据，基于物理劈窗算法生成了地表温度(Land Surface Temperature, LST)产品。研究表明，FY-3C/VIRR LST 产品与地面观测站低温数据^[17,18]、MODIS LST 产品^[19]、NOAA18/AVHRR 反演的 LST 数据^[13]在数值和空间分布上均具有较好的一致性。

因此，本研究使用了风云卫星遥感数据服务网(<http://satellite.nsmc.org.cn/>)提供的 FY-3C/VIRR

LST数据产品, 空间分辨率为1 km, 采用了Hammer投影。选用2019年全年的LST白天逐月产品, 并使用ENVI、ArcGIS、Python等对获得的数据进行投影变换、掩膜裁剪、格式转换、重采样、数值变换、异常值剔除等处理。

1.3 研究方法

1.3.1 热岛强度指数计算

城市热岛强度指数(Urban Heat Island Intensity, UHII)定义为研究区域内遥感格点地表温度与划定为郊区区域的地表温度的均值之差, 以表达城区温度与郊区温度的差异程度, 描述热岛效应的分布和大小^[20]。研究通过UHII分析2019年上海市城市热岛的逐月时空变化规律。其表达式为:

$$I_{UHII}(i) = T_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{sub} \quad (1)$$

式中, $I_{UHII}(i)$ 是遥感图像中第*i*个像元所对应的热岛强度; T_i 是第*i*个像元所对应的LST; n 是郊区区域的有效像元总数; T_{sub} 是郊区区域栅格的LST。郊区区域的划分采用经验法, 选择远离市区且土地类型常年稳定的绿地区域, 为保证计算结果的对比性, 每次计算均采用相同的郊区区域作为背景。为了便于数据统计和制图表达, 根据计算结果, 研究将上海市热岛强度划分为7个等级^[21], 具体为: $I_{UHII}(i) > 5.0^{\circ}\text{C}$ 为强热岛, $5.0^{\circ}\text{C} \geq I_{UHII}(i) > 3.0^{\circ}\text{C}$ 为较强热岛, $3.0^{\circ}\text{C} \geq I_{UHII}(i) > 1.0^{\circ}\text{C}$ 为弱热岛, $1.0^{\circ}\text{C} \geq I_{UHII}(i) > -1.0^{\circ}\text{C}$ 为无热岛, $-1.0^{\circ}\text{C} \geq I_{UHII}(i) > -3.0^{\circ}\text{C}$ 为弱冷岛, $-3.0^{\circ}\text{C} \geq I_{UHII}(i) > -5.0^{\circ}\text{C}$ 为较强冷岛, $-5.0^{\circ}\text{C} \geq I_{UHII}(i)$ 为强冷岛。

1.3.2 热岛比例指数计算

热岛比例指数(Urban Heat Island Proportion Index, UHPI)定义为强热岛、较强热岛和弱热岛面积的加权和, 用于定量反映研究区域内不同等级的热岛强度与范围^[22]。研究通过UHPI对2019上海城市热岛强度进行整体评估。其表达式为:

$$I_{UHP} = \frac{1}{100m} \sum_{j=1}^t w_j \times p_j \quad (2)$$

式中, I_{UHP} 是热岛比例指数; m 是热岛强度等级序号, 取值为7; j 是各热岛区域对应的等级序号, 分别取值为5, 6, 7; t 是热岛的等级数量, 取值为3; w_j 是各等级热岛对应的权重, 取值为5, 6, 7; p_j 是第*j*级热岛所占面积百分比, 取值为0~100%。 I_{UHP} 的范围在0~1.0之间, 取值越大则热岛效应越严重, 研究将热岛比例指数划分为5个等

级^[23], 具体为: $1 \geq I_{UHP} > 0.8$ 为严重热岛等级, $0.8 \geq I_{UHP} > 0.6$ 为较严重热岛等级, $0.6 \geq I_{UHP} > 0.4$ 为一般热岛等级, $0.4 \geq I_{UHP} > 0.2$ 为较轻热岛等级, $0.2 \geq I_{UHP} \geq 0$ 为无热岛等级。

2 结果与分析

2.1 热岛效应的时空变化特征

上海市2019年各等级热岛与各等级冷岛面积占比逐月变化如图2所示。由于2019年6月份的FY-3C/VIRR LST产品与其他数据相比有明显误差, 因此未被列入本研究的分析中。计算了其他11个月的热岛强度指数, 并根据前文所述将城市热岛强度划分为7个等级。

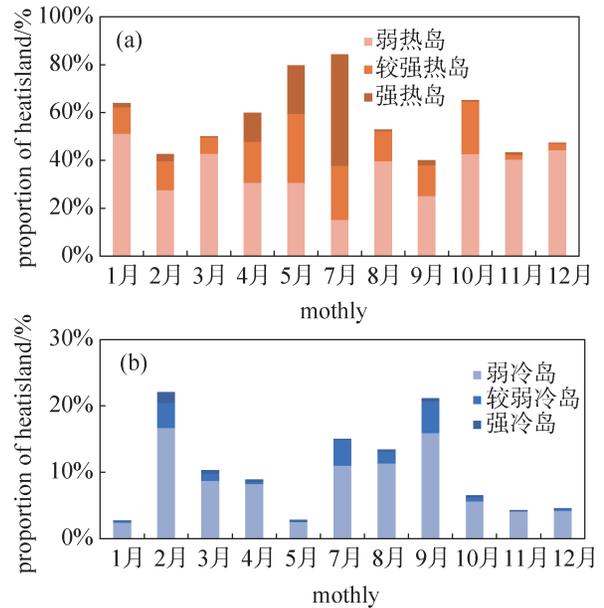


图2 2019年上海市各等级热岛(a)和各等级冷岛(b)面积占比逐月变化

Fig. 2 Monthly changes in the proportion of heat island (a) and cold island (b) in Shanghai in 2019

总体而言, 总热岛区域(强热岛、较强热岛、弱热岛, 下同)与总冷岛区域(强冷岛、较强冷岛、弱冷岛, 下同)面积占比呈现了相反的变化特征。总热岛区域面积在一年中总体呈现出先增加后减小的变化趋势, 在2—7月持续增加, 并在7月份到达峰值, 面积占比达到了84.3%, 由此可见随着上海城市化的发展, 城市热岛效应的空间分布范围非常广泛。其中, 城市热岛区域以弱热岛分布为主, 在7月份达到谷值, 占总面积的15.2%, 其余月份弱热岛面积分布较为稳定, 面积占比约在

30%~40%之间。较强热岛的面积变化趋势与总热岛区域基本一致, 谷值为2%, 出现在10月份; 峰值为28.8%, 出现在5月份。城市热岛强度指数最大的强热岛区域主要出现在4—7月份, 并在7月份到达峰值, 面积占比为46.43%, 此时上海市的城市热岛效应非常显著, 大部分城区的地表温度与郊区的差值都在5℃以上。

上海地区城市总冷岛区域面积的两个峰值分别出现在2月份和9月份, 分别占总面积的22.1%和21.2%; 两个谷值出现在1月份和5月份, 均占总面积的2.8%。其中城市冷岛区域以弱冷岛分布为主, 较弱冷岛次之, 强冷岛面积占比最少, 各个月份均未超过2%。可以看出, 上海市的冷岛效应并不显著, 与热岛相比分布面积明显减少, 且冷岛强度较低, 强冷岛现象罕见。

2.2 热岛效应的空间分布特征

以上海市2019年1月、5月、9月和全年平均热岛强度指数计算结果为例, 分析各区城市热岛效应的空间分布特征(图3)。可以看出, 上海市1月份热岛效应并不明显, 城市大部分区域以弱热岛分布为主。其中上海的核心区(包括黄浦区、徐汇区、长宁区、静安区、普陀区、虹口区、杨浦区等, 下同)出现了较强热岛等级; 而嘉定区、宝山区、浦东新区、闵行区和松江区则以弱热岛等级为主; 奉贤区、金山区和青浦区主要为无热岛等级, 而青浦区东部淀山湖附近受局部小气候的影响表现出部分强热岛等级。5月份上海市热岛效应显著增强, 除核心区外, 宝山区、嘉定区和闵行区大部分地区均呈现强热岛等级; 浦东新区、奉贤区和青浦区主要表现为弱热岛等级; 金山区大部分地区仍以无热岛等级为主。9月份上海的城市热环境呈现出以行政区域中心为热岛核心的多样分布, 其中核心区、闵行区和松江区部分地区表现为强热岛等级; 宝山区、金山区以弱热岛等级为主; 浦东新区、青浦区以无热岛等级为主; 奉贤区、嘉定区以弱冷岛等级为主。

上海的全年平均热岛强度指数由上海市2019年全年平均温度计算得到, 可以看出上海市热岛效应空间布局呈现出“北热南冷”的格局, 城市热岛主要出现在上海市北部和中部, 且核心区、宝山区和闵行区热岛效应尤为显著。而浦东新区南部、奉贤区和金山区则以无热岛等级为主, 热岛效应不明显。青浦区东部主要表现为弱热岛,

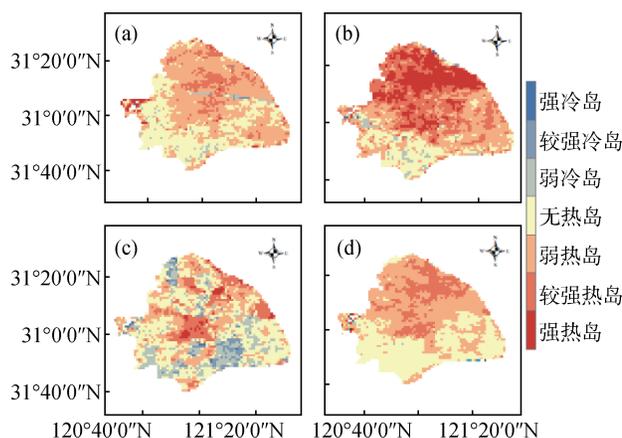


图3 2019年上海市1月(a)、5月(b)、9月(c)和全年平均(d)热岛强度空间分布

Fig.3 Spatial distribution of heat island intensity in January (a), May (b), September (c) and annual average (d) of Shanghai in 2019

而西部淀山湖周围受区域小气候的影响常常呈现出热岛和冷岛交替分布的现象。

2.3 热岛比例指数变化

基于热岛比例指数(UHP)表征与评价上海市2019年热岛效应程度, 并与地表温度(LST)进行比较(图4)。上海市UHP呈现季节性的周期变化, 从1月到12月总体呈现出先升高后降低的趋势, 其中10月份出现了一个小高峰, 与上文的总热岛区域面积变化趋势基本一致。其中2—3月、8—9月、11—12月为较轻热岛; 1月、5月、10月为一般热岛; 5—7月为较严重热岛。UHP与LST的变化趋势也基本一致, 值得注意的是, 随着8月份LST的继续升高, UHP却出现了急剧下降的现象, 上海市城市热岛效应有所减弱。

2.4 城市热岛效应影响因素分析

由于城市热岛效应的形成依赖多因素共同作用, 本研究从自然与社会经济角度出发, 结合时间尺度与空间尺度, 综合分析多种因素与城市热岛效应的相关性。由时间尺度探索季节气候及雨水分布对城市热岛效应的影响。从时间节点可以得出, 7月份上海市的总热岛区域面积达到84.2%, 位居全年最高, 且4-7月城市热岛效应明显, 由此可以得出季节气候将会使城市热岛效应加剧。其次由于1月、7月等月份受季节影响加剧城市空调及其他制冷制热设备的使用量, 从而加剧了城市热岛效应。其余月份受上海地理位置的影响, 其受气候等降雨的影响对城市热岛效应的影响略有

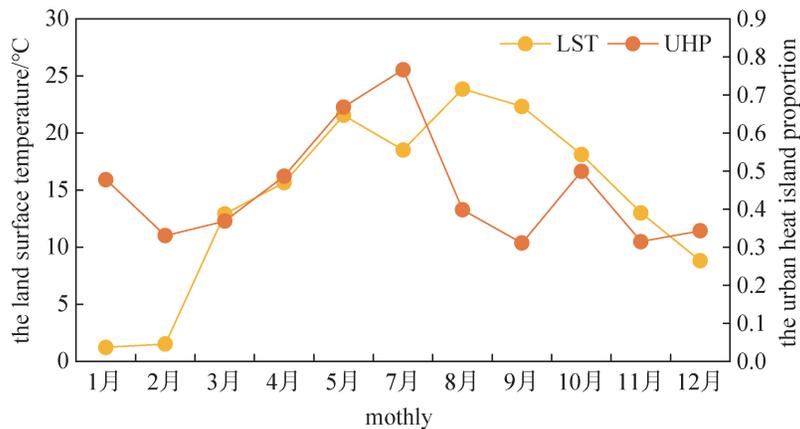


图4 2019年上海市地表温度与热岛比例指数

Fig.4 The land surface temperature of shanghai with the urban heat island proportion index in 2019

降低。然后由空间尺度探索城镇化建设以及植被覆盖率对城市热岛效应的影响。由上海热岛影响的空间分布可知,其呈现“北热南冷”的格局,热岛效应主要分布在中部和北部,该区域的人口占比及城镇化率高,且植被的覆盖率远不及上海边缘地区,故该区域城市热岛效应较弱。

除去自然因素外,社会经济也是影响城市热岛效应的主要因素。来源于上海市统计局网站提供的《2019年上海市国民经济和社会发展统计公报》可以探索社会经济对城市热岛效应的影响。上海市全年生产总值(GDP)38 155.32亿元,较上年增长6.0%。其中,第一产业增加值103.88亿元,下降5.0%;第二产业增加值10 299.16亿元,增长0.5%;第三产业增加值27 752.28亿元,增长8.2%。由此可以得出,由上海市第二产业产值的增加将导致整体的资源能耗的增加,进而加剧城市热岛效应。上海全年实现旅游产业增加值2 309.43亿元,比上年增长7.6%,全年接待国际旅游入境者897.23万人次,比上年增长0.4%,由此可以得出,旅游黄金季5月、10月等月份人口流入大,进而加剧城市热岛效应。

3 结束语

①上海市2019年全年各月份的总热岛区域面积均在40%以上,城市热岛效应较为显著。且总热岛区域面积的变化与季节有关,7月份总热岛区域面积最大,达到了84.2%,其中强热岛等级尤为显著,面积占比达到全部面积的46.4%,是全年中热岛效应最强的一个月;除4—7月外,其余月份均以弱热岛等级为主,热岛效应的空间范围布局

较大,但强度不高;10月份较强热岛等级面积有所增加,占总面积的22%,热岛效应强度出现了一个小高峰。上海市冷岛区域面积占比的变化与热岛区域总体上呈现相反的变化。

②上海市热岛效应的空间分布呈现出“北热南冷”的格局,热岛效应主要分布在中部和北部,黄浦区、徐汇区、长宁区、静安区、普陀区、虹口区、杨浦区、宝山区和闵行区尤为显著;浦东新区南部、奉贤区和金山区以无热岛等级为主,热岛效应不明显;青浦区东部主要表现为弱热岛,而西部淀山湖周围受区域小气候的影响常常呈现出热岛和冷岛交替分布的现象。

③上海市热岛比例指数变化与总热岛区域面积变化趋势基本一致,2—3月、8—9月、11—12月为较轻热岛;1月、5月、10月为一般热岛;5—7月为较严重热岛。热岛比例指数与地表温度的变化趋势也基本一致,但随着8月份温度的继续升高,热岛比例指数发生断崖式下跌,上海市热岛效应有所减弱。

参考文献

- [1] HOWARD L. The climate of London, deduced from meteorological observations[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.
- [2] 张逢生,王雁,闫世明,等.浅析城市“热岛效应”的危害及治理措施[J].科技情报开发与经济,2011,21(32): 147-149.
ZHANG F S, WANG Y, YAN S M, et al. Analysis on the Harms of and control measures for urban heat island effect[J]. Journal of Library and Information Science,

- 2011, 21(32): 147-149.
- [3] MENG F, SHAN B, LIU M. Remote-sensing evaluation of the relationship between urban heat islands and urban biophysical descriptors in Jinan, China[J]. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2014, 8(1): 0836931-08369315.
- [4] MENG Q, ZHANG L, SUN Z, et al. Characterizing spatial and temporal trends of surface urban heat island effect in an urban main built-up area: A 12-year case study in Beijing, China[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017: S0034425717-304315.
- [5] FEYISA G L, MEILBY H, JENERETTE G D, et al. Locally optimized separability enhancement indices for urban land cover mapping: Exploring thermal environmental consequences of rapid urbanization in Addis Ababa, Ethiopia[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2016:175:14-31.
- [6] 刘施含, 曹银贵, 贾颜卉, 等. 城市热岛效应研究进展[J]. *安徽农学通报*, 2019, 25(23): 117-121.
LIU S H, CAO Y G, JIA Y H, et al. Research Development of Urban Heat Island Effect[J], *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2019, 25(23): 117-121.
- [7] 薛丹, 李成范, 雷鸣, 等. 基于MODIS数据的上海市热岛效应的遥感研究[J]. *测绘与空间地理信息*, 2013(4): 1-3.
XUE D, LI C F, LEI M, et al. A study on urban heat island effect of shanghai from MODIS data[J], *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2013(4): 1-3.
- [8] 刘勇洪, 房小怡, 张硕, 等. 京津冀城市群热岛定量评估[J]. *生态学报*, 2017, 37(17): 5818-5835.
LIU Y H, FANG X Y, ZHANG S, et al. Research on quantitative evaluations of heat islands for the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(17): 5818-5835.
- [9] 杨敏, 杨贵军, 王艳杰, 等. 北京城市热岛效应时空变化遥感分析[J]. *国土资源遥感*, 2018, 30(3): 213-223.
YANG M, YANG G J, WANG Y J, et al. Remote sensing analysis of temporal-spatial variations of urban heat island effect over Beijing[J]. *Remote Sensing for Natural Resources*, 2018, 30(3): 213-223.
- [10] 彭继达, 张春桂. 基于卫星遥感的福州市近10年城市热岛效应时空特征分析[J]. *陕西气象*, 2022(1): 72-76.
PENG J D, ZHANG C G. Analysis of tempo-spatial distribution of urban heat island effect in Fuzhou City in latest 10 years based on satellite remote sensing[J]. *Journal of Shaanxi Meteorology*, 2022(1): 72-76.
- [11] 乔治, 田光进. 基于MODIS的2001年—2012年北京热岛足迹及容量动态监测[J]. *遥感学报*, 2015, 19(3): 476-483
QIAO Z, TIAN G J. Dynamic monitoring of the footprint and capacity for urban heat island in Beijing between 2001 and 2012 based on MODIS[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2015,19(3): 476-483
- [12] 邓睿, 刘亮, 徐二丽. 基于Landsat时间序列数据的重庆市热力景观格局演变分析[J]. *生态环境学报*, 2017, 26(8): 1349-1357.
DENG R, LIU L, XU E L. Study on the evolution of thermal landscape pattern in chongqing city based on time-series landsat data[J]. *Ecology and Environment Sciences*, 2017, 26(8): 1349-1357.
- [13] 刘勇洪, 张硕, 夏海萍, 等. 风云三号卫星陆表温度产品在城市热环境监测评估中的应用[J]. *卫星应用*, 2018(11): 42-49.
LIU Y H, ZHANG S, XIA H P, et al. Application of the FY-3 satellite land surface temperature products in urban thermal environment monitoring and assessment [J]. *Satellite Application*, 2018(11): 42-49.
- [14] 徐伟, 杨涵洧, 张仕鹏, 等. 上海城市热岛的变化特征[J]. *热带气象学报*, 2018, 34(2): 228-238.
- [15] XU W, YANG H W, ZHANG S P, et al. Variations of the urban heat island effect in Shanghai[J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 2018, 34(2): 228-238.
- [16] 张周逸林, 申广荣, 张婧颖, 等. 2007-2017年夏冬季上海市内外圈层土地覆盖与地表温度的定量关系[J]. *水土保持通报*, 2021, 41(1): 88-96.
ZHANG Z Y L, SHEN G R, ZHANG Q Y, et al. Quantitative relationship between land cover and surface temperature inside and outside of shanghai city in summer and winter during 2007-2017[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2021, 41(1): 88-96.
- [17] 杨忠东, 张鹏, 谷松岩, 等. FY-3卫星应用和发展[J]. *上海航天*, 2017, 34(4): 1-7.
YANG Z D, ZHANG P, GU S Y, et al. Application and development of FY-3 meteorological satellite[J]. *Aerospace Shanghai*, 2017, 34(4): 1-7.
- [18] 范嘉智, 罗宇, 谭诗琪, 等. 基于FY-3C/MWRI的湖南省地表温度遥感反演评价[J]. *国土资源遥感*, 2021, 33

- (1): 249-255.
FAN J Z, LUO Y, TAN S Q, et al. Accuracy evaluation of the FY-3 C/MWRI land surface temperature product in Hunan Province[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2021, 33(1): 249-255.
- [19] 王艳丽, 宋承运. FY-3B/VIRR地表温度产品那曲地区适用性分析[J]. 无线电工程, 2021, 51(12): 1519-1522.
WANG Y L, SONG C Y. Applicability analysis of FY-3B/VIRR land surface temperature products in Naqu Area[J]. Radio Engineering, 2021, 51(12), 1519-1522.
- [20] 周玉, 刘彬彧, 桑友伟. FY-3C和MODIS检测湘赣地区地表温度差异研究[J]. 地理信息世界, 2021, 28(5): 111-116.
ZHOU Y, LIU B Y, SANG Y W. Difference of land surface temperature detected by FY-3C and MODIS in Hunan-Jiangxi Region[J]. Geomatics World, 2021, 28(5): 111-116.
- [21] 叶彩华, 刘勇洪, 刘伟东, 等. 城市地表热环境遥感监测指标研究及应用[J]. 气象科技, 2011, 39(1): 95-101.
YE C H, LIU Y H, LIU W D, et al. Research on urban surface heat environment monitoring indexes and its application[J]. Meteorological Science and Technology, 2011, 39(1): 95-101.
- [22] 王晗, 李峰, 王昊, 等. 基于FY-3B/VIRR数据的济南市城市热岛效应与影响因素分析[J]. 海洋气象学报, 2021, 41(2): 126-137.
WANG H, LI F, WANG H, et al. Analysis of urban heat island effect and impact factors in Jinan City based on FY-3B/VIRR data[J]. Journal of Shandong Meteorology, 2021, 41(2), 126-137.
- [23] 徐涵秋, 陈本清. 不同时相的遥感热红外图像在研究城市热岛变化中的处理方法[J]. 遥感技术与应用, 2003, 18(3): 129-133.
XU H Q, CHEN B Q. An Image processing technique for the study of urban heat island changes using different seasonal remote sensing data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2003, 18(3): 129-133.

[作者简介]

肖寅 1986年生, 博士, 主要研究方向为卫星通信技术和星地融合技术。

宋轲欣 1980年生, 博士, 主要研究方向为卫星通信与应用。

姜丽菲 1983年生, 硕士, 主要研究方向为微波遥感。

周少骞 1978年生, 学士, 主要研究方向为空间通信产品设计研发。

王剑 1992年生, 硕士, 主要研究方向为通信载荷系统设计和集成测试。

(本文编辑: 潘三英)