

Satellite-Based Surface High Temperature Regionalization Index in Summer City

Tao Shi^{1,2,3}, Xiangyang Cheng^{1,3*}, Anwei Zhang¹, Ju Ma¹, Yuanjian Yang³

¹Anhui Meteorological Disaster Prevention Centre, Hefei Anhui

²Wuhu Meteorological Administration, Wuhu Anhui

³Key Laboratory of Atmospheric Sciences and Satellite Remote Sensing of Anhui Province, Hefei Anhui

Email: *xychengah@sina.com

Received: Oct. 8th, 2017; accepted: Oct. 24th, 2017; published: Oct. 31st, 2017

Abstract

In this paper, we processed surface temperature product of MODIS and night light remote sensing image of NPP-VIIRS covered Anhui province by the method of harmonic analysis of time series (HANTS) and correlation analysis. At the same time, we constructed the index of population weighted Urban Surface High Temperature Regionalization (IPWUSHTR), and we analyzed and studied the spatial distribution characteristics of urban thermal environment in summer. Results show: HANTS could remove the clouds from remote sensing images and well reserved the important characteristic information of the original data, to reconstruct the smooth time series of remote sensing images. Compared with the previous night light data, NPP-VIIRS had higher spatial resolution and radiometric resolution, and the population grid model thus obtained was closer to the actual population distribution. Relative to the traditional MODIS-based thermal environment index, IPWUSHTR was an indicator of stable distribution and convenient operation. In addition, we could use IPWUSHTR to carry out urban planning and management or promote energy-saving emission reduction technology, ultimately to ease the urban heat island effect and summer heat wave caused by imbalance of urban thermal environment pattern.

Keywords

Harmonic Analysis of Time Series, High Temperature Regionalization, Population Weighted, Urban Thermal Environment, Land Surface Temperature

夏季城市地表高温区划的遥感监测研究

石涛^{1,2,3}, 程向阳^{1,3*}, 张安伟², 马菊², 杨元建³

¹安徽省气象灾害防御技术中心, 安徽 合肥

²芜湖市气象局, 安徽 芜湖

³安徽省大气科学与卫星遥感重点实验室, 安徽 合肥

*通讯作者。

Email: *xychengah@sina.com

收稿日期: 2017年10月8日; 录用日期: 2017年10月24日; 发布日期: 2017年10月31日

摘要

本文基于MODIS地表温度产品和NPP-VIIRS夜间灯光遥感影像,应用时间序列谐波分析和相关性分析进行处理,以安徽省代表城市为例,研究了考虑空间化人口权重的夏季城市地表高温区划的卫星遥感监测指标。结果表明:时间序列谐波分析可以去除遥感影像中的云层遮挡现象,而且能较好地保留原始数据的重要特征信息,重新构成平滑的时间序列遥感影像。与以往的夜间灯光数据相比,NPP-VIIRS空间分辨率和辐射分辨率更高,由此得到的人口格网模型也更加接近实际人口分布。人口加权的城市地表高温区划指标相对于传统的单一地表高温区划指标,是一个形态分布相对稳定、可操作性较强的应用指标,利用该指标体系能够有效进行城市地表高温灾害的区划评估,继而进行城市规划管理或者推广节能减排技术,发展绿色生态环保技术缓解城市地表热环境格局不均衡造成和加剧的城市热岛效应和夏季高温热浪。

关键词

高温区划, 城市热环境, 地表温度, 人口加权, 谐波分析

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,在全球变暖和快速城市化进程的背景下,城市地表高温热环境的形成变得尤为独特和复杂并对人们带来不利影响。例如,最为明显的城市热岛效应成为影响城市生态环境的主导因素之一,由此产生的极端气候事件、人类健康威胁和经济损失等均不容忽视[1]-[9]。大约 54%的世界人口生活在城市地区,到 2030 年,随着城市群的出现和从农村到城市或郊区的人口迁移的继续,这一比例预计将增加到 70% [10]。城市地区快速的人口增长和人口聚集正在为政策制定者和公众创造社会问题。因此,开展城市地表热环境变化的时空监测研究,对理解城市气候变化特征以及城市发展和规划、生态绿色发展以及防灾减灾均具有重要意义。

遥感技术已被广泛认为是环境评估和城市规划不可或缺的工具,因为它可用于获得模拟环境影响人口增长和城市化时所必需的时空数据。基于卫星的城市化及其热环境影响评估受到越来越多的关注[11] [12] [13] [14],主要卫星平台为 NOAA/AVHRR [15] [16] [17] [18],EOS/MODIS [19]-[24]和 Landsat/TM [25] [26] [27] [28] [29]。AVHRR 资料的分辨率为 1.1 km,其优势在于将复杂的城市下垫面区域简单地近似处理成粗糙单元,并能有效反映出城市温度空间分布,用于城市热岛形成的研究。相比之下,利用更高分辨率卫星如 Landsat 数据(空间分辨率为百米级)显示出长期监测城市化和城市热岛效应的优势。虽然高分辨率卫星资料能反映城市街区尺度,但其时间分辨率太低,而且资料不易获得,所以在应用中受到一定的限制。美国 NASA 发射了对地观测系统(EOS)卫星 Terra 和 Aqua 上搭载了中等分辨率成像光谱仪(MODIS)可以根据一定的算法对地表温度和植被指数等特征进行反演分析。与 Landsat TM 相比,它具有

高时间分辨率和高光谱分辨率的优点, MODIS 每 1~2 d 观测整个地球表面状况, 可获得 36 个光谱通道资料, 这些资料有助于精确地理解全球/区域甚至局地城市气候变化。例如, 张佳华等[3]利用 EOS/MODIS 遥感资料结合常规气象资料对北京地区 2001 年城市热岛空间分布的日变化和季节特征及其影响因子进行了研究; 石涛等[23]利用 Terra 和 Aqua 搭载的 MODIS 反演的地表温度揭示了安徽省典型代表城市的热岛的年际、季节和日变化特征及其成因。易予晴等[24]利用多年的 MODIS 地表温度产品和遥感土地利用分类结果揭示了武汉城市群的夏季热环境分布特征, 分析了城市群热环境日夜变化特征与土地覆盖类型的相关关系。因本文将重点关注基于 MODIS 的城市地表高温热环境遥感改进方法。

然而, 由于自然地形、天气条件、人为改变边界层下垫面特征以及人为热源排放等多种因素影响[30]-[35], 加之卫星光学遥感监测地表温度的采样受云等影响较大[36] [37], 不同研究时次城市地表温度的时空分布特征是变动的, 这使得城市热环境指标在实际城市规划和生态环境评估应用中存在一定的不足。城市规划管理需要一个稳定的热环境指标, 由其得到的热环境空间分布特征不会出现明显的变化, 能够反映城市热环境分布对人类生产生活的影 响, 人口越集中的区域, 受城市高温热环境影响的人数越多, 这样使得城市规划调整和建筑节能推广等工作才具有可操作性[38]。因此需要一个能综合考虑到人口分布因素来进行城市高温热环境区划监测指标, 且在一定时空范围内形态分布相对稳定、可操作性较强, 继而可有效对城市规划调整或者节能减排技术推广。已有研究表明, NPP/VIIRS (National Polar-orbiting Partnership, NPP; Visible Infrared imaging Radiometer Suite, VIIRS)是最新一代的夜间灯光遥感数据, 卫星的传感器是由 NOAA 和 NASA 共同研制, 相对于传统的数据具有更高空间分辨率和更大幅宽。NPP/VIIRS Day/Night Band (DNB)影像的空间分辨率约为 $0.5 \text{ km} \times 0.5 \text{ km}$, 在实现人口和社会经济数据空间化的具有巨大潜力[39]。例如, 其具有独特的低光源成像捕捉能力, 能够有效探测城市及其周边地区的居住区以及工业和场矿的能耗特征, 且 NPP/VIIRS 夜间灯光强度 DNB 像元灰度值与城市人口数量和城市建成区的扩张有着较好的关联度, 从而成为人口的空间化和格网化分布反演的重要的数据来源[39]。

鉴于此, 本文以安徽省北部代表城市蚌埠、安徽省中部代表城市合肥以及安徽省南部代表城市芜湖为研究对象, 选取覆盖安徽省的 MODIS 地表遥感数据和 NPP/VIIRS 夜间灯光遥感影像, 应用时间序列谐波分析和回归分析进行处理, 同时选用人口、地表温度作为研究指标来表征热环境, 构建一个考虑人口分布因素的且在一定时空范围内形态分布相对稳定、可操作性较强的城市热环境指标对代表城市夏季地表高温进行区划研究和评估。

2. 资料与方法

2.1. 研究区概况

本文综合气候、地理、人口、城市化程度等因素, 选取了安徽省省会合肥、代表安徽省北部的蚌埠和代表安徽省南部的芜湖作为研究对象, 具体位置见图 1。合肥市为安徽省省会城市, 安徽省第一大城市, 地处江淮之间的丘陵地带和巢湖之滨; 芜湖市是安徽省第二大城市, 安徽省南部的经济中心, 地处长江以南的沿江平原; 蚌埠是安徽省的铁路交通运输枢纽重中心, 地处淮河两岸的平原地带。

2.2. 资料来源及预处理

MODIS 是美国地球观测系统(EOS)任务中太阳同步卫星上搭载的主要传感器。本文地表温度数据选用该卫星的陆地 3 级标准数据产品, 空间分辨率 1 km , 过境时间 10:30 左右, 这个时段处于地表升温时段, 适合用于城市热环境特征的研究。NPP/VIIRS 是最新一代的夜间灯光遥感数据, 卫星的传感器是由 NOAA 和 NASA 共同研制, 相对于传统的数据具有更高空间分辨率和更大幅宽。NPP/VIIRS 影像的空间分辨率约为 $0.5 \text{ km} \times 0.5 \text{ km}$ (表 1)。

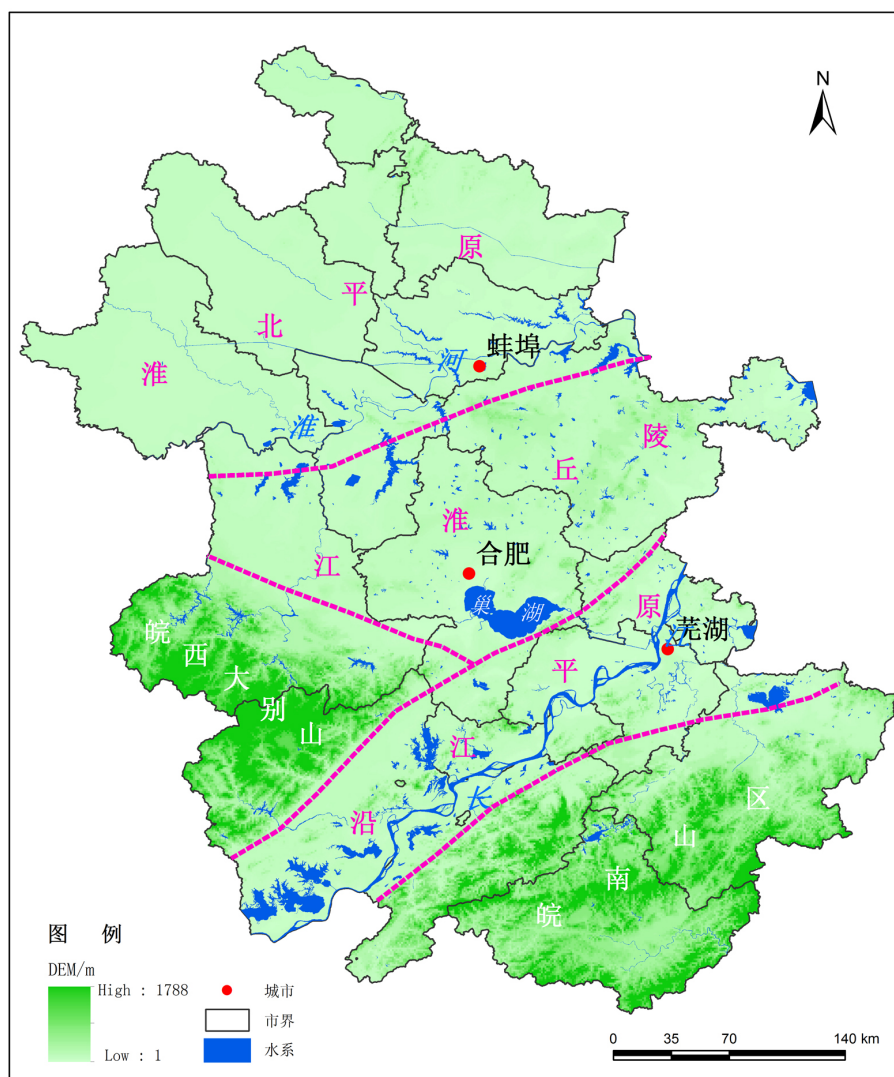


Figure 1. Geographical division of Anhui province and selected representative cities
图 1. 安徽省地理分区情况及选取的代表城市

Table 1. Data types, sources, times, and accuracy of this article
表 1. 本文的数据类型、来源、时次和精度

数据类型	来源	时次	分辨率/比例尺
MODIS	NASA 官网	2014 年~2015 年 1 月~7 月	1 km × 1 km
NPP/VIIRS	NASA 官网	2014 年~2015 年 7 月	0.5 km × 0.5 km
区县行政区划	安徽省气候中心	2015 年	1:25 万
安徽省人口普查数据	安徽省统计年鉴	2015 年	区县级

2.3. 谐波分析法

时间序列谐波分析法[40] (Harmonic Analysis of Time Series, HANTS) (简称 Hants)可以对时间序列数据进行平滑校正。Hants 的核心计算方法为傅里叶变换和最小二乘法拟合,先将时间序列遥感影像的数据

分解成不同频率的正弦和余弦曲线，然后筛选具有时间序列特征的曲线进行叠加运算，从而重新建立的平滑时间序列遥感影像。

Hants 处理的流程是，首先将所有的离散数据生成最小平方的拟合曲线，然后检查每一个数据，逐个与拟合的曲线进行对比。当遥感影像上出现云层时，被干扰点的像元值会很低，将被程序视为云污染点，然后将这些点的权重赋为零，最终从拟合曲线上剔除。偏离阈值最大的点首先剔除，然后将剩余的点重新进行拟合生产曲线，最后检查每个数据，再剔除偏离阈值的点。多次循环这个过程，最后就能重新构建光滑的曲线。

2.4. 空间化人口反演

本文首先收集各区县的人口普查数据和 NPP/VIIRS 遥感数据，然后统计分析各区县行政边界范围内的夜间灯光强度数据，通过回归分析得到各区县内夜间灯光强度与普查人口的函数关系[39]，见公式(1)。

$$P_i^G = F\left(\sum DN_{VIIRS}\right) \quad (1)$$

式中， P_i^G 为第 i 区县的统计普查人口； DN_{VIIRS} 为 NPP/VIIRS 的像元灰度值； $\sum DN_{VIIRS}$ 为第 i 区县范围内 NPP/VIIRS 的像元灰度值总和。

根据上述函数关系，可以在 ARCGIS 中完成人口的空间化数据，再对各区县的人口数据进行统计，求得各区县普查人口数与各区县空间化人口数据的订正系数 b_i ：

$$b_i = P_i^G / P_i \quad (2)$$

其中， b_i 为第 i 区县范围内人口格网订正系数， P_i^G 为该区县的普查人口数， P_i 为通过回归方程得到的第 i 区县的人口统计数。

然后将比例系数与各个单元格上的空间化人口数据相乘，最终得到修正的空间化人口数据：

$$PGRID_i^C = PGRID_i * b_i \quad (3)$$

其中， $PGrid_i^C$ 为订正后的第 i 区县每个格网单元上分布的人口数量， $PGrid_i$ 为由回归方程求得的第 i 区县内每个栅格单元上分布的人口数量。

2.5. 人口加权的城市地表高温区划指标

根据张立杰等人研究[38]，城市规划管理需要一个稳定的热环境指标，由其得到的热环境空间分布特征不会出现明显的变化，一方面能够反映城市热环境分布对人类生产生活的影响，另一方面由于人口越集中的区域，受城市热环境影响的人数越多，这样使得城市规划调整和建筑节能推广等工作才具有可操作性。为了满足上述这样要求[38]，本文设计了基于 MODIS 和人口加权的城市地表高温区划指标 (Population Weighted Urban Surface High Temperature Regionalization Index)，其大小用 $I_{PWUSHTR}$ 表示。

$$I_{PWUSHTR} = N\left(N(UTE) * N(P)\right) \quad (4)$$

式中， $N(x)$ 为归一化函数， UTE 为由 MODIS 遥感数据反演得到的城市地表温度， P 为空间化人口数据。再根据得到的人口加权城市地表高温区划指标的大小，采用 ArcGIS 默认的自然断点 (Natural Breaks) 方法进行分级。

3. 结果与分析

3.1. 谐波分析重构遥感影像

图 2(a) 为经过剪裁镶嵌和投影转换的 MODIS 原始数据，可以看到，原始影像中存在单独或大片空白的斑块，即较为严重的云层遮挡现象。图 2(b) 为经过时间序列谐波分析处理过的影像，经过对比可以发现原图中所有的云污染点和斑块被去除，Hants 重新构成了平滑的时间序列遥感影像。

此外,从同一研究区域的光谱曲线对比图上看,对于原始光谱曲线(图 3(a))上那些明显低于正常数值的点,Hants 可以将它们的权重赋为零而剔除参与曲线拟合,最终形成一条新的光滑曲线(图 3(b))。

3.2. 夜间灯光数据反演人口

根据 2.4 节中空间化人口反演方法,将各区县普查人口数与 NPP/VIIRS 像元灰度值进行回归分析。如图 4 所示,各区县人口数与像元灰度值相关性较为显著,决定系数 R^2 达到了 0.7516,因而 NPP/VIIRS 夜间灯光数据适用于人口空间化分析。

由此得到的人口数与夜间灯光数据 NPP/VIIRS 像元灰度值函数关系,如下所示:

$$P_i = 48.536 * (DN_{VIIRS})^3 - 74.671 * (DN_{VIIRS})^2 + 90.845 * DN_{VIIRS} - 6.0622$$

根据上面得到的函数关系,通过 Arc GIS 计算 NPP/VIIRS 每个栅格单元上的初始人口数,由此可统计出第 i 区县行政区划范围内的初始人口数 P_i^0 。

已有研究表明,由于拟合曲线存在一定的误差,每个区县初始人口数与实际普查人口数 P_i^c 并不完全符合[39],因此,根据公式(2)和(3)分别构建了各个区县的人口栅格模型比例系数 b_i ,然后将各个区县的遥感反演初始人口栅格值 $PGrid_i$ 乘以相应的比例系数,使各区县栅格模型人口总数量与普查人口数量相等,得到最终的空间化人口数据。

3.3. 基于 MODIS 遥感的夏季城市地表高温区划

经过行政区划掩膜提取和时间序列谐波分析之后,我们可以得到皖北代表城市蚌埠、皖南代表城市

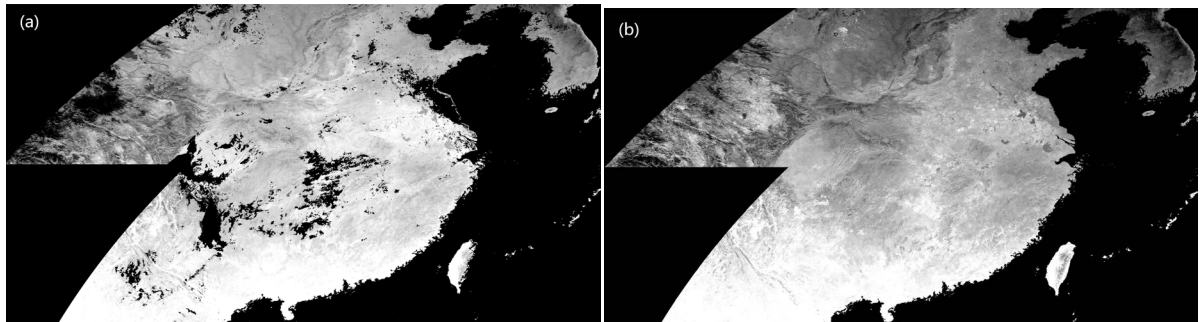


Figure 2. Contrast of original image (a) and harmonic analysis images (b)
图 2. 原始影像(a)和谐波分析影像(b)对比图

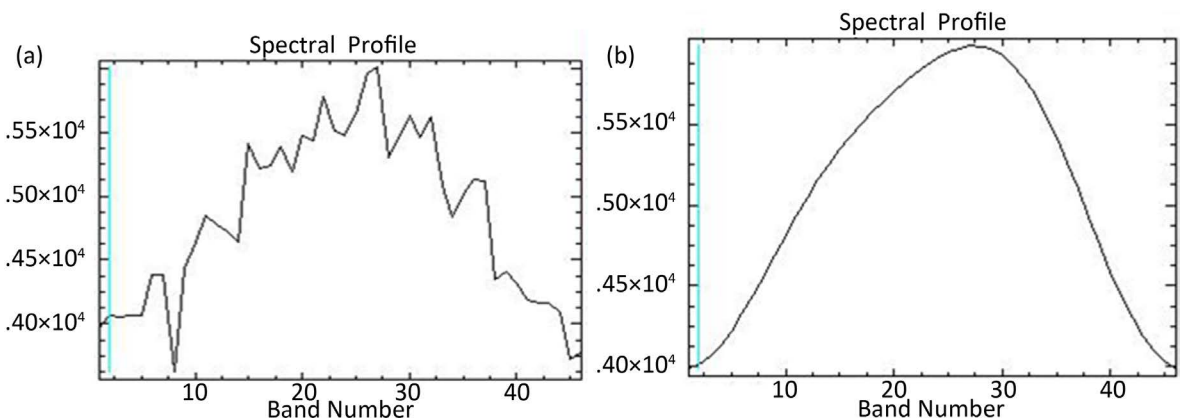


Figure 3. The original spectral curve (a) and harmonic analysis spectral curve (b)
图 3. 原始光谱曲线(a)和谐波分析光谱曲线(b)

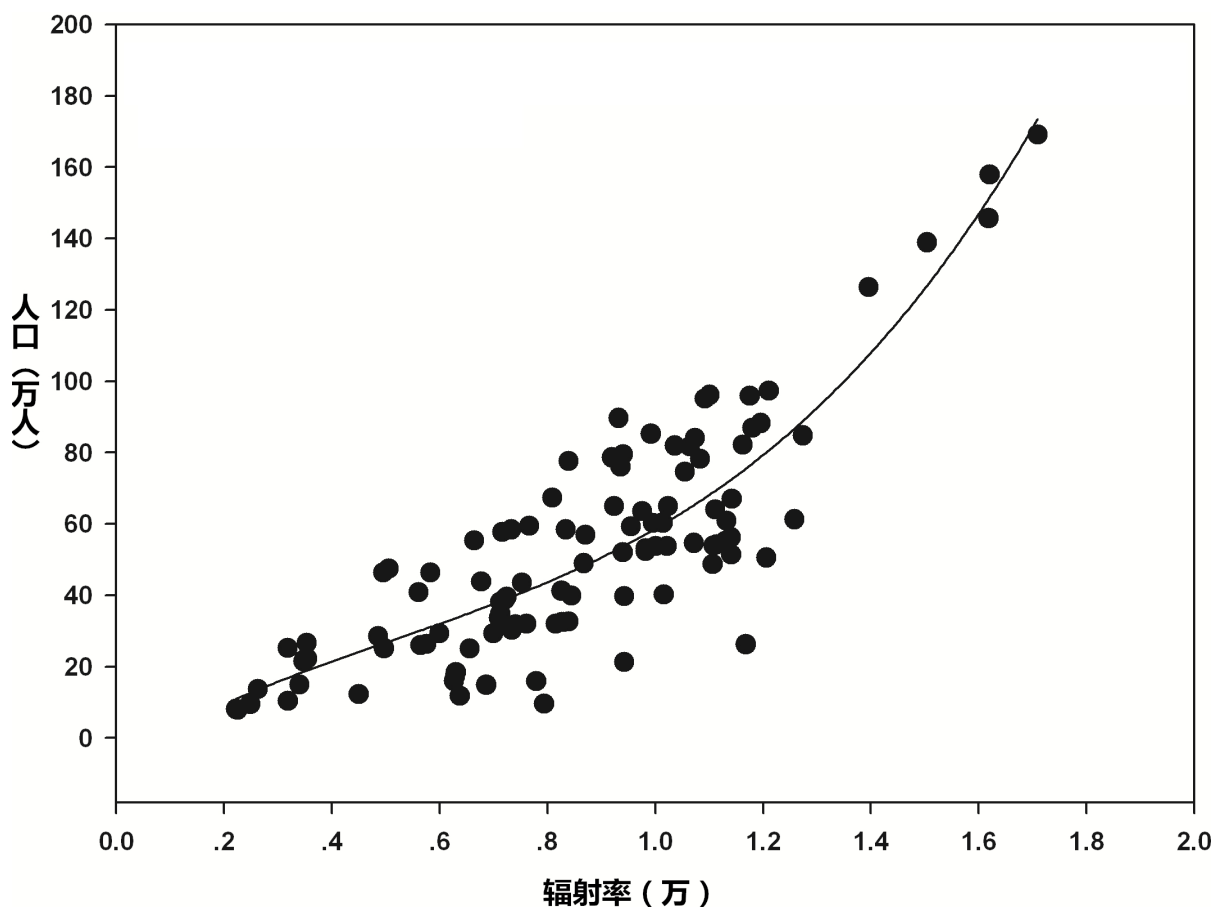


Figure 4. General population and NPP/VIIRS scatter plot

图 4. 普查人口与 NPP/VIIRS 散点图

芜湖以及皖中代表城市合肥的遥感影像地表温度分布情况，之后再行归一化处理和 Nature Break 地表温度分类，可以得到基于 MODIS 的安徽代表城市地表高温热环境区划(LT, SLT, MT, SHT and HT 分别代表 low, sub-low, medium, sub-high and high temperature zones, 即低温区(LT)、亚低温区(SLT)、中温区(MT)、亚高温区(SHT)、高温区(HT))。

如图 5 所示，2014 年夏季蚌埠、合肥和芜湖(图 5(a)、图 5(b)、图 5(c))三个代表城市均出现了不同程度的热岛效应，高温区主要集中在城市中心区域，通过 GIS 软件的统计分析给出 2014 和 2015 年夏季 MODIS 监测到的不同热环境等级面积比例，具体见表 2。高温区在三个城市所占的面积比重分别达到了 7.37%、14.47%、11.99%；三个城市的热环境等级面积以中温区为最高，均在 30%以上；亚高温和亚低温的面积比例在 20%~30%之间；而低温区的面积比例都在 10%以下。

对比来看，2015 年夏季(图 5(d)、图 5(e)、图 5(f))三个代表城市的中心区域同样出现了大块的高温区，但是将 2015 年的夏季高温区划与 2014 年夏季进行对比，可以发现两者高温区出现的区域和斑块形状变化较大，两个时次的高温分布特征之间并没有呈现出明显的规律。同样通过 GIS 软件的统计分析具体见表 2。看出高温区在三个城市所占的比重也有所增加，分别为 7.6%、16.22%、16.55%。但是三个城市的热环境等级面积不再以中温区为最高，蚌埠和芜湖以亚低温最高，面积比例分别为 32.8%和 31.59%，合肥以亚高温最高，面积比例分别为 32.19%；而低温区的面积比例仍然都在 10%以下。综合来看，2015 年的夏季热环境分布与 2014 年夏季的空间分布和不同热环境等级的面积比例的最大值均发生了较为显著的变化。

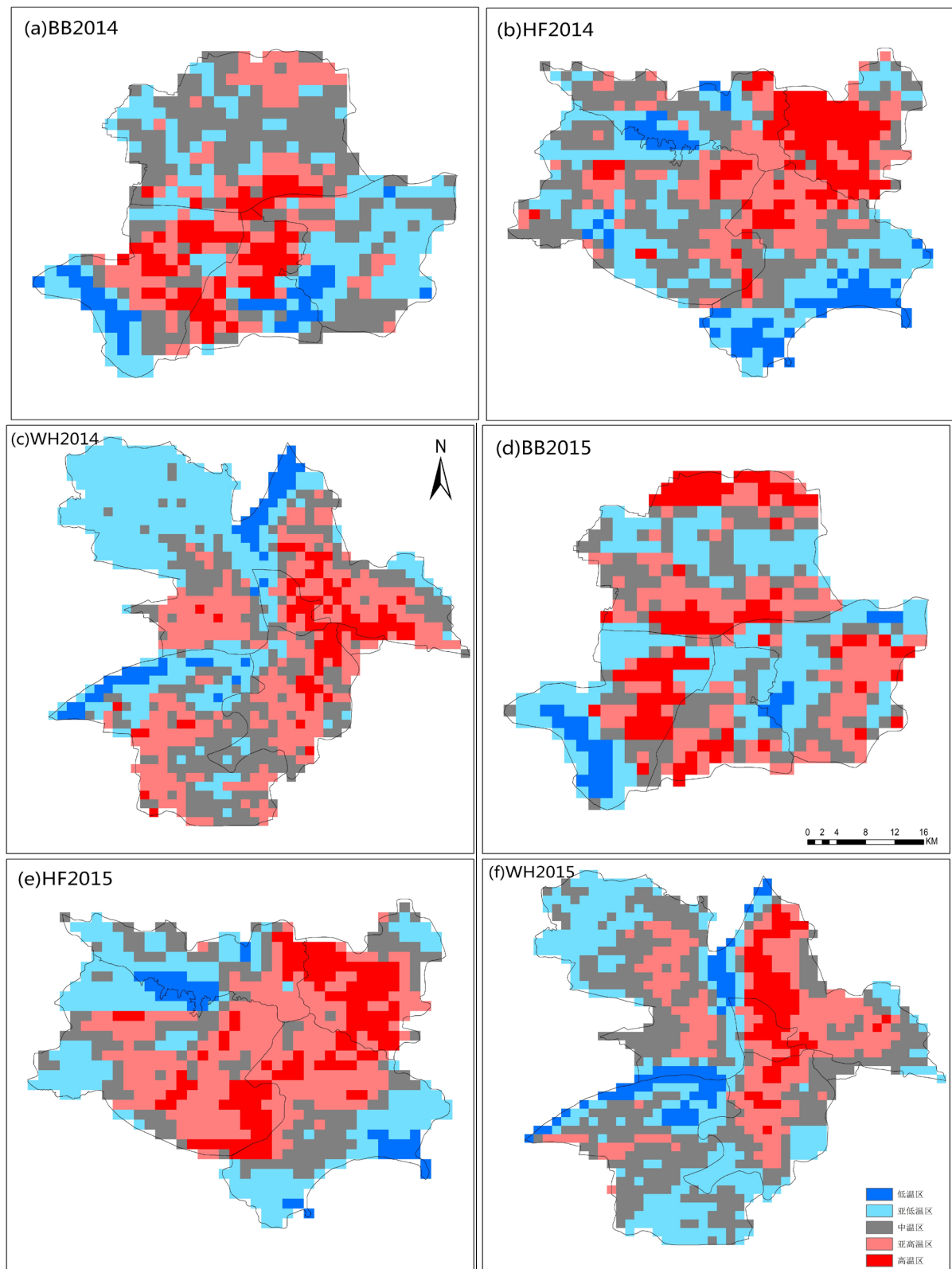


Figure 5. Based on MODIS monitoring, 2014 (A,B, c) and 2015 (D, e, f), Anhui representative cities (Bengbu (a, d), Hefei (B, e), Wuhu (C, f)), summer surface heat regionalization

图 5. 基于 MODIS 监测的 2014 年(a,b,c)和 2015 年(d,e,f) 安徽代表城市(蚌埠(a,d)、合肥(b,e)、芜湖(c,f))夏季地表高温区划

3.4. 基于人口加权的 MODIS 遥感夏季城市地表高温区划

根据公式(4), 得到人口加权的 MODIS 遥感热环境指标的空间分布, 2014 年夏季(图 6(a)、图 6(b)、图 6(c))三个代表城市的中心区域也出现了高温区域, 而 2015 年夏季(图 6(d)、图 6(e)、图 6(f))的高温区面积有所增加, 并且是在 2014 年夏季原有的高温区域上进行拓展, 两者在高温区出现的区域和斑块形状上具有较强的连续性和相似性, 且低温区面积的空间形态十分稳定, 通过人口加权之后的低温区面积比例为最高而且最为稳定, 符合城市周边的实际情况。

具体来看, 从空间分布上来看, 城市的高温区主要集中在城市中心区域, 通过 GIS 软件的统计分析给出 2014 和 2015 年夏季人口加权后的不同热环境等级面积比例, 具体见表 3。2014 年高温区在三个城市所占的面积比重分别达到了 4.69%、9.05%、6.85%。2015 年夏季三个代表城市的中心区域同样出现了大块的高温区, 高温区在三个城市所占的比重也有所增加, 分别为 4.67%、13.96%、8.61%。三个城市的热环境等级面积以低温区为最高, 芜湖和蚌埠均在 30%以上, 合肥在 25%以上; 蚌埠和芜湖亚低温的面积比例在 20%~30%之间, 而合肥的在 15%左右; 而高温核心区域的面积比例基本都在 10%以下, 除了合肥 2015 年在 10%, 这与合肥市的快速城市化和人口发展也有密切相关。

综上所述, 本文构建的人口加权热环境指标是一个形态分布相对稳定、应用性较强的城市地表高温区划指标, 从城市规划和管理、生态环境监测的角度出发, 能够在这些区域采用城市规划管理或者节能减排技术, 发展绿色生态环保技术, 缓解城市热环境格局不均衡造成和加剧的夏季高温热浪。同时, 由于引入了最新的 NPP/VIIRS 夜间灯光强度数据(500 米 × 500 米), 使得人口加权城市地表高温区划指标

Table 2. Based on the proportion of area of different thermal environment grades in MODIS 2014 and 2015 summer
表 2. 基于 MODIS 2014 和 2015 年夏季的不同热环境等级面积比例

时间	城市	不同热环境等级面积比例(%)				
		低温区	亚低温区	中温区	亚高温区	高温区
2014 年夏季	蚌埠	6.24	28.07	36.39	21.93	7.37
	合肥	9.14	25.38	30.20	20.81	14.47
	芜湖	6.25	27.87	33.28	20.61	11.99
2015 年夏季	蚌埠	5.29	32.80	25.71	28.54	7.66
	合肥	4.82	25.60	21.17	32.19	16.22
	芜湖	4.73	31.59	23.82	23.31	16.55

Table 3. Based on the population weighted thermal environment index, the proportion of different thermal environment grades in summer of 2014 and 2015 was studied

表 3. 基于人口加权热环境指标的 2014 和 2015 年夏季不同热环境等级面积比例

时间	城市	不同热环境等级面积比例(%)				
		低温区	亚低温区	中温区	亚高温区	高温区
2014 年夏季	蚌埠	37.22	28.38	16.07	13.63	4.69
	合肥	27.38	16.19	25.98	21.40	9.05
	芜湖	41.74	24.31	14.02	13.09	6.85
2015 年夏季	蚌埠	37.36	28.48	17.94	11.55	4.67
	合肥	26.22	12.20	21.86	25.77	13.96
	芜湖	30.60	29.85	13.66	17.28	8.61

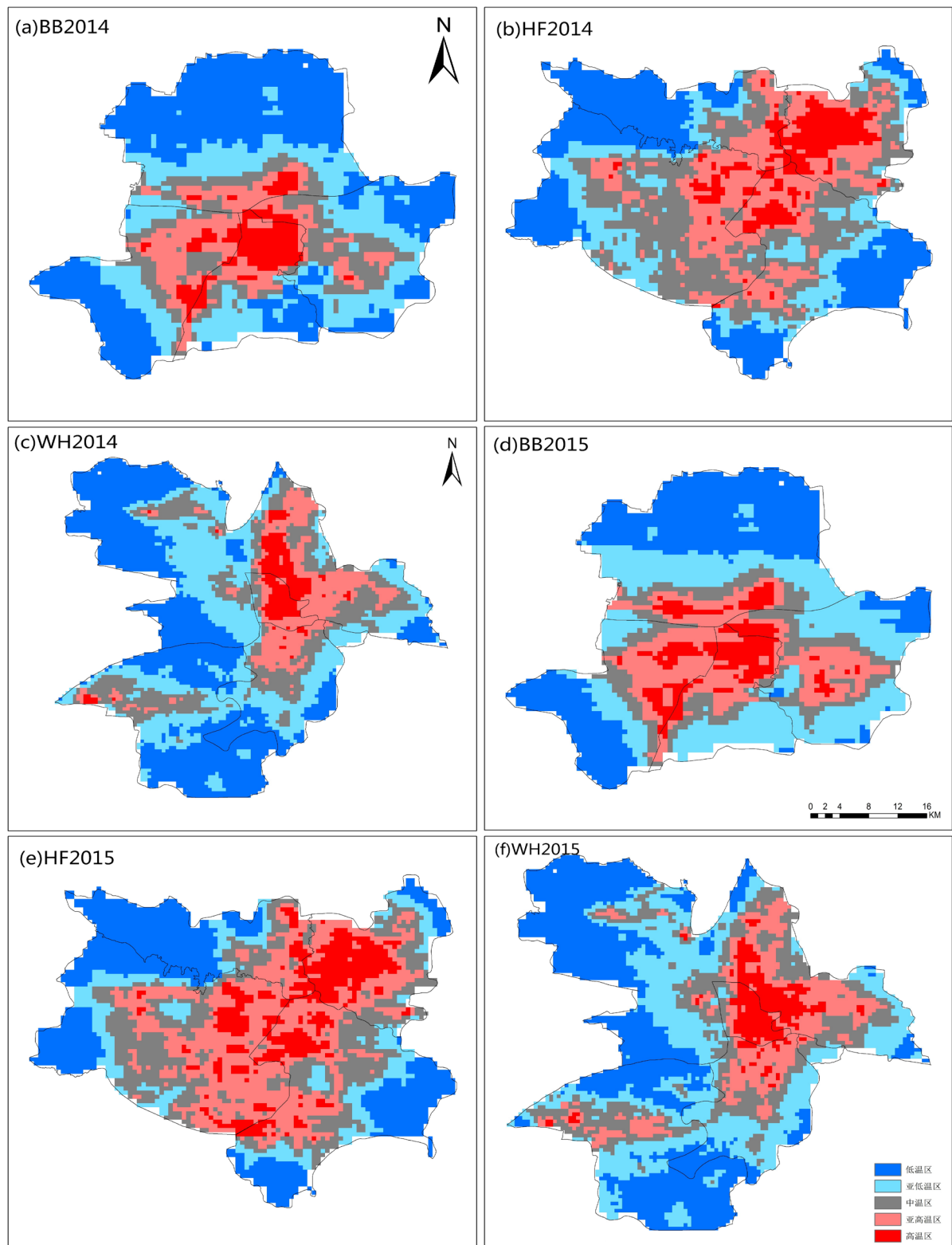


Figure 6. Based on population weighted MODIS monitoring, 2014 (A,B, c) and 2015 (D, e, f), Anhui representative cities (Bengbu (a, d), Hefei (B, e), Wuhu (C, f)), summer surface heat regionalization

图 6. 基于人口加权的 MODIS 监测 2014 年(a,b,c)和 2015 年(d,e,f) 安徽代表城市(蚌埠(a,d)、合肥(b,e)、芜湖(c,f))夏季地表高温区划

的空间分辨率相对于传统的地表热环境数据有了较大的提升。

4. 结论与讨论

1) NPP/VIIRS 相对于传统夜间灯光数据而言,空间分辨率和光谱分辨率有了大幅的提高。通过构建反演模型以及各个县区校正系数的确定,各县区普查人口数量与对应的夜间灯光强度有着比较好的相关性,基于夜间灯光遥感影像反演得到的空间化人口数据,不但在数量上接近实际人口,而且在表征各个县区人口空间分布的内部特征上具有一定的优越性,能够真实的反应出研究区域内人口分布的差异性。

2) 原始 MODIS 影像中存在单独或大片空白的斑块,即较为严重的云层遮挡现象,导致原始数据偏低,不能直接用于年际空间分布特征分析。时间序列谐波分析不仅可以对这种现象给予有效订正,而且能较好地保留原始数据的高质量信息,重新构成平滑的时间序列遥感影像,适合用于热环境空间分布特征的研究。

3) 人口加权的地表高温区划指标相对于传统的单一使用遥感数据进行反演更加科学合理。一方面可以大幅提高空间分辨率,细化城市热环境的空间分布特征;另一方面该指标是一个形态分布相对稳定、可操作性较强的城市地表高温区划指标,从城市规划和管理的角度出发,能够在这些区域采用城市规划管理或者节能减排技术,发展绿色生态环保技术,缓解城市热环境格局不均衡造成和加剧的夏季高温热浪。

目前我国正处在工业化和城镇化快速发展的历史阶段,气候变化对城市的建设发展、能源、交通、通信等基础设施安全和人民生活已经并将持续产生重大影响,积极建设气候适应型城市,事关城市可持续发展,是生态文明建设的一项重大课题。未来我们将继续探究影响城市热环境分布的其他因素,将把城市的地形、建筑物的布局等影响因子加入到城市地表高温热环境指标中,从而进一步完善城市地表高温区划的遥感监测指标体系。

基金项目

中国气象局气候变化专项(CCSF201726),国家自然科学基金项目(41205126),中国气象局人才专项,安徽省气象局创新团队计划和安徽省气象局科技发展基金(KM201520)共同资助。

参考文献 (References)

- [1] 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.
- [2] 陈云浩,李晓兵,史培军,等.上海城市热环境的空间格局分析[J].地理科学,2004,22(3):317-323.
- [3] 张佳华,侯英雨,李贵才,等.北京城市及周边热岛日变化及季节特征的卫星遥感研究与影响因子分析[J].中国科学,2005,35(A01):187-194.
- [4] Mirzaei, P.A. (2015) Recent Challenges in Modeling of Urban Heat Island. *Sustainable Cities and Society*, **19**, 200-206. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.04.001>
- [5] Grimmond. (2007) Urbanization and Global Environmental Change: Local Effects of Urban Warming. *Geographical Journal*, **173**, 83-88. https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2007.232_3.x
- [6] 刘建军,郑有飞,吴荣军.热浪灾害对人体健康的影响及其方法研究[J].自然灾害学报,2008,17(1):151-156.
- [7] Wong, M.S. and Nichol, J.E. (2013) Spatial Variability of Frontal Area Index and Its Relationship with Urban Heat Island Intensity. *International Journal of Remote Sensing*, **34**, 885-896. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.714509>
- [8] Ren, G.Y. and Zhou, Y.Q. (2014) Urbanization Effect on Trends of Extreme Temperature Indices of National Stations over Mainland China. *Journal of Climate*, **27**, 2340-2360. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00393.1>
- [9] Cao, C., Xu, H.L., Liu, S., et al. (2016) Urban Heat Islands in China Enhanced by Haze Pollution. *Nature Communications*, **7**, 12509. <https://doi.org/10.1038/ncomms12509>
- [10] UN. (2014) Revision of the World Urbanization Prospects. United Nations, New York.

- [11] Wu, Q., Li, H.Q., Wang, R.S., *et al.* (2006) Monitoring and Predicting Land Use Change in Beijing Using Remote Sensing and GIS. *Landscape Urban Planning*, **78**, 322-333. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.10.002>
- [12] Minh, D., Van, T.L. and Toan, T. (2015) Mapping Ground Subsidence Phenomena in Ho Chi Minh City through the Radar Interferometry Technique Using ALOS PALSAR Data. *Remote Sensing*, **7**, 8543-8562. <https://doi.org/10.3390/rs70708543>
- [13] 谢志清, 杜银, 曾燕, 等. 上海城市集群化发展显著增强局地高温热浪事件[J]. 气象学报, 2015, 73(6): 1104-1113.
- [14] 程兴宏, 徐祥德, 张胜军, 等. 北京地区热岛非均匀分布特征的卫星遥感 - 地面观测[J]. 气候与环境研究, 2015, 12(5): 683-692.
- [15] Gallo, K.P., Easterling, D.R. and Peterson, T.C. (1996) The Influence of Land Use/Land Cover on Climatological Values of the Diurnal Temperature Range. *Journal of Climate*, **9**, 2941-2944. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1996\)009<2941:TIOLUC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1996)009<2941:TIOLUC>2.0.CO;2)
- [16] Gallo, K.P. and Tarpley, J.D. (1996) The Comparison of Vegetation Index and Surface Temperature Composites for Urban Heat Island Analysis. *International Journal of Remote Sensing*, **17**, 3071-3076. <https://doi.org/10.1080/01431169608949128>
- [17] Gallo, K.P., Owen, T.W., Easterling, D.R., *et al.* (1999) Temperature Trends of the US Historical Climatology Network Based on Satellite-Designated Land Use/Land Cover. *Journal of Climate*, **12**, 1344-1348. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<1344:TTOTUS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<1344:TTOTUS>2.0.CO;2)
- [18] 但尚铭, 安海锋, 但玻, 等. 基于 AVHRR 和 DEM 的重庆城市热岛效应分析[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(7): 680-685.
- [19] 闫峰, 覃志豪, 李茂松, 等. 基于 MODIS 数据的上海市热岛效应研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2007, 32(7): 576-580.
- [20] 王文杰, 申文明, 刘晓曼, 等. 基于遥感的北京市城市化发展与城市热岛效应变化关系研究[J]. 环境科学研究, 2006, 19(2): 44-48.
- [21] 王艳姣, 闫峰, 张培群, 等. 基于植被指数和地表反照率影响的北京城市热岛变化[J]. 环境科学研究, 2009, 22(2): 215-220.
- [22] 张宏群, 杨元建, 苟尚培, 等. 安徽省植被和地表温度季节变化及空间分布特征[J]. 应用气象学报, 2011, 22(2): 232-240.
- [23] 石涛, 杨元建, 马菊, 等. 基于 MODIS 的安徽省代表城市热岛效应时空特征[J]. 应用气象学报, 2013, 24(4): 484-494.
- [24] 易予晴, 龙腾飞, 焦伟利, 等. 武汉城市群夏季热岛特征及演变[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(8): 1279-1285.
- [25] Weng, Q. (2001) A Remote Sensing-GIS Evaluation of Urban Expansion and Its Impact on Surface Temperature in the Zhujiang Delta, China. *International Journal of Remote Sensing*, **22**, 1999-2014.
- [26] 李福建, 马安青, 丁原东, 等. 基于 Landsat 数据的城市热岛效应研究[J]. 遥感技术与应用, 2009, 24(4): 553-558.
- [27] 石涛, 杨元建, 张爱民, 等. 基于 TM 和 GIS 的合肥市热环境研究[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(2): 156-162.
- [28] Shi, T., Yong, H., Hong, W., *et al.* (2015) Influence of Urbanization on the Thermal Environment of Meteorological Stations: Satellite-Observational Evidence. *Advances in Climate Change Research*, **6**, 7-15. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2015.07.001>
- [29] Zhao, M., Cai, H., Qiao, Z., *et al.* (2016) Influence of Urban Expansion on the Urban Heat Island Effect in Shanghai. *International Journal of Geographical Information Science*, **30**, 1-21. <https://doi.org/10.1080/13658816.2016.1178389>
- [30] Oke, T.R. (1983) The Energetic Basis of the Urban Heat Island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **108**, 1-24.
- [31] 东高红, 尉英华, 解以扬, 等. 天津地区城市热岛环流与海风环流相互作用的研究[J]. 气象, 2015, 41(12): 1447-1455.
- [32] 刘树华, 等. 植被覆盖度对大气边界层热力影响的数值模拟[J]. 气象学报, 1996, 54(3): 303-311.
- [33] 刘树华, 李洁, 文平辉. 城市及乡村大气边界层结构的数值模拟[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2002, 38(1): 91-97.
- [34] 刘树华, 周彬. 应用 - 改进的模式对北京夏季风、温和湿度场的模拟[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2007, 43(1): 42-47.
- [35] Zhang, N., Wang, X., Chen, Y., *et al.* (2016) Numerical Simulations on Influence of Urban Land Cover Expansion and Anthropogenic Heat Release on Urban Meteorological Environment in Pearl River Delta. *Theoretical and Applied*

Climatology, **126**, 469-479. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1601-0>

- [36] 李新宇, 刘扬阳, 蒋雪娜, 等. 基于高维空间几何信息学的遥感图像去薄云算法[J]. 电子学报, 2011, 39(5): 1002-1006.
- [37] 姜颖月, 周坚华. 遥感图像薄云雾的梯度改正[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(4): 640-646.
- [38] 张立杰, 李磊, 江崑, 等. 基于自动站观测资料的深圳城市热岛研究[J]. 气候与环境研究, 2011, 16(4): 479-486.
- [39] 高义, 王辉, 王培涛, 等. 基于人口普查与多源夜间灯光数据的海岸带人口空间化分析[J]. 资源科学, 2013, 35(12): 2517-2523.
- [40] 周玉洁, 王卷乐, 郭海会. 基于谐波分析和线性光谱模型的耕地信息提取[J]. 遥感技术与应用, 2015, 30(4): 706-713.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org