

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.

文章编号:1006-4354(2022)01-0072-05

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

彭继达,张春桂

(福建省气象科学研究所,福州 350008)

摘要:为了探究近 10 年福州发展对城市热环境产生的影响,利用 Landsat TM/OLI/TIRS 卫星影像资料开展福州市城市热岛效应卫星遥感监测,分析福州市城市热环境变化特征。结果显示,2010—2020 年福州市城市热岛面积有所扩大,特别是长乐区、福清市、闽侯县上街镇等区域扩大明显。城市热岛强度统计显示,强热岛和较强热岛面积均有扩大,弱热岛面积有所减小。

关键词:Landsat;影像预处理;城市热岛监测;福州市

中图分类号:P412.27

文献标识码:A

福州市是福建省省会城市,同时也是闽南地区金融、科技、商贸的中心及重要的交通枢纽。近年来,福州市城市化速度稳步加快,城市与人口规模显著扩大。《福州市城市总体规划(2011—2020 年)》(以下简称《总体规划》)中提出福州市中心城区发展方向与空间布局按照“东拓南进,面江向海”的城市发展方向,拉开城市框架,同时向周边新店、荆溪、上街、南屿和南通等区域适度扩展。2020 年是《总体规划》收官之年,历经 10 年规划发展,福州城市与人口规模显著扩大,特别是城市下垫面结构及其性质变化显著,原先的自然地表被人造地表如水泥、沥青等所替代,从而导致城乡地表热力特性的改变,再加上四周环山的地形特点,城市热岛效应日益加剧。

遥感研究城市热岛需要热红外数据,目前最常用也是最典型的是陆地资源卫星 Landsat 遥感影像数据的热红外波段和 MODIS 地表温度产品。相关研究显示^[1-5],MODIS 数据具有历史存档时间长、空间覆盖范围广等优点,运用相对较广泛。AQUA、TERRA 双星联合每天对地观测 4 次,高时间分辨率观测优势明显。Landsat 遥感

影像数据也具有长时间历史存档数据(Landsat5 于 1984 年发射),相比 MODIS 而言具有更高分辨率,对小尺度地表温度分布刻画的更为准确。随着长乐区、闽侯县和福清市等地区的协同发展,以往城市热岛效应研究多集中于福州市部分主城区,已无法满足福州市城市发展新格局的要求;因此,选取福州市为研究区,基于 Landsat 遥感影像数据,反演地表温度,评估城市热岛效应强度,开展城市热岛的时空对比研究。

1 数据资料与研究方法

1.1 数据资料

研究所用卫星影像下载自美国地质勘探局(USGS)官网(<https://glovis.usgs.gov/>)。综合考虑卫星数据特点及优势,选取 Landsat5 的 TM(主题成像仪)影像数据和 Landsat8 的 OLI(陆地成像仪)/TIRS(热红外传感器)影像数据。此外,为避免不同季节性差异及云的影响,仅对福州市夏季的少云影像数据进行检索,分别选取了 2010 年 9 月 13 日的 Landsat5 和 2020 年 7 月 22 日的 Landsat8 影像作为研究数据。

收稿日期:2021-05-26

作者简介:彭继达(1987—),男,江苏徐州人,汉族,硕士,工程师,从事气象卫星遥感资料应用工作。

基金项目:福建省科技厅引导性项目(2020Y0072);福建省气象科学研究所课题(202001)

1.2 数据预处理

Landsat 卫星影像辐射定标是使用卫星定标参数将卫星接收到的计数值(DN 值)转化为辐射亮度的过程,是遥感信息定量化的前提与基础。Landsat 卫星影像定标利用增益和偏移值,建立 DN 值与地面反射光谱值之间的相互关系。Landsat 卫星影像数据定标公式为

$$L = GD + B. \quad (1)$$

式中: L 为表观辐射亮度,单位为 $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$; D 为卫星载荷观测值; G 为定标斜率, B 为定标截距, G 和 B 单位均为 $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ 。利用计算出的表观辐射亮度,根据以下公式计算表观反射率

$$\rho = \frac{\pi L h^2}{E \cos(\theta)}. \quad (2)$$

式中: ρ 是表观反射率,为无量纲; π 为无量纲数学常数; h 是日地之间距离,为天文单位; E 是波段太阳辐照度,单位为 $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$; θ 是太阳天顶角,单位为 $^\circ$ 。

Landsat 卫星在发射和接收电磁辐射的过程中,常受到大气的影响,从而影响传感器接收的数据。一般通过大气校正的方式来消除大气中水汽、 CO_2 、 O_3 和 O_2 等大气分子和气溶胶散射对地物反射率的影响。目前,常用的大气校正方法有辐射传输模型法、暗黑像元法、统计学模型法等。本研究采用 FLASSH 大气校正法对影像进行大气校正,该方法基于 MODTRAN4+辐射传输模型,可以有效地去除大气中水汽、气溶胶散射效应,同时基于像素级的校正,矫正目标像元和邻近像元交叉辐射的“邻近效应”^[6]。

对 Landsat 遥感影像数据分别进行辐射定标和大气校正处理,得到地表真实反射率,并以典型地物植被为例,对比大气校正前后植被的光谱曲线,可以看到大气校正去除了部分大气的影响,特别是在可见光和近红外波段,使得校正后的植被光谱呈现出真实的植被光谱曲线特征(图 1)。

1.3 研究方法

1.3.1 Landsat 影像反演植被覆盖度

归一化植被指数(NDVI)是植被生长状态及植被覆盖度最佳指示因子,主要利用绿色植物强吸收可见光

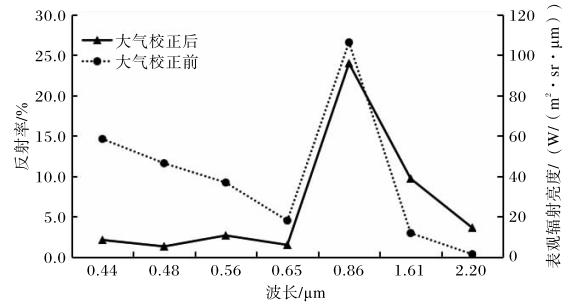


图 1 Landsat8 的 OLI 影像大气校正前后典型植被光谱曲线

红波段($0.6 \sim 0.7 \mu m$)和高反射近红外波段($0.7 \sim 1.1 \mu m$)的特点对植被长势进行遥感监测。NDVI 值区间为 $-1 \sim 1$, 负值表示地面覆盖为水、雪等, 0 表示岩石或裸土等, 正值表示有植被覆盖, 且随着植被覆盖度增加而增大^[7-10]。Landsat5 TM 卫星影像的 3、4 通道波段对应红光波段反射率(X_{red})和近红外波段反射率(X_{nir}); Landsat8 OLI 卫星影像的 4、5 通道波段反射率分别对应 X_{red} 和 X_{nir} 。NDVI(用 I_{ndvi} 表示)计算公式为

$$I_{ndvi} = \frac{X_{nir} - X_{red}}{X_{nir} + X_{red}}. \quad (3)$$

利用 NDVI 和像元二分模型原理计算植被覆盖度^[11]。像元二分模型原理是假设影像上一个像元的反射率可分为纯植被部分反射率和非植被部分反射率两部分, 则任一像元的反射率可以表示为植被覆盖部分与非植被覆盖部分的线性加权之和。根据像元二分模型原理, 将任一像元的 NDVI 值表示为由有植被覆盖部分地表与无植被覆盖部分地表组成的形式, 因此, 植被覆盖度可表示为

$$F_v = \frac{I_{ndvi} - I_{soil}}{I_{veg} - I_{soil}}. \quad (4)$$

式中: F_v 为植被覆盖度, 无量纲; I_{soil} 为完全是裸土或无植被覆盖区域的 NDVI 值, I_{veg} 则代表完全由植被所覆盖的像元的 NDVI 值, 即纯植被像元的 NDVI 值。根据整幅影像上 NDVI 的灰度分布, 以 0.50% 置信度截取 NDVI 的上下限阈值分别近似代表 I_{veg} 和 I_{soil} 。

1.3.2 地表比辐射率计算

根据城市热岛监测的地表比辐射率特征, 基于混合像元法计算地表比辐射率。将福州下垫面类型分为水体、城镇和

自然表面 3 种类型。计算公式如下

$$\epsilon = F_v R_v \epsilon_v + (1 - F_v) R_m \epsilon_m + d. \quad (5)$$

其中： ϵ 为地表比辐射率； R_v 为植被的温度比率， $R_v = 0.933 2 + 0.058 5 F_v$ ； ϵ_v 和 ϵ_m 分别为植被辐射率和建筑物辐射率，取经验值； R_m 为建筑地表的温度比率， $R_m = 0.988 6 + 0.128 7 F_v$ ； d 为自然表面的几何分布与内部反射效应而引起的发射率比例，其取值由植被覆盖度的组成决定^[12-13]。

1.3.3 地表温度反演 目前，使用较多的地表温度(LST)反演方法主要有辐射传输方程法、劈窗算法、单通道算法和多通道算法。本研究采用辐射传输方程法反演 LST^[14-15]，即

$$B(T) = \frac{L_{\text{sensor}} - L_{\text{atm}} \downarrow - \tau(1 - \epsilon)L_{\text{atm}} \uparrow}{\tau \epsilon}. \quad (6)$$

式中： $B(T)$ 为普朗克黑体光谱辐射亮度， L_{sensor} 为传感器接收到的热红外光谱辐射亮度， $L_{\text{atm}} \downarrow$ 和 $L_{\text{atm}} \uparrow$ 分别为大气下行辐射亮度和大气上行辐射亮度，辐射亮度单位均为 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$ ； T 为地表温度($^{\circ}\text{C}$)； τ 为大气透射率，无量纲。 $L_{\text{atm}} \downarrow$ 、 $L_{\text{atm}} \uparrow$ 和 τ 可通过 NASA 所属网站 (<http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>) 获得。

地表温度 T 可以用普朗克公式的函数获取，即

$$T = \frac{K_2}{\ln\left[\frac{K_1}{B(T)} + 1\right]}. \quad (7)$$

式中， K_1 、 K_2 系数可由影像头文件数据得到。

1.3.4 城市热岛强度计算 城市热岛效应评估通常采用热岛强度(S)进行表征^[16-19]，计算公式

可表示为

$$S_i = T_i - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_{\text{suburb}}(j). \quad (8)$$

其中， S_i 为卫星遥感图像上第 i 个像元所对应的热岛强度($^{\circ}\text{C}$)， T_i 是第 i 个像元的地表温度($^{\circ}\text{C}$)， n 为郊区背景内的有效像元数， $T_{\text{suburb}}(j)$ 为郊区背景内第 j 个像元的地表温度($^{\circ}\text{C}$)。郊区背景的提取是城市热岛强度计算的重要方面，为了提高提取精度，综合利用土地覆盖类型和经验知识并同时考虑距离城区的空间距离、地形等因素确定郊区范围；参考中国气象局综合观测司制定的《城市热岛卫星遥感监测评估业务管理规定(试行)》(气测函[2019]100号)，按照 S 的大小将城市热岛强度划分为 4 个等级：强热岛($S \geq 7$)、较强热岛($5 \leq S < 7$)、弱热岛($3 \leq S < 5$)、无热岛($S < 3$)。

2 结果与分析

2.1 城市热岛空间分布特征

根据上述城市热岛反演方法，分别得到福州市 2010 年和 2020 年城市热岛强度空间分布图(图 2)。如图所示，2010 年福州市晋安区、仓山区、鼓楼区、台江区均有明显的城市热岛效应现象，长乐区、福清市、闽侯县上街镇和荆溪镇有小范围的城市热岛效应。2020 年福州市晋安区、仓山区、鼓楼区、台江区、长乐区、福清市、闽侯县上街镇均有明显的城市热岛效应。与 2010 年相比，2020 年主城区城市热岛范围有所扩张，福清市、长乐区、闽侯县上街镇和南屿镇部分区域的城市热岛效应具有较明显新增或增强现象。

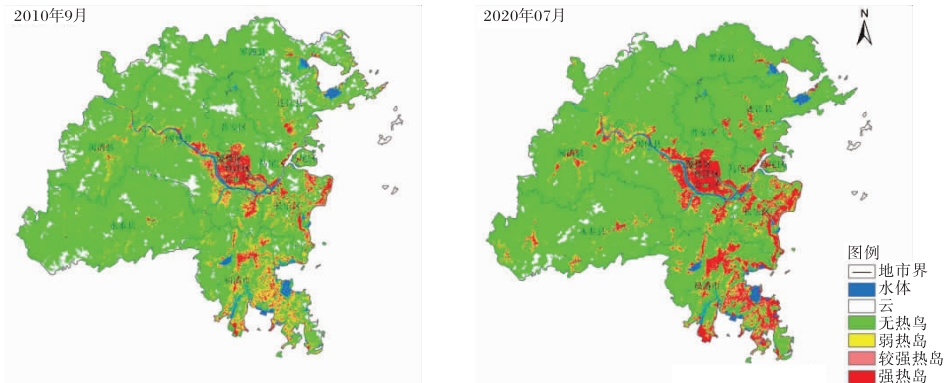


图 2 2010 年 9 月—2020 年 7 月福州市城市热岛强度空间分布对比(审图号为 GS(2017)3320 号)

2.2 城市热岛变化特征

分别对 2010 年和 2020 年研究区的热岛面积进行统计,分析 2010—2020 年的热岛面积变化情况。结果表明(表 2),2010—2020 年福州市热岛面积呈显著上升趋势,从 2010 年的 2 022.90 km² 增加到 2020 年的 2 395.61 km²,共增加 372.71 km²,热岛区面积占研究区的比例从 17.80% 上升到 21.04%。其中,弱热岛范围有所

减少,从 2010 年的 1 143.37 km² 减少到 2020 年的 869.961 km²,共减少 273.409 km²。较强热岛范围有所增加,从 2010 年的 515.06 km² 增加到 2020 年的 667.24 km²,共增加 152.18 km²。强热岛范围有明显增加,从 2010 年的 364.47 km² 增加到 2020 年的 858.41 km²,共增加 493.94 km²,强热岛区占研究区的比例从 3.21% 增加到 7.54%,增加了 4.33%。

表 2 2010—2020 年福州市城市热岛面积统计

热岛强度等级	2010 年		2020 年		2010—2020 年变化	
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
强热岛	364.47	3.21	858.41	7.54	493.94	4.33
较强热岛	515.06	4.53	667.24	5.86	152.18	1.33
弱热岛	1 143.37	10.06	869.96	7.64	-273.41	-2.42
热岛总面积	2 022.90	17.80	2 395.61	21.04	372.71	3.24

3 结论

伴随着过去 10 年福州市政府“东拓南进”的发展规划,福州市呈现快速发展势头,特别是长乐区、福清市、闽侯县上街镇等经济快速发展的非主城区。与此同时,城市热岛效应也不断增强。近十年,城市热岛面积扩张了 372.71 km²,占福州市总面积的 3.24%,特别是长乐区、福清市、闽侯县上街镇等区域扩张明显。对不同等级城市热岛强度进行分类统计显示,强热岛和较强热岛面积均有扩大,弱热岛面积有所减小。福州市正在积极争创国家中心城市,经济趋向更高速发展,城市化加剧,应注意快速城市化带来的城市热岛效应加剧,统筹城市生态环境保护和经济发展相协调。

参考文献:

- [1] 陈冰倩,张友水,程璟媛,等. 福州市地表温度热点及时空变化分析[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(5):710-719.
- [2] 乐通潮,聂森,潘辉,等. 基于 Landsat8 卫星影像的地表温度反演及福州春季城市热岛效应分析[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(5):154-160.
- [3] 崔凤娇,邵锋,齐锋,等. 植被对城市热岛效应影响的研究进展[J]. 浙江农林大学学报, 2020, 37(1):171-181.
- [4] 贾伟,高小红. 河谷型城市热岛空间分布格局演变及对策——以西安市区为例[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16(4):592-601.
- [5] 李元征,尹科,周宏轩,等. 基于遥感监测的城市热岛研究进展[J]. 地理科学进展, 2016, 35(9):1062-1074.
- [6] 彭继达,张春桂,李丽纯. 基于 Landsat 影像的平潭综合实验区设区前后植被变化特征分析[J]. 陕西气象, 2020(3):49-53.
- [7] 王娟敏,孙娴,何晓媛. 陕西省植被指数动态变化特征研究[J]. 陕西气象, 2011(4):1-5.
- [8] 张树誉,李登科,李星敏,等. 省级 MODIS 植被指数序列的建立与应用[J]. 陕西气象, 2006(3):25-28.
- [9] 王园香,唐世浩,郑照军. 1982—2006 年中国 5—9 月的 NDVI 变化与人类活动影响分析[J]. 地球信息科学学报, 2015, 17(11):1333-1340.
- [10] 石玉,肖继东,李聪,等. 基于 MODIS 数据的博州植被变化及驱动因子分析[J]. 陕西气象, 2019(3):56-59+62.
- [11] 彭继达,张春桂. 基于高分一号遥感影像的植被覆盖遥感监测——以厦门市为例[J]. 国土资源遥感, 2019, 31(4):137-142.
- [12] 陶菲,周侗,姜彩荣,等. 南通市热岛效应的遥感

- 分析[J]. 测绘科学, 2012, 37(6): 69-71.
- [13] 曾梦. 基于 MODIS 数据的重庆市热岛时空演变及机制研究[D]. 重庆: 西南大学, 2014.
- [14] 周正龙, 沙晋明, 季建万. 福州主城区热岛效应与不透水面的关系及时空变化分析[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2019, 35(1): 19-27.
- [15] 王天星. 地表参数遥感定量反演及其在城市热环境研究中的应用[D]. 福州: 福建师范大学, 2008.
- [16] 黄康刚. 基于 MODIS 地表温度空间降尺度的城市热岛时空变化研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2018.
- [17] 李海波. 基于 MODIS 数据的济南市城市热岛时空演变及机制研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2012.
- [18] 熊小菊, 廖春贵, 胡宝清. 2007~2016 年广西地表温度时空分异规律及其影响因素[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(17): 44-52.
- [19] 饶胜, 张惠远, 金陶陶, 等. 基于 MODIS 的珠江三角洲地区区域热岛的分布特征[J]. 地理研究, 2010, 29(1): 127-136.