

曹张驰,胡顺起,朱义青,等.基于 Landsat 卫星数据的山东临沂市热岛效应研究[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(6):47-53.
doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2021.06.007

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



基于 Landsat 卫星数据的山东临沂市热岛效应研究

曹张驰,胡顺起,朱义青,毛国荣,王庆华
(临沂市气象局,山东 临沂 276004)

摘要:利用 Landsat 卫星数据分别反演了 2005 和 2014 年临沂市的地表温度和不透水层指数,分析了城市化进程对临沂市热岛效应的影响。结果表明,2005 年临沂市表现为中等强度的热岛效应,2014 年表现为强热岛效应。利用地面站点资料统计分析得到,2005—2014 年临沂市热岛强度总体呈波动增加的趋势,冬季最强,春秋季次之,夏季较弱。分析城市化因子发现,城市经济、人口、用电消耗、城市房屋面积增量等因素对城市热岛强度变化的影响,其相关系数分别为 0.86、0.52、0.67、0.81,其中城市经济和房屋面积增量与热岛强度增强密切相关。结合不透水层指数分布的动态变化得出,城市化进程中城镇建筑和硬化路面的增多导致了热岛强度的增加。

关键词:城市热岛效应;Landsat 卫星;不透水层;地表温度反演;临沂市

中图分类号:P407

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2021)06-0047-07

城市化是人类社会发展的标志,在促进经济发展和提高人们的生活水平时,也带来城市热岛、高温热浪和城市浊岛等生态环境问题。城市热岛效应是城市人类活动对气温影响的突出表征,它对全球变暖的贡献已经引起广泛关注,对城市热岛效应的研究已成为当今气候、生态、环境问题研究中的新热点^[1]。城市气候环境变化在很大程度上严重威胁城市的生态环境及人们的生存条件,也制约着地区经济的可持续发展^[2]。

Howard^[3]在讨论英国城市气候时,最先提出“城市热岛效应”的概念。T R Oke^[4]利用动力学理论基础,分析城市热岛效应与城市大小之间的关系。早期的城市热岛效应研究多采用以气象站资料为基础的城郊温差法^[5-6]。鲁小荣等^[7]通过对昌吉市和呼图壁县的气温资料统计分析,得到昌吉市随着城市发展

而产生的热岛效应变化过程。而随着卫星遥感技术快速发展,突破了传统站点观测地表温度的局限性,遥感反演地表温度的方法可提供一定时空精度的区域性监测^[8-12]。金丽娜等^[13]基于 FY-3 气象卫星数据利用改进的贝克尔“分裂窗”算法计算地表温度,分析了西安市春、夏、秋三季的城市热岛总面积、强热岛面积和热岛比例指数。裴欢等^[14]利用南京市 7 月的 LandsatTM 热红外数据,根据单窗算法反演得到南京市地表温度,讨论了南京市的热岛特征。应用遥感技术监测城市热岛效应,并分析城市热岛成因和影响因子,是近年来城市生态环境研究的热点和难点之一。大城市的热岛效应显而易见,但是新发展的中、小城市的热岛效应强度、变化特征及其影响却鲜见研究分析。近年来中小城市化进程的快速崛起,主城区和县区的面积不断扩大,原以植被为主的下垫面逐渐被高储热性的建筑物所取代,大量周边人口向城市聚集也造成人为排放温室气体的增加,目前临沂市政府对城市生态环境建设越来越关注。鉴于此,研究城市热环境及其变化规律,对临沂市经济社会和环境可持续发展具有现实意义。

收稿日期:2020-07-30;修回日期:2020-12-22

基金项目:山东省气象局青年基金(2018SDQN19);山东省预报员专项(SDYB 2017-14)

作者简介:曹张驰(1990—),女,工程师,主要从事遥感和中短期预报研究。E-mail:caozhangchi1990@126.com

本文利用 Landsat 卫星数据反演了两景地表温度和不透水层指数,对比分析城市发展带来下垫面变化对城市热岛强度变化的影响。结合 2005—2014 年地面气象站观测资料,分析了临沂市城市热岛强度变化的特征,讨论经济、人口、用电量等城市化因子对其影响。

1 研究区概况

临沂市(117°24′~119°11′E, 34°22′~36°22′N)位于山东省东南部,地处鲁南低山丘陵东南部,地势西北高东南低,地近黄海,南临江苏,为“沂蒙山区”。临沂属于暖温带季风区大陆性气候,四季分明、光照充足、雨量充沛。全市总面积 17 191.2 km²,总人口 1 124 万人。其中市区建成区面积约为 1 759 km²,人口数量为 260 万人,是山东省面积最大和人口最多的地级市。2010 年以来,临沂市经济和城市建设快速发展,尤其是新城区的建设,改变了原来的农田和林地等,具有不透水性质的混凝土、柏油等城市地表迅速代替了原来的土壤,也加剧了城市热岛效应的特征。

2 资料与方法

2.1 遥感数据及预处理

在选择卫星遥感数据时主要考虑研究区和研究内容这两个方面的需求,研究城市热岛效应,需要用到对地温热量辐射敏感的热红外波段。Landsat 陆地卫星数据的空间分辨率为 30 m,卫星过境时间一般在北京时间 11 时左右,访问周期为 16 d,更适合城市和小区域的地表热量空间差异分析。选取天气晴朗,云量小于 20%,数据质量较好的 Landsat5-TM 和 Landsat8-OLI 卫星数据。为了更好地对比下垫面变化对热岛效应的影响,选取 2005 和 2014 年两幅影像,这两个年份在全球变暖的长期变化中是处于正常状态的,时间分别为 2005 年 8 月 12 日和 2014 年 8 月 3 日。应用遥感软件 ENVI 对卫星数据进行辐射定标,采取暗目标法进行大气校正、利用 1:50 000 地形图对图像进行配准,选取 50 个地面控制点,对卫星影像进行几何校正配准。对两条轨道数据进行影像融合,再按临沂市行政区划进行区域预处理。

2.2 站点数据

选取 2005—2014 年临沂市及下辖区 10 个国家地面气象观测站的历史资料数据。包含夏季气温、降水及各站点的经纬度信息和海拔等要素。对疑似数

据进行删除,并排除搬迁台站或改造带来的影响。对疑似数据进行删除后,整理成列,添加经纬度数据,载入 ENVI 软件中赋予等经纬度投影和坐标,并作为感兴趣点保存,用以提取反演结果进行精度验证。此外,还使用了临沂市行政区划图、临沂市高精度地形图、临沂市气候统计资料及临沂市的基础地理信息数据等参考数据。卫星遥感数据来自中国科学院遥感与数字地球研究所(RADI)地理数据云平台。地区生产总值、人口密度、用电消耗、房屋竣工面积等数据来自 2018 年临沂市统计年鉴。

2.3 地表温度遥感方法

相比站点观测方法,利用卫星遥感资料监测地表温度,具有良好的空间覆盖度、时效性和动态监测的优势。目前针对 Landsat 卫星携带的 TM 和 OLI 传感器,单通道算法是最通用最常见的算法。覃志豪等^[9]以地表热辐射传导方程为基础,通过近似假设,建立了适用于 TM6 反演地表温度的单通道算法,该算法需要的参数包含地表发射率、大气平均作用温度和大气透过率 3 个参数。即在大气实时资料缺乏的情况下,可以从一个热红外波段的遥感数据中反演出平均的地表温度。主要有热红外波段转换为光谱辐射亮度、光谱辐射亮度转换为地表亮温、以及地表亮温转换为地表温度 3 个步骤。因此,本文主要采用单通道算法。

辐射定标在 ENVI 软件中完成,对于 TM6 波段,定标系数分别为 1.24 和 15.30。对于 OLI10 波段,定标系数分别为 0.10 和 22.00。求出辐射量度后,用 Planck 公式计算亮度温度,也可利用公式(2)计算获得:

$$B(T_s)=[L_\lambda-L^\uparrow-\tau(1-\varepsilon)L_\downarrow]/\tau_\varepsilon, \quad (1)$$

$$T_b=\frac{K_2}{\ln(K_1/L_\lambda+1)}. \quad (2)$$

式中, T_b 为亮度温度。对于 TM, $K_1=607.76 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$, $K_2=1 260.56 \text{ K}$;对于 OLI, $K_1=774.89 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$, $K_2=1 282.71 \text{ K}$ 。大气在热红外波段的透过率 τ :0.90, $L^\uparrow$ 和 $L_\downarrow$ 为大气向上辐射亮度和大气向下辐射亮度。NASA 公布的网站可以根据成影时间和中心经纬度查询,以及其他的相关参数。

得到亮温后将其转换为地表温度:

$$T_s=\{a_6(1-c_6-D_6)+[b_6(1-C_6-D_6)+C_6+D_6]T_b-D_6T_a\}/C_6, \quad (3)$$

$$C_6=\varepsilon_6\tau_\varepsilon, \quad (4)$$

$$D_6=(1-\varepsilon_6)[1+(1-\varepsilon_6)\tau_a]. \quad (5)$$

式中, T_s 为地表温度, T_b 为亮温, ε_6 为地表比辐射

率, τ_0 为大气透过率, 大气透过率为大气平均作用温度, a_0 和 b_0 为参数系数。

利用混合像元分解方法来计算比辐射率, 地物类型大致可以分为水体、城镇和裸土 3 种。首先排除水体的影响, 利用改进的归一化水体指数(MNDWI), 可以将水体从地物中提取出。Sobrino 等^[6]假定地表是由裸土和植被构成的, 对于每个像元, 计算归一化植被指数(NDVI), 当 $NDVI < 0.2$ 时, 该像元被认为完全由裸土组成; $NDVI > 0.5$ 时, 该像元被认为完全由植被组成, 当 $0.2 \leq NDVI \leq 0.5$ 时, 该像元被认为是由裸土和植被的混合像元, 公式如下:

$$\varepsilon = pv \times \varepsilon_v + \varepsilon_m \times (1 - pv) + d\varepsilon. \quad (6)$$

式中, ε 为地表比辐射率; ε_v 为植被的比辐射率; ε_m 为建筑物的比辐射率; pv 为植被覆盖度, 由 NDVI 计算得到; $d\varepsilon$ 为地表几何分布和内部散射效应。对于水平地表可以忽略, 但对于非均质和粗糙地表, 该项必须考虑, 由于临沂地区存在丘陵山地, 所以此项不可以忽略, 其计算公式如下^[8]:

$$d\varepsilon = \begin{cases} 0.0038 \times pv, & pv \geq 0.5 \\ 0.0038 \times (1 - pv), & pv < 0.5 \end{cases}. \quad (7)$$

2.4 不透水层指数反演方法

不透水层主要是指水体不能通过其下渗至地表以下的物质, 包括诸如屋顶、公共停车场等构成的地表覆盖^[9]。通过城市中各种不透水层建筑材料所覆盖的表面进行分析, 可以监测城市中生态环境变化以及城市扩展的状况。

卫星数据的像元一般为混合像元, 因此常利用子像元的光谱混合分析模型来分化地表类型。根据研究区域的实际情况, 将地表覆盖分为水体、植被、不透水层这 3 种端元。通过改进的归一化水体指数将水体成分去除, 在归一化光谱反射率的基础上, 利用线性光谱混合分析模型(LSMA), 计算 3 种端元在各个像元内的百分比。公式如下:

$$\overline{R_b} = \sum_{i=1}^N \overline{f_i} \cdot \overline{R_{i,b}} + e_b. \quad (8)$$

式中, $\overline{R_b}$ 是波段 b 某一像元的标准化反射率; $\overline{R_{i,b}}$ 是波段 b 在该像元中端元 i 的标准化反射率; e_b 是差值; f_i 是某端元比例, 通过最小二乘法求得, 各个端元的比例之和为 1。

植被覆盖度是单位面积内植被的垂直投影面积, 与不透水层指数呈负相关关系, 可以根据三种端元的归一化反射率来求解研究区的不透水层指数。根据植被覆盖度 Fr 与 NDVI 的关系式:

$$Fr = N^{-2}, \quad (9)$$

$$N^* = \frac{N - N_{soil}}{N_{veg} - N_{soil}}. \quad (10)$$

式中, N 为归化植被指数 NDVI, N_{soil} 为裸土或无植被覆盖像元的 NDVI, N_{veg} 为纯植被覆盖像元的 NDVI。

由于不透水面与植被覆盖度呈负相关关系, 因此引用不透水层率指数 (即不透水层所占的比例 ISA), 来研究建筑物和硬化路面与城市热岛的关系。不透水层指数的计算如下:

$$I_{SA} = 1 - Fr. \quad (11)$$

2.5 热岛强度分级

2.5.1 地面站点观测的热岛强度

利用地面气象站点观测的气温研究城市热岛效应是经典方法, 城市热岛强度由城市气象站与郊区气象站气温的差值(城郊温差法)来确定。公式为:

$$\Delta T_{UHI} = T_u - T_r. \quad (12)$$

式中, ΔT_{UHI} 为城市热岛强度; T_u 为城区气温; T_r 为郊区气温。

2.5.2 遥感反演的热岛强度分级

热岛强度分级是根据公式(2)反演的地表温度计算相对亮温值 R , 再对 R 进行阈值分割, 划分城市热岛等级(表 1)。

$$R = \frac{T_{roi} - T_a}{T_a}. \quad (13)$$

式中, T_{roi} 为研究区感兴趣区像元平均值, 感兴趣区像元共 50 个, 根据 10 个地面观测站点经纬度选取前 10 个, 并选取该台站周边相近的一些站点, 均匀分布。 T_a 为区域平均亮温。

表 1 热岛等级划分阈值

$R/^\circ\text{C}$	级别	热岛等级
< 0	1	无
0.00~0.05	2	弱
0.05~0.10	3	中等
0.10~0.20	4	强
> 0.20	5	极强

3 城市热岛强度变化特征

3.1 遥感地表温度反演结果

由 2005 年 8 月 12 日和 2014 年 8 月 3 日卫星资料的反演结果得出, 81% 区域的温度分别集中在 $18 \sim 38^\circ\text{C}$ 和 $18 \sim 42^\circ\text{C}$ 。根据分布特征划分温度等级, 得到(图 1a)。 $> 38^\circ\text{C}$ 的红色区域主要分布于中心城区和各县城中心, $30 \sim 38^\circ\text{C}$ 分布在西北部和东南部, 分布比较广泛。 $25 \sim 30^\circ\text{C}$ 分布也相对比较广泛, $< 25^\circ\text{C}$

分布在西北部山林区、水库和北部被云层遮挡的区域。图1b中42℃以上的区域主要分布于中心城区以及中心向西北、西南方向扩散,另外各县城附近也有较多零散分布。30~42℃区域主要附着在42℃区域附近。地表温度25~30℃的分布比较广泛,没有聚集的现象。

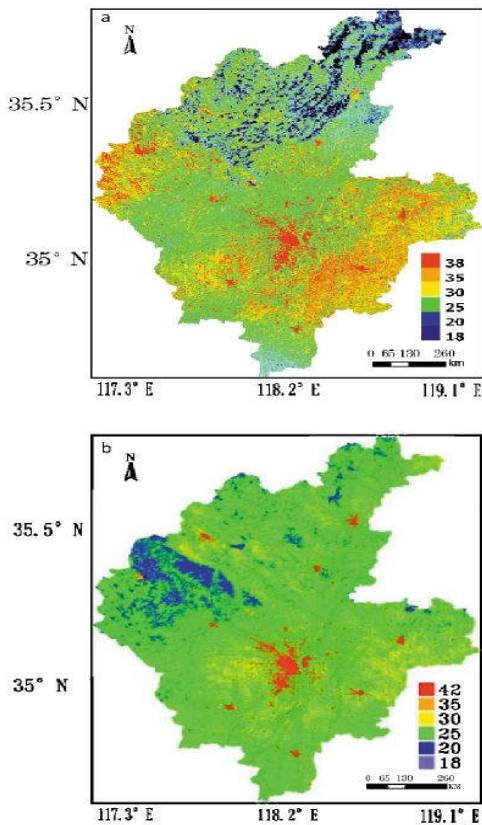


图1 2005和2014年临沂市地表温度卫星反演图

对比两幅遥感影像的反演结果可以看出,从2005—2014年,临沂市>35℃高温范围是明显增加的。2005年30~42℃区域主要分布在西北山区和东南农田区,受农作物植被覆盖度较低影响,呈现弱热岛强度。而2014年,植被覆盖度增加,未表现出弱热岛区。而弱热岛区主要集中在强热岛区附近,以及县城以外的区域,尤其是向中心城区发展的道路沿线,呈现出较多零星分布的弱热岛区。到2014年临沂热岛强度明显扩大,中心热岛区的最高温度高出4℃。分别对两期地表温度反演结果取多个ROI感兴趣区域像素点,求平均得到2005年 T_{roi} 为26.2℃,2014年 T_{roi} 为31.5℃。2005年 T_a 为24.3℃,2014年 T_a 为26.5℃。根据阈值划分结果,2005年总体呈现为中等强度热岛,2014年总体呈现为强热岛。

3.2 精度验证

表2 站点气温和反演温度对比 ℃

站点	2005年8月12日		2014年8月3日	
	站点温度	反演温度	站点温度	反演温度
临沂	31	31.6	31.3	32.7
蒙阴	32.2	31.8	31.4	32.6
平邑	32.1	32.8	31.7	34.1
费县	31.6	32.4	31.2	33.4
沂水	30.1	31.1	30.2	32.2
沂南	30.4	32.9	31.1	33.4
莒南	32	33.8	32.6	34.5
兰陵	32.8	32.9	30.9	33.1
临沭	30.9	31.8	31.7	34.8
郯城	32.8	33.4	30.7	34.5
平均	31.6	32.5	31.3	33.8

选择与卫星成像时间同期的站点气温资料与反演后所得区域结果进行对比(表2),评估研究区地表温度反演的有效性。根据站点经纬度,提取地表温度遥感反演结果的像元值,总相关系数分别为0.60和0.55,均通过0.01的显著性水平检验。2005年8月12日各站点平均气温为31.6℃,2014年8月3日各站点平均气温为31.3℃。两期反演结果平均温度距平分别为0.9、2.5℃。站点监测结果和卫星监测结果是一致的,站点监测统计结果反应了2005—2014年临沂市热岛特征随时间的变化,两幅卫星资料主要从空间上进行对比,体现了热岛特征在空间上的变化,从不同的角度说明热岛的变化情况,两种资料互为补充。因此认为两次反演的地表温度均满足研究需求。

3.3 不透水层指数反演结果

临沂市的中心城区,各县城建成区,条带状的公路以及零散分布的农村居民点,不透水层指数最大。不透水层指数与植被覆盖度呈负相关,因此部分植被覆盖度低的裸土较多的区域呈现为橙色(图2)。

2005年8月12日临沂市的不透水层指数呈中心聚集状(图2a),市中心建筑物较多,为城市的密集地带,不透水层指数总体较大。随中心城区向西南方向延伸,临沂市城西,沿国道和京沪高速公路的不透水层指数也较高,部分地区如临沂市罗庄区甚至有更高的趋势。另外各县城中心也表现出呈中心聚集状的高不透水层指数。临沂市城区在沂河以东和沂河以北区域,有递减的变化,伴随着植被的增多,周围水体的出现,不透水层率逐渐减少。2014年8月3日临沂市不透水层指数高值区的区域明显增多(图

2b),从中心城区向各个方向延伸,面积几乎扩大一倍。原来河东和城北区也表现出了聚集状的高不透水层指数。各县城中心表现高不透水层指数,在原来植被覆盖度较高的郊区,表现出分散的高不透水层指数,沿主要交通要道周围也增加了很多高不透水层指数的分布。这些地区由于大量土地的开发,造成了不透水层大面积的增加。

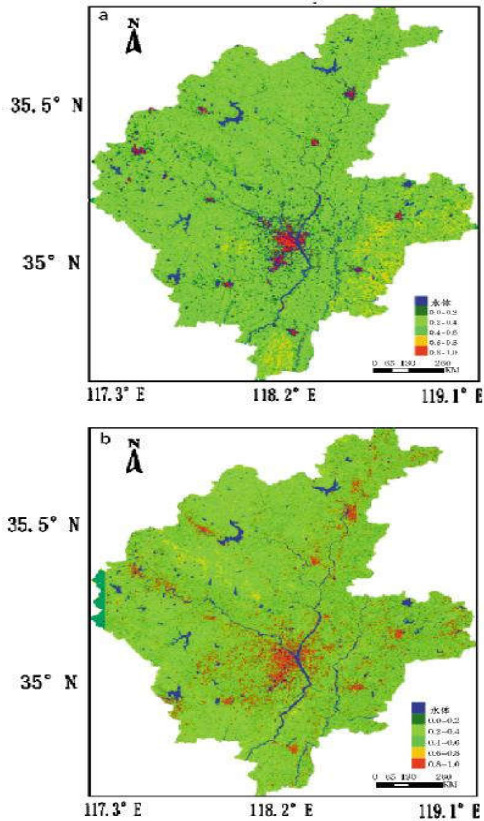


图2 2005和2014年临沂市不透水层指数分布

对比图 2a 和 2b, 可以看到当不透水层指数 >0.8 时, 几乎覆盖了所有已开发的城市土地, 包括低密度居住区、中密度居住区、高密度居住区以及商业中心区。因此, 对 $ISA>0.4$ 区域进行分类, $ISA>0.8$ 区域定义为城市用地, 其中 $0.6\sim0.8$ 区域定义为中密度区, $0.4\sim0.6$ 区域定义为低密度区^[18], 并对这 4 种区域像元数量进行了统计(图 3)。

2014 年临沂地区不透水层指数 >0.6 的区域明显增多, 约占据了区域的另一半, 这表明临沂市建筑群的数量已占据了相当大的比例。对比临沂行政地图, 主要集中在北城新区、河东区、罗庄区、沂水县和莒南县这 5 个区域。在 5 个区域内, 不透水指数都比较高, 一般都在 0.5 以上。此外, 在一些郊区中也存在较高的不透水层指数, 这些地区由于城乡结合区

域的土地的开发, 大量工程、建筑群替代了原有的农田荒地, 造成了不透水层指数的增加。

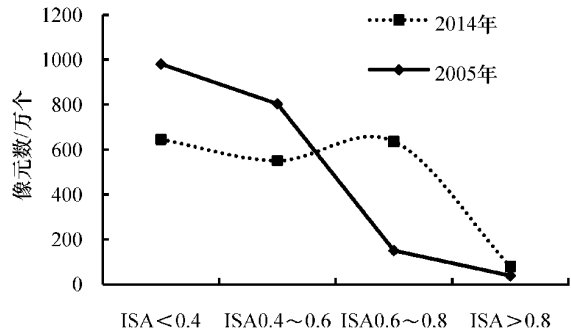


图3 2005和2014年临沂市不透水层指数变化

3.4 地表温度与不透水层指数的关系

对于不同类别计算其对应的地表平均温度, 地表温度因不透水层指数的变化而有较大差异(表 3), 且地表温度随着不透水层指数的增高而增高。2014 年遥感反演的临沂地区高密度城市用地的地表温度比郊区要高 $16.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 考虑到成像时间为夏季早上, 这一结果较有参考性。而低密度区到中密度区的地表温度平均值的增量较大, 这是因为随着城镇建筑用地区地表密度的加大, 使得平均地表温度的变幅增大。伴随着临沂经济的迅速发展, 加快了城市化进程的扩张, 导致了不透水层指数面积明显增多, 这也使得原本一些郊区的温度也急剧增加, 如临沂的北城新区、兰山区、罗庄区、河东区及周边的大片区域, 基本为新开发的经济区, 下垫面几乎都成为不透水层指数。这些不透水层指数的增加和植被覆盖的减少, 对城市的地表气温产生了很大的影响。

表3 2005和2014年临沂市地表温度与不透水层指数关系 $^{\circ}\text{C}$

	ISA < 0.4	0.4 ≤ ISA < 0.6	0.6 < ISA ≤ 0.8	ISA > 0.8
2005 年温度	24.7	28.9	36.4	37.8
2014 年温度	25.2	31.2	38.5	41.5

4 城市化因子分析

4.1 城市热岛强度季节变化特征

采用 2005—2014 年站点资料, 统计分析临沂市城市热岛强度季节变化特征。以临沂站代表城区温度, 其余 9 个县区地面气象站代表郊区温度, 城市热岛强度 (Urban Heat island Intensity, UHI) 为城区与郊区代表温度的差值, 为了排除站点温度波段的差异, 温度均取 02 时整点温度, 对每个季度进行算术平均, 按照四季和年平均气温来表示不同时间尺度的

热岛强度。

结果表明,热岛强度随时间总体呈现波动增加趋势,2008年以前有轻微减弱趋势,2008年以后呈增加趋势。2005—2014年的平均热岛强度为 0.61°C ,2014年的热岛强度最强,达 0.79°C ,2007年最低,为 0.48°C ,此后在2009年又上升到 0.64°C ,2010年后临沂热岛强度持续增高。四季的热岛强度变化,冬季最强,春、秋季次之,夏季较弱。

4.2 城市热岛强度与城市化因子的关系

城市热岛与城市经济规模、人类活动和能源消耗等方面密切相关。工业化、房地产开发、人口增长对城市热岛强度具有较大的影响,土地利用和城市发展模式的差异导致了城市热岛效应的空间差异^[21-22]。临沂城市扩展的主要表现方式是居住空间的生长,并伴随着相关建筑用地的不断增加,人口集聚和能源消耗。比热容较小的沙地、人口密度大的城区和植被覆盖较低的裸地是温度值较高的土地类型^[23-24]。因此,从地区生产总值、用电消耗、人口密度和房屋竣工增量面积这几个城市化因子与城市热岛强度的相关性进行分析讨论。

以2005—2014年人均生产总值作为经济规模的代表参数,人均生产总值代表临沂经济密度,并考虑用电消耗和房屋竣工增量面积的影响,将这4个城市化因子与热岛强度进行多项式拟合。结果表明,城市热岛强度与这4个城市化因子的增量均呈正相关,相关系数分别为0.86、0.67、0.52和0.81。前期增速缓慢,后期增速较快(图4)。其中建筑物面积增加与热岛强度增强密切相关,这与不透水层率面积的增加对城市热岛效应的影响是相对应的。2010年以前城市建设缓慢,2010年以后临沂市新区快速建设,而县区的城市扩张速度相对减缓,导致2010年以后热岛强度的一个快速上升。

5 结论

利用卫星资料和地面气象站点资料,结合地区经济数据。研究临沂市在2005—2014年城市下垫面热环境和不透水层的变化,分析城市化进程对城市热岛效应的影响,得到以下结论:

(1)从卫星监测地表温度的结果可知,2005年总体呈现为中等强度热岛,2014年呈现为强热岛。这两年的结果均存在城区总体温度高于郊区,热量向中心聚集的现象,但2014年城区热岛的范围更大,强度更强。从不透水层分布图来看,城镇建筑和硬化的路面有所增加,这与卫星遥感监测的地表温度变

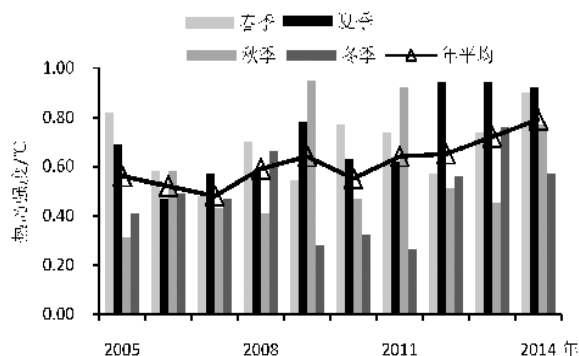


图4 2005—2014年临沂市年平均及四季热岛强度变化

化是一致的。

(2)2005—2014年临沂市年平均城市热岛强度变化呈波动增长,四季热岛效应的变化,冬季最强,春、秋季次之,夏季较弱。

(3)临沂市城市热岛强度的相关因子包含经济发展因素和人口增长因素,城市发展、人口增加所带来的土地利用增加,土地覆盖类型的变化和人类活动导致的能源消耗热量增加是临沂城市热岛强度增强的主要原因。

参考文献:

- [1] 阿吉古丽·沙依提.乌鲁木齐城市气象研究进展[J].沙漠与绿洲气象,2011,5(5):55-60.
- [2] 周淑珍,束炯.城市气候学[M].北京:气象出版社,1994:34-35.
- [3] HOWARD L.The Climate of London: deduced from meteorological observations made in the metropolis and at various places around it 1818 [R].professional paper: peoport,1833:1-22.
- [4] OKE T R. The energetic basis of urban heat island quarterly journal of the royal metrological society [J]. 1982,108(45):1-24.
- [5] 王郁,胡非.近10年来北京夏季城市热岛的变化及环境效应的分析研究[J].地球物理学报,2006,49(1):61-68.
- [6] 瓦力江·瓦黑提,任国玉,孙秀宝.乌鲁木齐城市热岛强度的日变化和季节特征[J].沙漠与绿洲气象,2018,12(1):21-28.
- [7] 鲁小荣,郭万里.昌吉市城市热岛效应的分析[J].沙漠与绿洲气象,2007,1(12):29-31.
- [8] 宫阿都,江樟焰,李京.基于 Landsat TM 图像的北京市地表温度遥感反演研究[J].应用技术,2005,12(3):45-51.
- [9] 徐永明,覃志豪,朱焱.基于遥感数据的苏州市热岛效应时空变化特征分析[J].地理科学,2009(4):539-534.
- [10] 毛克彪,覃志豪,刘伟.用 MODIS 影像和单窗算法反演环渤海地区的地表温度 [J]. 测绘与空间地理信息,

- 2004, 27(6): 23-25.
- [11] 杜培军, 谭琨等. 城市环境遥感方法与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 24-26.
- [12] 周成虎, 周红妹. 基于遥感和 GIS 的城市热场分布规律研究[J]. 地理学报, 2001, (2): 48-53.
- [13] 金丽娜, 李雄飞, 杜萌萌, 等. 基于 FY-3 卫星数据的西安市城市热岛特征分析 [J]. 气象与环境科学, 2019, 42(4): 74-82.
- [14] 裴欢, 房世峰. 南京市夏季热岛特征及其与土地利用覆盖关系研究[J]. 干旱气象, 2008, 26(1): 23-27.
- [15] 覃志豪, Zhang M, Karnieli A, 等. 用陆地卫星 TM6 数据演算地表温度的单窗算法 [J]. 地理学报, 2001, 56(4): 456-465.
- [16] Sobrino J A, Raissouni N, Li Z L. A comparative study of land surface emissivity retrieval from NOAA data [J]. Remote Sensing of Environment, 2001, 75: 256-266.
- [17] 谭桂容, 蔡哲, 徐永明. 基于 Landsat 影像的南京地区热岛效应 [J]. 安徽工业学报, 2009, 37 (13): 6050-6052, 6066.
- [18] 谢虹, 杨太保. 基于 Landsat 的城市热特征研究—以兰州市为例[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(6): 677-682.
- [19] 刘涛, 曹广忠. 城市规模的空间聚散与中心城市影响力 [J]. 地理研究, 2012, 31(7): 1317-1326.
- [20] 韩文堂, 陈学刚, 孙蓉花. 乌鲁木齐城市化进程对局地气候变化的影响研究 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2016, 10(6): 54-58.
- [21] 彭保发, 石忆邵, 王贺封. 城市热岛效应的影响机理及其作用规律—以上海市为例 [J]. 地理学报, 2013, 68(6): 1461-1471.
- [22] 王可心, 陈璨, 包云轩, 等. 福建省晋江市城市热岛强度时空变化特征分析[J]. 热带气象学报, 2019, 35(6): 852-864.
- [23] 刘蓉, 泮雪芹, 刘朋军. 临沂市热岛效应与土地利用类型关系分析[J]. 城市地理, 2016, 18(4): 140-141.
- [24] 黄鹤楼, 丁焯毅, 姚月开, 等. 宁波城市化进程对夏季极端气温和高温热浪的影响[J]. 气象与环境科学, 2020, 43(2): 56-62.

A Study of Heat Island Effect of Linyi City in Shandong Using Landsat Satellite Data

CAO Zhangchi¹, HU Shunqi, ZHU Yiqing, MAO Guorong, WANG Qinghua
(Linyi Meteorological Bureau, Linyi 276004, China)

Abstract This paper analyzed the impact of urbanization on the heat island effect of the Linyi city by using the inversion results of Linyi surface temperature and impervious layer index in 2005 and 2014 on the basis of Landsat satellite data. The results showed that the heat island effect of Linyi city was moderate intensity in 2005 but it was high intensity in 2014. Based on the statistical analysis of the ground station data, the intensity of the heat island in Linyi City showed a fluctuating and increasing trend from 2005 to 2014, with the strongest in winter, followed by spring and autumn, and weaker in summer. By analyzing urbanization factors, multiple factors including urban economy, population, electricity consumption, and the increase in urban housing area have an impact on the change of the intensity of urban heat islands. Their correlation coefficients were separately 0.86, 0.52, 0.67, and 0.81. Among them, the urban economy and housing area were closely related to the increase of heat island intensity. Judging from the dynamic changes in the distribution map of the impermeable layer index, the increase in urban buildings and hardened pavement in the urbanization process caused the increase of the intensity of heat island.

Key words urban heat island effect; Landsat satellite; impervious layer; land surface temperature retrieval; Linyi city