

葛伟强,周红妹,杨何群. 基于 MODIS 数据的近 8 年长三角城市群热岛特征及演变分析[J]. 气象,2010,36(11):77-81.

基于 MODIS 数据的近 8 年长三角 城市群热岛特征及演变分析^{*1}

葛伟强 周红妹 杨何群

上海市卫星遥感与测量应用中心, 上海 201100

提 要: 利用 MODIS hdf 数据来反演地表温度,首先通过数据挑选少云覆盖图像,再经多波段综合法去云,用近 8 年的 MODIS 历史资料选择劈窗算法反演计算给出了长三角平均地表温度分布图,以长三角作为区域整体研究热岛效应,分析了城市群热岛分布特征,指出主要城市热岛分布呈“Z”字型分布格局。长三角地区热岛强度季节变化是夏季最强,春季次之,秋冬季除少数地区为较强热岛外,大部分地区都显示为弱热岛或无热岛。采用 GIS 地理统计方法比较 16 城市的强热岛面积分布,分析了 2001—2008 年夏季各城市热岛强度的年际变化趋势。

关键词: 长三角城市群, 热岛强度, 劈窗算法

Characteristics Analysis on Heat Island Effect in Yangtze Delta Urban Agglomerations in Recent 8 Years by MODIS Data

GE Weiqiang ZHOU Hongmei YANG Hequn

Shanghai Center for Remote-Sensing and Application, Shanghai 201100

Abstract: Retrieving the land surface temperature by hdf data in MODIS receiver system, first the few cloudy data were selected, and then cloud be removed by means of multiband combination. The average temperature figures of Yangtze Delta were retrieved by split window algorithm, the distribution characteristics of Yangtze Delta area were analyzed, and the heat islands are arranged in “Z” distribution. In Yangtze Delta area, the heat island intensity is the strongest in summer, then in spring and most areas are in weak or no heat island except few areas in strong heat island in winter. By GIS geographic statistics, the strong heat island areas were compared. And the change trend of heat island of each city from 2001 to 2008 were also being analyzed. The data were processed in Delphi and IDL languages including data projection, inversion, cartography. The analysis of island heats was independently conducted, and average retrieval results were more objective.

Key words: Yangtze Delta urban agglomerations, heat island intensity, split window algorithm

引 言

“长三角”区域位于大陆海岸线中部、长江入海口,包括上海市,浙江省的杭州、宁波、绍兴、嘉兴、湖州、舟山、台州,江苏省的南京、苏州、无锡、南通、常

州、镇江、扬州、泰州共 16 个沿海经济发达城市。全区总土地面积 10 万 km²,约占全国的 1%;总人口 7534 万人,约占全国的 5.9%。长三角区域各城市地域相连,相互联系十分密切,平均每 1800 km² 就有一座城市,不足 70 km² 就有一座建制镇,经济一体化传统已久。长三角作为发育比较成熟的大组团

* 上海市气象局面上项目“近八年长三角城市化与热岛演变遥感研究”(编号:MS200704)资助

2008 年 10 月 30 日收稿; 2010 年 4 月 7 日收修定稿

第一作者:葛伟强,主要从事城市热岛、大雾遥感监测等气象卫星遥感应用研究. Email:gwqmygis@126.com

式城镇群在我国经济发展和城市化建设中越来越凸显其重要作用。

近年来,长三角城市化速度之快、城市化增加面积之广是空前的。在全球气候变暖的大背景下,城市化的加快和环境的变化,使城市高温日数明显增多,据统计上海夏季近 5 年的高温平均天数甚至达到了 27 天,上海城郊温差已经从 $0.3\sim 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 增大到 $3.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,且高温的天数和温差均有逐年拉大的趋势。热岛强度的增强导致了暴雨日数增多、平均暴雨强度加大,城市化进程的加快使得市政公共设施更易受天气影响遭到破坏,经济发达的长三角抗灾减灾所需付出的代价会相应增加,热岛效应已成为不可忽视的因素之一。

城市热岛研究最早使用台站观测资料分析^[1-4],采用遥感技术手段始于 20 世纪 90 年代,通过各种反演算法反演地表温度进而研究热岛效应成为最常用的手段之一。以往研究采用的遥感数据源通常有 NOAA/AVHRR、MODIS、LANDSAT/TM/ETM+,研究对象大都针对个别大城市^[5-9],计算的时间序列较短,较少揭示大范围区域内热岛动态变化规律。本文拟利用长时间序列的 MODIS 资料,针对经济高速发展、热岛效应影响显著的长三角城市群,研究其热岛分布和演变规律,对加强该地区的气候变化监测和研究,制定应对气候变化的总体规划以及经济、能源等方面的应对策略,实现区域的和谐、可持续发展有重要的意义。

1 MODIS 数据预处理和地温反演

1.1 MODIS 数据筛选、投影和去云

在长时间序列遥感研究中,数据的完整性和快速处理是后续工作的基础。为了更好地研究热岛效应,本文直接采用 MODIS 接收系统预处理后的一级数据 hdf 格式文件作为数据源。长三角区域的研究范围按 16 个城市的行政边界范围确定,投影范围为 $26.99^{\circ}\sim 34.64^{\circ}\text{ N}$, $116.78^{\circ}\sim 124.21^{\circ}\text{ E}$ 。从 2000—2008 年共挑选了 992 幅符合少云要求、可用来反演地温的 MODIS 1 km 分辨率的 hdf 数据。大量数据手动投影不但工作量大且容易出错,故用 Delphi 开发了自动投影程序,按照经纬度范围等预设置批量生成投影文件,并消除了 Bowtie 效应,最终的 992 个投影文件是行列大小一致、每个像素点在地理位置上是完全重叠的。

研究热岛效应需要晴空无云的数据,地温反演对像元云污染尤其敏感,长三角地理跨度大故区内

完全无云图像几乎没有,因此云检测剔除是必不可少的步骤之一。MODIS 数据有 36 个光谱段,采用基于多光谱综合的多通道阈值判别法可较好地建立云检测掩模^[10-11],只要采用合适的经验阈值,对长三角纬度带各种类型的云覆盖有较好的检测效果。

1.2 地表温度反演

地表温度反演算法可以分为三大类:单通道算法、劈窗算法和多波段算法,其中劈窗算法是目前发展最成熟、反演精度较高的地表温度遥感反演方法。本文采用 Qin 等的两因素模型^[12] MODIS 反演方法^[13],在有准确的大气数据情况下,反演值与地面观测的地表温度差在 $0.238\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右^[14]。基于 MODIS 的劈窗算法^[15-16]用 IDL 语言编程实现了投影文件反演成地表温度,输出为 ENVI 标准文件 dat 格式。

2 长三角城市群的热岛分布特征

城市热岛是指同时刻的城区气温比郊区高形成相对高温岛屿的现象,一般说来温度从城区中心往郊区逐步递减。图 1 给出了 2000 年底至 2008 年约 8 年少云覆盖的 MODIS 数据反演的地表温度平均分布图。MODIS 反演的地表温度与气温存在较好的线性相关^[17-18],但在日常的遥感热岛业务中会发现由于受冷空气等多种因素影响,热岛中心有时会偏移甚至反常,即使在强热岛季节部分城区遥感反演温度反而没有郊区高。热场分布异常发生频率尽管较低,却能说明用少量的遥感数据研究热岛分布结果不一定准确,长年地温平均图才能够客观地反映区域内热岛分布的真实状况。图像热场分级依据直方图采用 quantile 分类方法分为 20 级。quantile 断点方法是使每一级的像元总数都相等的一种断点分级方法,在热岛图像制图上比使每级的级间方差总和最小的 Jenks' natural break^[19]断点分级方法有更清晰的显示效果,更适合热岛图像制图。直方图仅在长三角边界 mask 区内统计,这样能最大限度地突出区内热岛强度差别。

综观全图,长三角 16 个大城市群为人口、工业聚集地,均表现为热中心;且以上海、杭州为转折点,贯穿南京、苏锡常、嘉兴、绍兴、宁波,呈现一略向右倾斜的“Z”字型主要热岛地区分布格局。特大城市中,南京热中心沿长江略呈条带状,最热地区则在长江南部树干状分布,基本以高速公路主干道为轴中心线扩展;上海热中心呈团块状分布,外环线内基本都是强热岛中心,在城市群中热岛效应最明显,占总

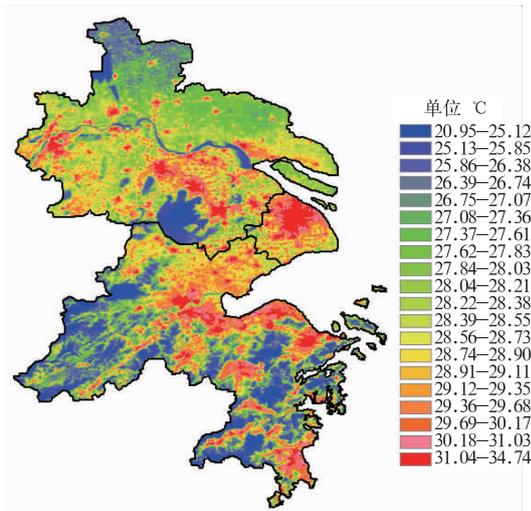


图 1 2000—2008 年长三角平均地表温度分布图
Fig. 1 Distribution map of average surface temperature in Yangtze Delta from 2000 to 2008

面积比例最大;杭州热中心为竖块状分布,主要集中在钱塘江北侧城区;宁波则为横块状分布。大中小城市中心一般为强热岛,周围有面积较大的次级热岛环,小城镇热中心星罗点状分布。在反演图上叠加县级以上居民地行政中心点后,都位于城镇强热岛中心区。长三角杭州以北地区基本位于长江中下游平原,地势相对平坦,丘陵山地较少,耕地较多,表现为大片的弱热岛区。杭州西部有新安江水库,西北有天目山脉,绍兴东南有会稽山脉,宁波西有四明山脉,偏西南有天台山脉,台州西部有括苍山脉;长江自南京、镇江、江阴、南通注入东海;扬州西北部有高邮湖,苏州西侧有太湖;山地有大量森林覆盖,河流湖泊内有大量水体,表现在地温图上为大片的低温区。以上分析充分说明城市化扩展导致的地表介质的改变是形成热岛中心的主导性因素。

最强热岛区分布对大城市的供电、供水、建设等有重大影响,尤其夏季气温达到 35 °C 时容易出现高温灾害,因此最强热岛区的分布特征有特殊意义。从图 1 与历年热岛业务产品对比得知,地表温度大于 31 °C 的区域可作为最强热岛分布区。在 ENVI 中用波段运算选择图 1 中的最强热岛区,再叠加上行行政边界做掩模逐城市统计像元总数,按数值升序排列(图 2)。地理统计表明,上海市强热岛区几乎是宁波的两倍,无疑是长三角热岛强度最强、最集中、面积最大的城市。其次是宁波,区域工业经济发达,地表城市化比例高。杭州、绍兴、苏州热岛也较强,像元数在 400~600 之间;再其次是台州、南京、无锡常州,强热岛像元数在 200~400 之间;嘉兴、湖州、南通、扬州、镇江、泰州、舟山属于强热岛区面积

较小城市。总体看,长三角浙江省的强热岛区比江苏省面积要大,热岛强度要高。

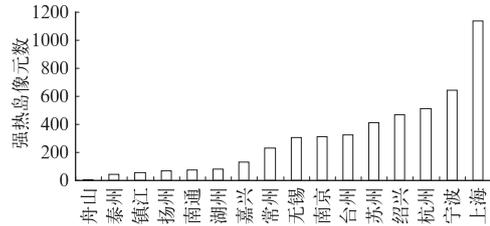


图 2 长三角 16 城市强热岛区像元数统计排名
Fig. 2 Statistic rank of pixel numbers of strong heat island area in Yangtze Delta 16 cities

3 长三角城市群的热岛演变分析

3.1 热岛强度季节变化分析

上海市位于长三角的中间位置,故季节划分以上海地区为参考。根据徐家汇气象站 30 年的月平均气温,1—3 月气温最低为冬季,7—9 月气温最高为夏季,热岛效应对城市生活影响在夏季最大,4—6 月为春季,10—12 月为秋季。

对反演的 LST 季节平均数据通过公式(1)计算热岛强度,即 LST 与选取的郊区农田代表区域内(ROI 区)有效像元均值的距平,可直接表示强度的大小和范围。

$$M_i = P_i - \frac{1}{n} \sum P_{mi} \quad (1)$$

其中, M_i 为热岛强度, P_i 是 LST 像元温度值, n 为 ROI 区内的有效像元个数, P_{mi} 为 ROI 区内的有效温度值。热岛强度由强到弱划分成 7 个等级,见表 1。

表 1 热岛强度等级划分
Table 1 Rank partition of heat island intensity

温差范围/°C	热岛强度等级
>5	强热岛
3~5	较强热岛
1~3	弱热岛
-1~1	无热岛
-3~-1	弱负热岛
-5~-3	较强负热岛
<-5	强负热岛

由图 3 可看出,长三角地区热岛强度夏季最强,春季次之,秋冬季除少数地区为较强热岛外,大部分地区都显示为弱热岛或无热岛,是年内热岛强度较低季节。15 个城市群在春、夏、冬季都表现为明显的强(较强)热岛中心,秋季较弱但仍为热中心;舟山市因位于海岛,岛屿狭长,一年四季无明显热岛特征。春季城市群的热中心效应已经较为明显,较强热岛区围绕热中心扩展且面积较大;夏季城市群的

强热岛区面积最大,“Z”字型热中心格局最清晰,长三角全区热岛效应在夏季最强,但天目山却为强负热岛区;秋季除三面环山的温岭路桥一带为强热岛外,城市群都为弱热岛中心,城际间有大片无热岛区间隔,是区内热岛强度最弱的季节;冬季在宁波、上海、余姚、台州有较强热岛区域,其他城市为弱热岛区,长江、太湖等大面积水体呈现强负热岛,区内热

岛强度差别较大。此外,除了秋季,宁镇扬、苏锡常、沪嘉杭的弱热岛区连成片,城际边界模糊,说明这些地区城郊乡镇城市化比例较高以及相对发达的郊区工业能耗影响了热岛强度。春夏季绝大部分中小城市的中心表现为强热岛中心,到了秋冬季绝大部分却不再是热中心,表明城市土地覆盖只有达到一定面积才会形成持续较强热岛区。

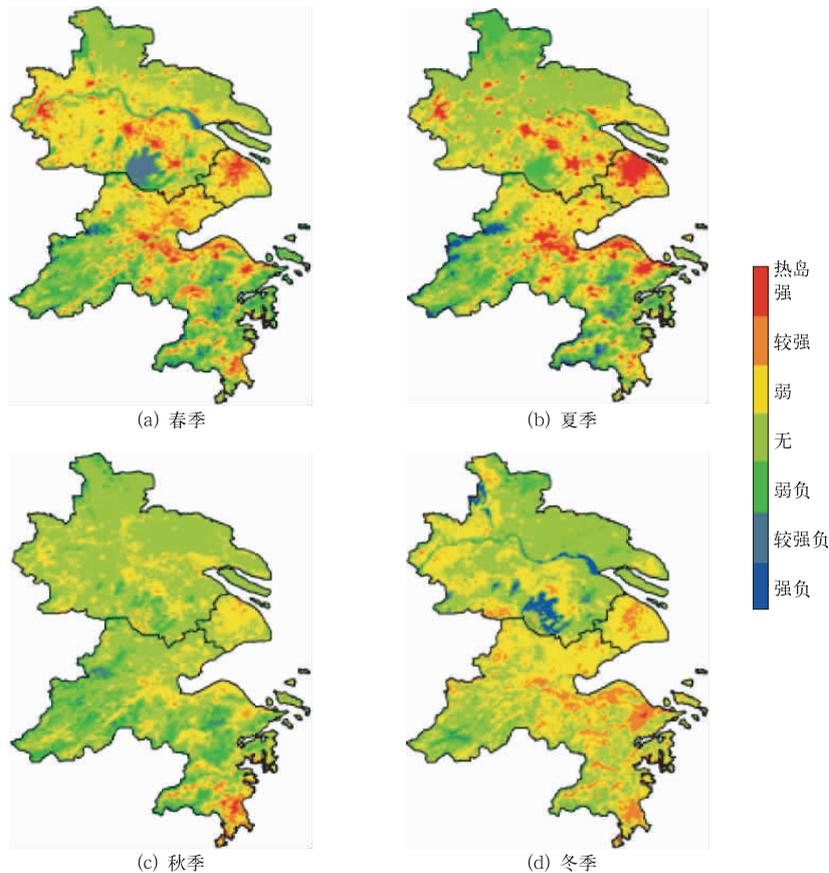


图 3 长三角热岛强度季节变化

Fig. 3 Season changes of heat island intensity in Yangtze Delta

3.2 热岛强度年际变化分析

以热岛效应最强的夏季为例,对全区 2001—2008 年夏季强热岛像元进行逐年统计(图 4),2002 年长三角地区热岛总强度最弱。强热岛面积随着城市化进程的不断扩大大保持不断上升的趋势,尤其 2003

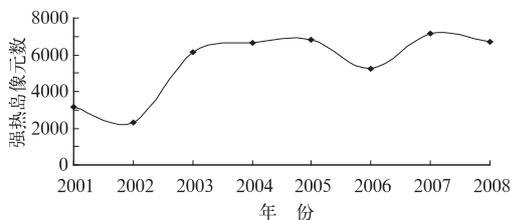


图 4 长三角地区夏季强热岛面积年际变化图
Fig. 4 Interannual change of pixel numbers in the summer strong heat island area of Yangtze Delta

年强热岛面积较之前跳跃式增加,但 2002、2006 年有向下的小波动,说明城市化扩展导致的地表覆盖改变是热岛效应主要成因,同时也受大气候背景、人类活动等多种因素影响。

各城市 8 年间强热岛像元数统计见表 2。从表中可看出,上海市的强热岛面积历年来都是最大的。强热岛面积并非近线性,而是呈波浪式增加,一般逐年际高低起伏,例如苏锡常热岛面积 2003、2005、2007 年是波峰,2002、2004、2006 年是波谷。某些地域相近的城市有在相同振幅内同相位波动的现象,如苏北的泰州、扬州、镇江,苏南的苏州、无锡、常州以及浙江省的杭州、绍兴、台州,均有相当一致的波动趋势。

表 2 2001—2008 年长三角 16 城市夏季强热岛像元统计表

Table 2 Statistics of strong heat island pixel numbers in Yangtze Delta 16 cities during the summer of 2000—2008

年份	舟山	台州	泰州	无锡	扬州	镇江	南通	宁波	上海	绍兴	苏州	常州	杭州	湖州	嘉兴	南京
2001	25	146	24	101	66	38	55	471	832	559	206	65	456	29	49	58
2002	3	87	37	127	62	48	21	240	685	131	159	100	247	38	32	296
2003	19	159	35	347	56	60	63	984	1546	625	523	228	935	112	279	180
2004	9	630	82	345	141	113	149	787	1110	765	500	261	1015	119	165	487
2005	7	62	70	714	118	91	193	781	1665	335	1037	382	660	129	173	387
2006	16	65	39	249	15	23	80	861	1673	366	551	191	672	95	212	112
2007	19	186	103	673	131	116	235	820	1811	299	1097	501	525	111	257	281
2008	18	283	21	431	34	25	53	1023	1450	583	879	222	889	164	339	321

4 结 语

(1) 利用 MODIS 接收系统接收的数据来反演地表温度,自编程序实现了 MODIS 数据投影、反演、出图,比从 LP DAAC 下载 MODIS 地温产品分析热岛有更大的自主性,平均反演结果更客观。

(2) 利用近 8 年的 MODIS 历史资料采用劈窗算法反演计算给出了长三角平均地表温度分布图,以长三角作为一个整体研究热岛效应,分析了城市群热岛分布特征,指出主要城市热岛呈“Z”字型分布格局;通过 GIS 地理统计比较 16 城市的强热岛面积大小。

(3) 根据反演地温与郊区农田的温差划分了热岛强度等级,长三角热岛强度季节变化夏季最强,春季次之,秋冬季最弱。采用 GIS 掩模方法分析各城市强热岛的年际变化,江苏和浙江部分地域毗邻城市强热岛有同相位逐年际波动现象。分析表明城市化扩展是形成热岛的主导因素,但气候环境、人为活动会造成热岛强度年际变化。

参考文献

- [1] 曾侠,钱光明,潘蔚娟. 珠江三角洲城市群城市热岛效应初步研究[J]. 气象,2004,30(10):12-16.
- [2] 陈千盛. 城市效应对福州市气候的影响[J]. 气象,1997,23(1):41-45.
- [3] 钟保麟. 深圳的城市热岛效应[J]. 气象,1996,22(5):23-24.
- [4] 司鹏,李庆祥,李伟. 城市化进程对中国东北部气温增暖的贡献检测[J]. 气象,2010,36(2):13-21.
- [5] 闵文彬,李跃清. 利用 MODIS 反演四川盆地地表温度与地面同步气温、地温观测值的相关性试验[J]. 气象,2010,36(6):

101-104.

- [6] 张光智,徐祥德,王继志,等. 北京及周边地区城市尺度热岛特征及其演变[J]. 应用气象学报,2002,13(1):43-50.
- [7] 李兴荣,胡非,舒文军. 北京夏季强热岛分析及数值模拟研究[J]. 气象,2007,33(6):25-31.
- [8] 李春梅,陈新光,唐力生,等. 广州市 2005 年热岛强度变化特征[J]. 广东气象,2006,11(4):30-33.
- [9] 丁金才,张志凯,奚红,等. 上海地区盛夏高温分布和热岛效应的初步研究[J]. 大气科学,2002,26(3):412-420.
- [10] 何全军,曹静,黄江. 基于多光谱综合的 MODIS 数据云检测研究[J]. 国土资源遥感,2006,69(3):19-22.
- [11] 宋小宁,赵英时. MODIS 图象的云检测及分析[J]. 中国图象图形学报,2003,8(9):1079-1083.
- [12] Q in Z, Dall'O lmo G, Karnieli A, et al. Derivation of split window algorithm and its sensitivity analysis for retrieving land surface temperature from NOAA-AVHRR data [J]. Journal of Geophysical Research, 2001, 106(D19): 22655-22670.
- [13] 覃志豪,高懋芳,秦晓敏,等. 农业旱灾监测中的地表温度遥感反演方法[J]. 自然灾害学报,2005,14(4):64-71.
- [14] 高懋芳,覃志豪,徐斌. 用 MODIS 数据反演地表温度的基本参数估计方法[J]. 干旱区研究,2007,24(1):113-119.
- [15] 丁莉东,覃志豪,毛克彪. 基于 MODIS 影像数据的劈窗算法研究及其参数确定[J]. 遥感技术与应用,2005,20(2):284-289.
- [16] 毛克彪,覃志豪,施建成. 针对 MODIS 影像的劈窗算法研究[J]. 武汉大学学报信息科学版,2005,30(8):703-707.
- [17] 李兴荣,胡非,舒文军. 近 15 年北京夏季城市热岛特征及其演变[J]. 气象,2006,32(8):42-46.
- [18] 许国鹏,李仁东,刘可群,等. 基于 MODIS 数据的湖北省地表温度反演研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版),2007,41(3):143-147.
- [19] Ian Blokland. Optimal Grade Distributions-How to Let Your Computer Help You Assign Final Grades in Large Classes, Augustana Faculty[M]. University of Alberta.