

刘火胜,李思韬,吴昌广,等.不同算法下超大城市中心城区夏季冠层热岛强度的时空分异特征[J].华中农业大学学报,2024,43(5):132-139.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2024.05.015

不同算法下超大城市中心城区夏季冠层热岛强度的时空分异特征

刘火胜¹,李思韬²,吴昌广²,张璟妍²

1. 武汉市公共气象服务中心,武汉 430040; 2. 华中农业大学园艺林学学院,武汉 430070

摘要 为准确评估高度复杂的超大型城市冠层热岛强度分异特征,以武汉市为例,提出一种考虑城市不同片区空间差异性的冠层城市热岛强度(canopy urban heat island intensity, CUHII)计算方法,并结合基于“城-郊”二分法的传统算法探讨不同算法下冠层城市热岛特征。结果显示:传统算法下各片区始终表现出城市热岛现象,且CUHII日变化曲线高度一致;与之相反,片区算法中各片区的CUHII日变化差异显著,具有多个大型生态空间的武昌片区在昼间出现了持续的冷岛现象。同时,除晴朗天气外,高温和降水天气会进一步加剧片区算法中城市片区间CUHII差异。此外,传统算法识别的冷、热岛中心范围较小并分布于中心城区外围,而片区算法识别的热岛中心呈带状覆盖城区中部高密度开发区,冷岛中心则邻近武昌片区内大型自然湖泊。结果表明,提出的算法弱化了城市区域发展不均对冠层热岛评估带来的干扰,有利于深入挖掘热岛特征并更加准确地识别城市热环境需要优先干预的区域。

关键词 城市热岛强度;冠层城市热岛;气象条件;自动气象站;武汉市

中图分类号 TU119.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2024)05-0132-08

随着城市规模的不断扩展和内部建筑密度的持续增加,城市热岛效应不断增强^[1],并加剧了大气污染恶化、人体热舒适下降等诸多城市气候环境问题^[2]。准确分析城市热岛强度及其时空变化对城市热环境缓解策略的制定具有重要意义。基于数据来源,城市热岛效应评估主要包含城市地表热岛和城市冠层热岛2个层面^[3-4]。由于卫星反演的陆地表面温度数据无法有效评估城市自然及人工要素对行人层热环境的综合影响,且受过境时间限制而无法开展多时段监测^[5-7]。近年来借助逐步完善的城市气象观测网络,研究者们对城市冠层热岛的时空分异特征开展了相关研究^[3-4, 8-9],探究城市空间结构对昼夜冠层热岛空间分布的影响,利用插值分析等技术识别城市冠层热岛变化的扩张方向及其强度变化。

通过揭示冠层城市热岛特征,相关研究为科学地理解城市热环境及相关热缓解策略制定提供了参

考,但冠层城市热岛时空分异的精细化分析仍有待进一步提升,主要体现在,一是对日加热周期期间的热岛强度变化关注不够^[10],尤其缺少在不同城市建设环境下揭示升温 and 降温过程中的热岛强度变化规律研究^[11-13];二是相关研究在评估过程中忽视了变化的气象条件对观测城市热岛的影响^[14-16],影响研究结果的适用性。

在冠层城市热岛强度(canopy urban heat island intensity, CUHII)的计算方法层面,目前对城市效应的分析多使用城乡对比法进行^[17],大部分研究主要采用典型城市气象站与所选单个或多处乡村站点的平均气温差值作为该城市站代表区域的冠层热岛强度。然而,对于超大型现代城市,差异化的片区发展模式和复杂的下垫面空间结构不仅加剧了城市热岛问题,也导致城市热岛分布特征更加复杂,且已有学者指出传统方法简单的平均计算可能难以有效反映建成空间对周边热环境的影响^[18],不利于对城市内部

收稿日期:2024-05-16

基金项目:湖北省气象局科技发展基金项目(2021Y12);武汉市园林和林业局科技基金项目(WHGF2022A05);中央高校基本科研业务费专项(2662022YLYJ002)

刘火胜, E-mail: liu376752469@163.com

通信作者: 张璟妍, E-mail: zjy612@webmail.hzau.edu.cn

热岛强度的准确判断。

针对上述问题,本研究以我国中部超大型城市武汉市为例,利用城市高密度气象网络的夏季逐时气温数据,尝试建立一种考虑城市不同片区空间发展状况的冠层热岛强度计算方法,并结合基于“城-郊”二分法的传统算法,在多种气象条件下评估和比较片区算法与传统算法下的城市冠层热岛时空分异特征以综合分析其可行性,旨在为识别城市热环境重点治理及保护区域,为城市热环境缓解及优化提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域

武汉市地处江汉平原东部,是华中地区最大、城市化程度最高的城市,其建成区面积由2000年的210 km²扩张至如今925 km²,常住人口1 377.4万人。武汉经历了多个阶段的城市化历程,高强度的城市扩张使得大量自然地表被城市建筑替代,并形成了复杂多样的下垫面空间特征。其中,长江与汉江将武汉市中心区域划分为武昌、汉口和汉阳3大片区。受城市规划、经济发展等多方面因素的综合影响,不同城市片区的发展模式各异。武昌片区在分布大量高密度高层建筑的同时,还具备东湖、南湖等大型自然水体;汉口片区集中了众多商圈和高密度住宅区,自然斑块面积较小;汉阳片区则分布有大面积的自然地表且城区整体开发强度相对较低。总体上,武汉市中心城区内部的不同片区呈现出显著的空间异质性^[19],而城市形态和发展模式的差异也使得中心城区的冠层城市热岛时空分布高度复杂化。

1.2 数据获取及城乡代表站筛选

所用气象观测资料来源于武汉市气象部门,包括武汉市中心城区范围内自动气象站(图1)2022年夏季(6—8月)的逐时气温资料,本研究使用的武汉市地图底图来源于国家标准地图服务系统(<http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/>),审图号为GS(2019)1652号。为尽可能保证气象观测过程的准确性,中心城区所选气象站海拔统一为20~30 m,且气象站数据采集的信息丢失率低于0.5%^[20]。中心城区内共筛选出34处城市气象站,所选站点均具有相对开敞的观测条件,以避免邻近的植被或建筑体对观测过程产生直接干扰。在此基础上,针对武昌、汉口、汉阳片区各选取5处郊区站进行热岛强度计算。其中,所选郊

区站不仅满足相应的下垫面要求,站点间的位置尽可能均匀地分布于对应片区的外围从而降低外部来流条件变化对评估结果的影响^[21]。

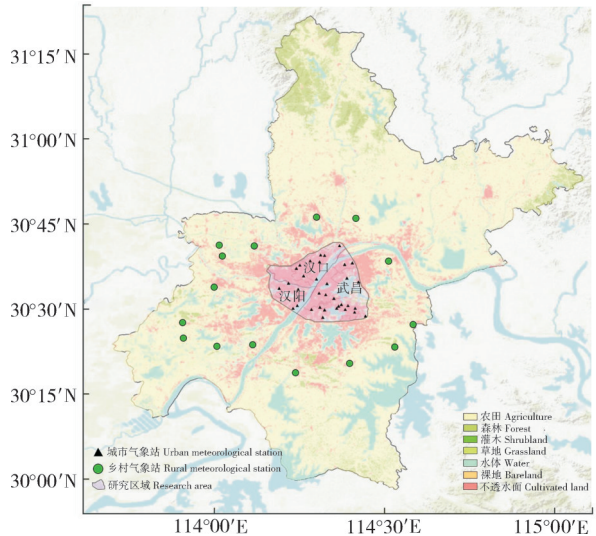


图1 研究区土地利用类型及气象站空间分布
Fig. 1 Land-use types of research area and the spatial distribution of meteorological stations

1.3 典型气象日选取

本研究利用3种天气条件探讨中心城区的冠层城市热岛特征:第一类是高温天气,参照2012年印发的《防暑降温措施管理办法》及GB/T 27962—2011《气象灾害预警信号图标》,将日最高气温 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的天气定义为高温天气;第二类是晴朗天气,定义日最高气温 $< 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且少云微风的天气为晴朗天气;第三类是降水天气,将最小累计降水量 $\geq 0.1\text{ mm}$ 的天气定义为降水天气(表1)。

表1 2022年夏季高温天气、晴朗天气及降水天气数量
Table 1 The number of extreme high temperature weather, sunny weather, and precipitation weather in the summer of 2022

气象条件 Meteorological condition	6月 June	7月 July	8月 August	总计 Total
高温天气 High temperature weather	5	14	23	42
晴朗天气 Sunny weather	23	7	4	34
降水天气 Precipitation weather	3	9	4	16

1.4 城市冠层热岛强度计算

武汉市位于长江流域中游,被汉江和长江分为3个部分,即武昌、汉口和汉阳。随着多年的城市化发展,3个片区的发展现状有着明显差异,以往传统城

郊站算法将城市全部郊区站的均值作为郊区站温度,可能无法准确刻画出武汉市不同片区热岛的变化特征,因此引入基于城市片区的城市冠层热岛强度CUHII计算方法,对武汉市3个片区城市热岛进行研究。

传统城郊站算法如式(1)所示:

$$I_{CUHII} = T_U - T_R \quad (1)$$

式中, T_U 为城市站温度, T_R 为武汉市所有乡村站温度的均值。

基于城市片区的城郊站算法如式(2)所示:

$$I_{CUHII} = T_U - T_{R'} \quad (2)$$

式中, T_U 为城市站温度, $T_{R'}$ 为各片区乡村站温度的均值。

1.5 城市冠层热岛强度空间分布插值

克里金空间插值法建立在变异函数理论结构分析的基础上,可通过对空间上已知点的数据加权后预测未知点的值^[22-24]。本研究利用该方法通过有限的气象观测站点对武汉市中心城区范围内的CUHII空间分布特征及其日变化过程进行综合评估;基于Arc GIS平台,选用半方差函数模型对中心城区夏季02:00和14:00的CUHII分别进行插值计算并形成CUHII空间分布图;为准确识别和划分城市冷热岛中心,结合城市下垫面特征,将热岛强度低于 $-1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$

视为冷岛低值区,将热岛强度高于 $2.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 视为热岛高值区^[25]。

2 结果与分析

2.1 夏季平均城市冠层热岛强度日变化

由图2可知,2种算法下的城市冠层热岛效应具有明显的“夜强昼弱”的日变化规律,不同片区和中心城区冠层热岛强度变化趋势相似程度较高:从00:00—06:00时开始缓慢下降,07:00—09:00快速下降,10:00—15:00相对平坦,16:00—21:00热岛强度快速增加,后趋于稳定。

针对不同算法,不同片区冠层热岛强度展现出较大差异。对于传统算法,不同片区和中心城区冠层热岛强度大小非常接近,差值稳定在 $0.28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内,与之相反,片区算法下不同片区的冠层热岛强度大小差异较大,差值最小为 $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}$,最大达 $1.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。与传统算法相比,汉口片区全天冠层热岛强度的变化趋势并未有较大变化,但数值上整体高出 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$;汉阳片区昼夜冠层热岛强度差异变小,夜间热岛强度低 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,昼间未有较大变化;武昌片区变化最为显著,主要体现在昼间出现冷岛现象,最大冷岛强度达 $-0.35\text{ }^{\circ}\text{C}$,下降近 $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,这在传统算法中并未体现。

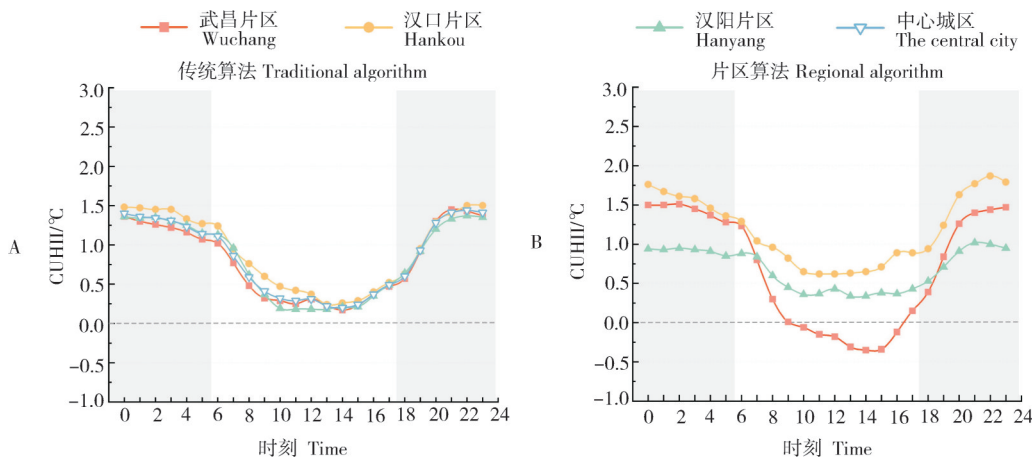


图2 传统算法(A)及片区算法(B)下夏季平均城市冠层热岛强度日变化

Fig. 2 The daily variation of average urban canopy heat island intensity in summer by traditional algorithm (A) and regional algorithm (B)

2.2 典型气象条件下城市冠层热岛日变化特征

为探究不同算法是否受气象影响,对3种典型天气条件下城市冠层热岛强度日变化进行分析。由图3可知,传统算法展现的热岛强度曲线总体趋势大致相似,而片区算法展现的热岛强度差异显著,这种差异在高温天气和降水天气尤其明显。高温天气和晴

朗天气的热岛强度具有鲜明的日变化特征,降水天气的昼夜变化特征差异较小。

高温期间城市冠层热岛强度日变化表现出与夏季平均城市热岛强度较为一致的变化特征,主要体现在2种算法下各片区的昼夜热岛强度差异较大,昼间热岛强度处于较低水平,夜间热岛强度则较高。

传统算法下,3个片区与中心城区热岛强度表现出一致的变化趋势,最大差值仅为 0.49°C (03:00),热岛强度由大到小依次为汉口>中心城区>武昌>汉阳。片区算法下,3个片区的热岛强度变化差异显著,热岛强度由大到小依次为汉口>武昌>汉阳(夜间),汉口>汉阳>武昌(昼间);武昌片区热岛强度在夜间达到更高水平,最高达 2.36°C ,上升0.3倍;昼间出现冷岛现象,最高达 -0.57°C ,热岛强度下降4.5倍。传统算法下汉口片区昼间热岛强度被低估,2种算法同时期相比最大相差 0.57°C (16:00),上升1倍;汉阳片区夜间热岛被明显高估,2种算法热岛差值最大达 0.54°C (00:00),下降0.3倍。

晴朗条件下2种算法差异较小。传统算法下,3个片区及中心城区冠层热岛强度大小排序大致依次为汉口>中心城区>汉阳>武昌(昼间),汉阳>汉口>中心城区>武昌(夜间),最大差值为 0.35°C (11:00)。片区算法下,3个片区的热岛强度大小排序为汉口>汉阳>武昌(昼间),汉口>武昌>汉阳

(夜间);汉口片区的热岛强度明显高于其他2个片区,昼间热岛强度未呈现较大差异,但夜间热岛强度上升 0.24°C ;汉阳片区昼间热岛强度减少 0.50°C ,昼间热岛强度并未发生明显变化;武昌片区热岛强度在2种算法下则未呈现明显差异。

降水条件下城市冠层热岛强度昼夜变化特征不稳定,表明降水不利于城市热岛的形成,在调节热岛效应中起至关重要的作用,这与Cui等^[26]的研究结果一致。传统算法下,3个片区及中心城区热岛强度大小排序依次为汉阳>武昌>中心城区>汉口,且这种排序随着逐时变化并不稳定。片区算法下,3个片区的热岛强度大小排序为汉口>汉阳>武昌;汉口片区和武昌片区的热岛强度变化显著;汉口片区热岛强度整体上升,最大差值为 1.03°C (14:00和15:00),提高了17倍;武昌片区出现明显的昼夜热岛强度变化规律,即昼间低,夜间高,昼间出现明显冷岛现象,最大冷岛强度达 -0.77°C ,这在传统算法中并未体现。

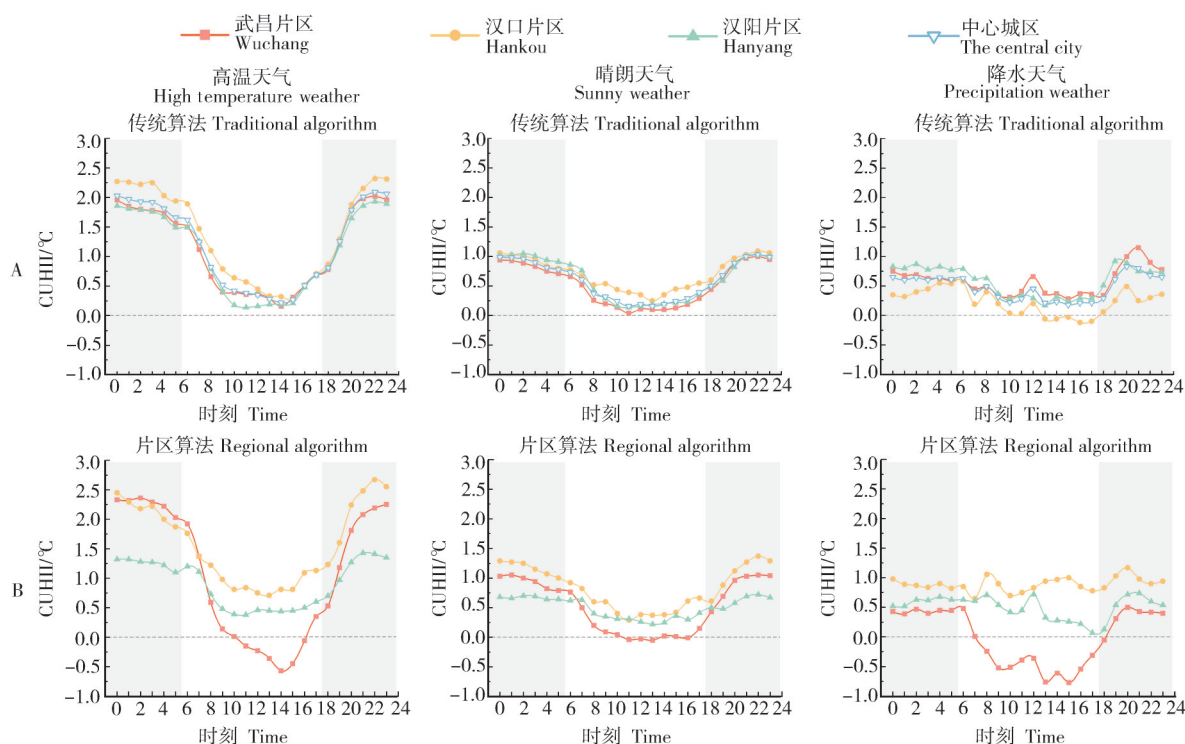


图3 传统算法(A)及片区算法(B)下不同气象背景的城市热岛强度日变化

Fig. 3 The daily variation of urban heat island intensity under different meteorological backgrounds by traditional algorithm (A) and regional algorithm (B)

2.3 不同算法下冠层热岛及冷岛中心空间分布特征

结合CUHII的克里金插值计算结果,由图4可知,02:00时,传统算法识别出的冠层热岛中心主要

集中在二环和三环之间的汉口片区及汉阳片区居住区及工业园区较密集区域;片区算法识别出的冠层热岛中心范围更大,呈连续带状横贯武汉市中心城区西北部和南部居住及商业密集区域,从汉口片区

延续至武昌片区。14:00时,传统算法识别出的冷岛区域共有3处,呈片状分散在武汉市中心城区大型水体附近,其中临近三环北部的天兴洲附近出现冷岛

中心;片区算法识别出集中在长江、东湖及南湖等大型蓝色空间附近的连续大范围冷岛区域,其中二环线外东湖南部和北部形成2个较为显著的冷岛中心。

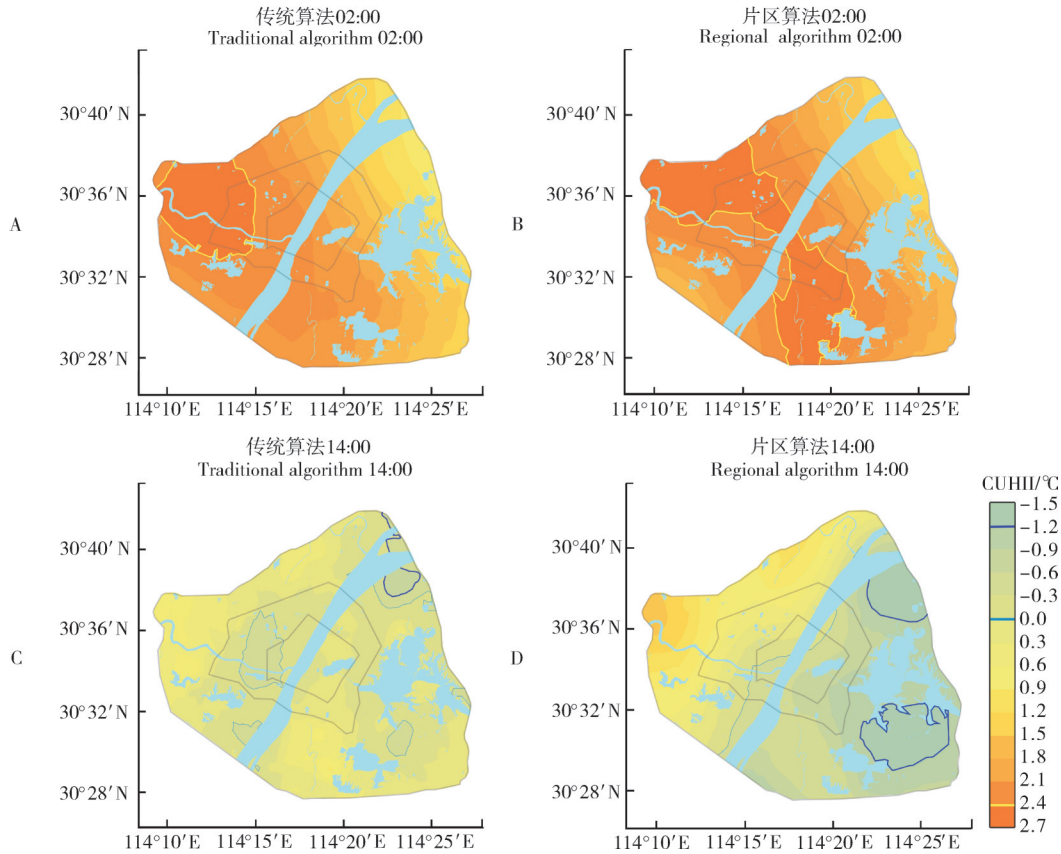


图4 传统算法(A,C)和片区算法(B,D)下夏季城市CUHII空间分布

Fig. 4 The spatial distribution of summer urban CUHII under traditional algorithm (A,C) and regional algorithm (B,D)

3 讨论

冠层城市热岛由于更易受到复杂多样的人工及自然下垫面要素的综合驱动^[27],使得CUHII算法的选择对于城市热环境时空变化的准确评估至关重要。针对超大型城市高度异质化的空间肌理,本研究提出了基于城市片区的CUHII计算方法,并结合基于“城-郊”二分法的传统算法,研究比较2种算法下的冠层城市热岛日变化及空间分布特征,结果表明片区算法有助于在不同城市片区深入挖掘城市热岛效应的内部时空分异,在一定程度上弥补了传统算法可能掩盖的热岛特征。

传统算法下不同城市片区的CUHII日变化趋势及强度高度一致,而片区算法下不同城市区域的CUHII差异显著,且识别出了具有大型自然空间且建设强度高的武昌片区强烈的昼夜热岛差异及日间持续的冷岛现象。同时,天气条件会进一步加剧不同算法下的城市热岛日变化差异,尤其是高温和降

水天气会显著加剧片区算法中城市不同区域的CUHII差异。高温天气下,强烈的太阳辐射导致城市内的建筑物和硬质表面吸收并储存了大量热,并在夜间通过热量释放加剧建成环境的CUHII上升^[15, 28]。因此,具有大量高密度高层建筑的汉口片区和武昌片区的夜间热岛强度显著高于城市建设强度较低的汉阳片区。降水条件下,降水过程会促进污染物扩散,这种上升运动将城市热量向高空运输,在增强城区近地面温度降幅的同时造成城郊气温差异下降^[29],且部分区域如武昌片区建成区温度长时间低于郊区温度并表现出冷岛特征。然而,传统算法很大程度上低估了多种天气条件下城市不同片区的CUHII差异,且各城市片区保持了相似的CUHII日变化趋势及高于0℃的热岛强度特征。

空间维度方面,传统算法识别的冷热岛中心范围均较小并集中分布于中心城区的外围边界。与之相反,片区算法识别的热岛中心呈带状覆盖城区中

部高密度开发区,包含武昌片区中部建设程度较高且商业活动频繁的区域及汉口片区南部工业区域和人口高度密集的中央商务区,这与尹杰等^[30]的结论一致。此外,大型生态空间具有缓解城市热效应的重要作用^[31],但传统算法并未观测到中心城区内的大型湖泊对周边环境的降温效果。基于片区算法,本研究发现在武昌片区东湖、南湖等大型蓝色空间周边的建成区域识别出了较大范围的冷源汇集区,Cheng等^[32]依据数值模拟手段同样发现了东湖附近存在的强冷岛区域。因而,未来城市热缓解工作还需关注如何隔断当前连续的城市高温区并预防其向城市南北方向的扩张。

综上所述,基于城市片区的CUHII计算方法是传统方法的补充,可以更好地捕捉超大型城市内部建设环境的热岛时空分异特征,从而可为基于热环境改善的规划管控策略制定提供参考依据。应当说明的是,郊区站与城区的空间距离也会潜在地影响CUHII评估的准确性。然而,当前有限的站点分布使得目前仍难以将城郊站点间的空间关系纳入到CUHII的计算分析。随着城市气象站密集化布设的不断推进,对于更多的超大型城市案例,还可以结合多种城市分区情景以进一步验证算法的适用性。

参考文献 References

- [1] 国巧真,闫兵,杨光,等.天津市热环境时空演变及影响因素分析[J].地球环境学报,2024,15(1):129-139.GUO Q Z, YAN B, YANG G, et al.Spatio-temporal evolution of thermal environment in Tianjin City and its influencing factors[J].Journal of earth environment, 2024, 15(1): 129-139 (in Chinese with English abstract).
- [2] 寿亦萱,张大林.城市热岛效应的研究进展与展望[J].气象学报,2012,70(3):338-353.SHOU Y X, ZHANG D L.Recent advances in understanding urban heat island effects with some future prospects[J].Acta meteorologica sinica, 2012, 70(3):338-353 (in Chinese with English abstract).
- [3] 孟凡超,黄鹤,郭军,等.天津城市热岛强度的精细化时空分布特征研究[J].生态环境学报,2020,29(9):1822-1829.MENG F C, HUANG H, GUO J, et al.Analysis of fine-scale spatial and temporal characteristics of Tianjin urban heat island intensity [J]. Ecology and environmental sciences, 2020, 29(9):1822-1829 (in Chinese with English abstract).
- [4] 刘勇洪,徐永明,马京津,等.北京城市热岛的定量监测及规划模拟研究[J].生态环境学报,2014,23(7):1156-1163.LIU Y H, XU Y M, MA J J, et al.Quantitative assessment and planning simulation of Beijing urban heat island [J]. Ecology and environmental sciences, 2014, 23(7): 1156-1163 (in Chinese with English abstract).
- [5] 刘慧民,马笋悦,李森,等.基于卫星遥感的城市热岛效应体检评估:以武汉市为例[J].西部人居环境学刊,2023,38(6):38-45.LIU H M, MA Z Y, LI M, et al.Examination and evaluation of urban heat island effect based on satellite remote sensing: taking Wuhan as an example [J]. Journal of human settlements in West China, 2023, 38(6): 38-45 (in Chinese with English abstract).
- [6] GAO Y J, ZHAO J Y, YU K H.Effects of block morphology on the surface thermal environment and the corresponding planning strategy using the geographically weighted regression model[J/OL].Building and environment, 2022, 216: 109037 [2024-05-16].<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109037>.
- [7] PENG W, WANG R, DUAN J, et al.Surface and canopy urban heat islands: does urban morphology result in the spatio-temporal differences? [J/OL].Urban climate, 2022, 42: 101136 [2024-05-16].<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101136>.
- [8] 陈光,李楠,蔡云楠,等.基于LCZ的广州夏季热岛强度特征分析[J].建筑科学,2021,37(6):96-104.CHEN G, LI N, CAI Y N, et al.Analysis of the characteristics of heat island intensity based on LCZ in the summer of Guangzhou [J]. Building science, 2021, 37(6): 96-104 (in Chinese with English abstract).
- [9] XUE J S, ZONG L, YANG Y J, et al.Diurnal and interannual variations of canopy urban heat island (CUHI) effects over a mountain-valley city with a semi-arid climate [J/OL]. Urban climate, 2023, 48: 101425 [2024-05-16]. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101425>.
- [10] CZARNECKA K, KUCHARCZAK M, BARANOWSKI J.Spatial development indicators as a tool to determine thermal conditions in an urban environment [J/OL].Sustainable cities and society, 2024, 100: 105014 [2024-05-16]. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105014>.
- [11] JIANG S D, ZHAN W F, DONG P, et al.Surface air temperature differences of intra- and inter-local climate zones across diverse timescales and climates [J/OL]. Building and environment, 2022, 222: 109396 [2024-05-16]. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109396>.
- [12] CAO J, ZHOU W Q, ZHENG Z, et al.Within-city spatial and temporal heterogeneity of air temperature and its relationship with land surface temperature [J/OL].Landscape and urban planning, 2021, 206: 103979 [2024-05-16]. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103979>.
- [13] 李宇,李亚琴,赵居双.中国主要城市大气与地表热岛效应的对比研究[J].气候变化研究进展,2023,19(5):605-615.LI Y, LI Y Q, ZHAO J S.A comparative study of atmospheric and surface urban heat island effects in China's major cities [J]. Climate change research, 2023, 19(5): 605-615 (in Chinese

- with English abstract).
- [14] 黄群芳,颜敏.典型气象条件下城市热岛效应逐时变化特征[J].气象科学,2022,42(3):402-409.HUANG Q F,YAN M. Hourly variability of the urban heat island effect under typical meteorological conditions[J].Journal of the meteorological sciences, 2022, 42 (3) : 402-409 (in Chinese with English abstract).
- [15] CHEN G, CHEN Y Q, TAN X, et al. Assessing the urban heat island effect of different local climate zones in Guangzhou, China[J/OL].Building and environment, 2023, 244: 110770 [2024-05-16].https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110770.
- [16] IVAJNSIĆ D, ŽIBERNA I. The effect of weather patterns on winter small city urban heat islands[J].Meteorological applications, 2019, 26(2):195-203.
- [17] 张昊,张宁,潘志华.北京地区不同城市热岛指标和城市效应研究方法的对比分析[J].南京大学学报(自然科学版), 2023, 59(2):189-200. ZHANG H, ZHANG N, PAN Z H. Comparative analysis of different urban heat island indicators and urban effects research methods in Beijing[J].Journal of Nanjing University (natural science edition), 2023, 59(2):189-200 (in Chinese with English abstract).
- [18] 鲍文杰,马蔚纯,邢超群,等.超大城市热岛研究方法对比:以上海为例[J].复旦学报(自然科学版),2010,49(5):634-641. BAO W J, MA W C, XING C Q, et al. A comparison study of research methods for urban heat island of megacity: with special regards on Shanghai[J].Journal of Fudan University (natural science edition), 2010, 49(5):634-641 (in Chinese with English abstract).
- [19] 许华华.城市空间布局对城市微气候时空分布的影响研究[D].武汉:华中科技大学,2021.XU H H. Study on the influence of urban spatial layout on the temporal and spatial distribution of urban microclimate[D].Wuhan:Huazhong University of Science and Technology, 2021 (in Chinese with English abstract).
- [20] 刘火胜,李思韬,宛浩凯,等.基于局地气候分区的武汉市城市热岛时空分异特征[J].华中农业大学学报,2023,42(4):98-106. LIU H S, LI S T, WAN H K, et al. Spatial-temporal differentiation characteristics of urban heat island in Wuhan City based on local climate zone[J].Journal of Huazhong Agricultural University, 2023, 42(4):98-106 (in Chinese with English abstract).
- [21] REN G Y, ZHANG A Y, CHU Z Y, et al. Principles and procedures for selecting reference surface air temperature stations in China[J].Meteorological science and technology, 2010, 38(1):78-85.
- [22] 王艳萍,李新庆,刘垚,等.不同插值算法对气温空间插值效果评估分析[J].信息技术,2020,44(6):31-35.WANG Y P, LI X Q, LIU Y, et al. Evaluation and analysis of effects on the different interpolation temperature algorithms[J].Information technology, 2020, 44(6):31-35 (in Chinese with English abstract).
- [23] 武秀艳,欧阳玲.气象要素插值方法比较研究[J].赤峰学院学报(自然科学版),2022,38(5):15-19.WU X Y, OUYANG L. Comparative study on interpolation methods of meteorological elements[J].Journal of Chifeng University (natural science edition), 2022, 38(5):15-19 (in Chinese with English abstract).
- [24] WANG W, YAO X F, SHU J. Air advection induced differences between canopy and surface heat islands[J/OL].Science of the total environment, 2020, 725: 138120 [2024-05-16].https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138120.
- [25] JIA W Q, REN G Y, JIN F J, et al. Spatial-temporal characteristics of the urban heat island effect in Xiamen, China[J/OL].Urban climate, 2023, 52: 101725 [2024-05-16].https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101725.
- [26] CUI F Q, HAMDI R, YUAN X L, et al. Quantifying the response of surface urban heat island to urban greening in global north megacities [J/OL]. Science of the total environment, 2021, 801: 149553 [2024-05-16].https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149553.
- [27] STEWART I D, OKE T R. Local climate zones for urban temperature studies[J].Bulletin of the American Meteorological Society, 2012, 93(12):1879-1900.
- [28] 王晓默,张翠翠,董宁,等.不同气象条件下济宁城市热岛效应的变化特征[J].南京信息工程大学学报(自然科学版), 2016, 8(2):160-165.WANG X M, ZHANG C C, DONG N, et al. Urban heat island effect under different meteorological conditions in Jinan of Shandong Province[J].Journal of Nanjing University of Information Science & Technology (natural science edition), 2016, 8(2):160-165 (in Chinese with English abstract).
- [29] 王清川,郭立平,张绍恢.不同气象条件下廊坊城市热岛效应变化特征[J].气象与环境学报,2009,25(6):44-48.WANG Q C, GUO L P, ZHANG S H. Urban heat island effect under different meteorological conditions over Langfang, Hebei Province[J].Journal of meteorology and environment, 2009, 25(6):44-48 (in Chinese with English abstract).
- [30] 尹杰,宋斯琦.武汉市建设用地开发强度与热岛强度特征研究[J].城市建筑,2024,21(9):112-116. YIN J, SONG S Q. Study on the built intensity and heat island intensity characteristics of the construction plots in Wuhan[J].Urbanism and architecture, 2024, 21(9):112-116 (in Chinese with English abstract).
- [31] 张立君,李津莉,王琦,等.基于随机森林算法的城市形态对热环境影响作用研究:以广州市中心地区为例[J].环境科学导刊,2023,42(2):9-16.ZHANG L J, LI J L, WANG Q, et al. Research on the effect of urban form on thermal environment based on random forest algorithm: a case study of the central area of Guangzhou[J].Environmental science survey, 2023, 42(2):9-16 (in Chinese with English abstract).

- [32] CHENG Y T, BARTESAGHI-KOC C, TIAN Y, et al. Where and how to cool through blue infrastructure? Large Lake groups to ameliorate urban overheating in a typical inland multi-lake megacity [J/OL]. *Sustainable cities and society*, 2023, 98: 104869 [2024-05-16]. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104869>.

Characteristics of spatial and temporal differentiation of summer canopy heat island intensity in central urban areas of megacities under different algorithms

LIU Huosheng¹, LI Sitao², WU Changguang², ZHANG Jingyan²

1. *Wuhan Public Meteorological Service Center, Wuhan 430040, China*; 2. *College of Horticulture & Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*

Abstract Wuhan City was used to accurately evaluate the differentiation characteristics of canopy heat island intensity in highly complex megacity. A calculation method for canopy urban heat island intensity (CUHII) considering spatial differences in different urban areas was proposed. The characteristics of urban heat islands under different algorithms were studied with combining traditional algorithms based on the “urban suburban” dichotomy. Results showed that each area consistently exhibited urban heat island phenomenon under traditional algorithms, and the daily variation curve of CUHII was highly consistent. On the contrary, there was a significant difference in the daily variation of CUHII among different areas in the regional algorithm, and the Wuchang district with multiple large ecological spaces exhibited a sustained cold island phenomenon during the daytime. In addition, traditional algorithms identified cold and heat island centers that are relatively small and distributed around the periphery of the central urban area, while regional algorithms identified heat island centers that cover high-density development areas in the middle of the urban area in a belt shape, and the cold island centers are adjacent to large natural lakes in the Wuchang district. It is indicated that the algorithm proposed weakens the interference of uneven development of urban areas on the assessment of canopy heat island, which is conducive to in-depth mining of heat island characteristics and more accurate identification of areas that need priority intervention in urban thermal environment.

Keywords urban heat island intensity; canopy urban heat islands; meteorological condition; automatic weather station; Wuhan City

(责任编辑:葛晓霞)