

DOI: 10.19479/j.2095-719x.2406434

城市建成环境因子对热环境的影响机制研究 ——以天津市中心城区为例

孟思妤, 林耕, 王滢
(天津城建大学 建筑学院, 天津 300384)

摘要:掌握城市热环境空间异质性分布情况及其影响因素是研究热环境的关键问题,调整相关城市建成环境的参数范围或结构特征是缓解城市热环境的有效措施。本文以天津市中心城区为研究范围,分析天津市地表热环境的空间异质性分布特征,并通过数理分析探究8个城市建成环境因子对热环境的影响机制。研究结果表明:①天津市热环境整体呈斑块式分布且热核数量较多,空间分布具有较强的自相关性;②街区建成环境因子中,开放空间率、归一化植被指数、绿地率对地表热环境具有负向影响,绝对粗糙度对地表热环境具有正向影响,而建筑体形系数对地表热环境呈现出双向调节的影响作用;③不同回归模型组合方式下各建成环境因子对地表温度的综合影响程度差异显著,影响范围则随着空间尺度的增大更为广泛。根据分析结果,针对性地提出建设层面的热环境优化方法和管理层面的热环境评估建议,为同类型的城市热环境研究提供参考。

关键词:城市热环境;建成环境因子;热岛空间格局;数理分析模型

中图分类号:TU984 文献标志码:A 文章编号:2095-719X(2024)06-0434-09

Study on the Influence Mechanism of Urban-built Environment Factors on Thermal Environment: Taking the Downtown Area of Tianjin as an Example

MENG Siyu, LIN Geng, WANG Ying
(School of Architecture, TCU, Tianjin 300384, China)

Abstract: Understanding the spatial heterogeneity distribution of urban thermal environment and its influencing factors is a key issue in the study of thermal environment, and adjusting the parameter range or structural characteristics of the relevant urban built environment is an effective measure to alleviate urban thermal environment. Taking the central urban area of Tianjin as the research scope, this paper analyzes the spatial heterogeneity distribution characteristics of the surface thermal environment in Tianjin, and explores the influence mechanism of the built environment factors on the thermal environment of eight cities through mathematical analysis. The results show that: ① The overall thermal environment of Tianjin is distributed in a patch-like manner with a large number of thermonuclei, and the spatial distribution has a strong autocorrelation. ② Among the built-up environment factors of the block, the open space rate, normalized vegetation index and green space rate had a negative impact on the surface thermal environment, the absolute roughness had a positive impact on the surface thermal environment, and the building shape coefficient showed a two-way adjustment effect on the surface thermal environment. ③ Under different regression model combinations, the comprehensive influence degree of each built environment factor on land surface temperature was significantly different, and the impact range was more extensive with the increase of spatial scale. According to the analysis results, the thermal environment optimization method at the construction level and the thermal environment assessment suggestions at the management level are put forward to provide reference for the same type of urban thermal environment research.

Key words: urban thermal environment; built environmental factor; spatial pattern of heat island; mathematical analysis model

收稿日期:2023-03-13;修订日期:2023-04-09

基金项目:教育部人文社会科学研究青年基金项目(20YJCZH171)

作者简介:孟思妤(1997—),女,吉林长春人,天津城建大学硕士生。

通讯作者:王滢(1986—),女,副教授,博士,从事生态韧性城市及城市综合防灾研究。E-mail:gnygnaw2006@126.com

快速城市化加剧了城市热岛效应,不仅对城市可持续发展构成威胁,影响人类健康,还带来巨大的经济和社会损失.了解城市热环境空间异质性分布情况及其影响因素,调整相关因子的结构特征以缓解城市热岛效应,对促进城市可持续发展有着重要意义.黄群芳^[1]从微观尺度、局部尺度和宏观尺度全面总结了城市空间形态对城市热岛效应的多尺度影响和耦合机制;祁乾龙等^[2-3]研究了规划体系与热环境参数之间的关联性和结合途径,并给出了不同规划阶段解决城市过热问题的空间设计方法.

在研究内容方面,大量研究证明,影响热环境的城市建成环境因子包括建筑密度和地面透水率^[4];不透水地面的面积^[5];植被、低层建筑、铺装面积^[6]以及天空开阔度、城市分数维^[7]等. Koc C B 等利用 ArcGIS 地理信息系统软件比较了城市形态与区域热性能的关系,提出通过城市设计的干预措施,以减轻气候变化的影响.

在研究方法上,主要分为以下3种途径:

(1)分类比较研究.探讨建成环境与热环境相关关系.林中立等^[8-9]通过 LCZ 分区法研究城市和城市群的热环境,探讨不同土地利用类型和建设强度对于温度的影响机制,蔡智等^[10-11]通过高度分类、密度分类等对历史数据集进行整理,从而分析紧凑城市建筑环境对城市小气候的时空影响.

(2)场景模拟研究.预测不同形态参数下热环境变化情景. Gusson 等^[12]通过 ENVI-met 模拟对城市室外热环境及舒适度进行研究,邬尚霖等^[13]利用热环境分析软件 DUTE 对街区尺度的实际案例进行模拟,研究广州地区形态因子对街区热岛的影响规律.

(3)统计模型研究.分析建成环境对热环境影响程度.周诗文等^[14]采用主成分分析法构建了面向城市规划的热环境指数评估模型,宋鑫博等^[15]进行 OLS 和 SLM 回归模型比较,剖析了街区关键形态要素对地表温度的综合影响和季节变化规律.

基于以上研究发现,对影响城市热环境变化的三维空间特征建成环境因子的相关研究尚不全面,数理分析模型也多集中在宏观层面的全局回归或简单的最小二乘法回归,缺少对各建成环境因子在局部空间上异质性特征的分析.因此本文在对研究区域地表温度进行反演和空间自相关分析的基础上,掌握不同年份的城市热环境空间异质化分布特征,进而构建一种分析不同建成环境因子对街区地表热环境影响程度主次关系的方法.从二维土地利用和三维环境空间特征两个维度对热环境的影响因子进行筛选和量化分

析,通过建立多个数理统计分析模型的对比,为研究街区地表热环境的空间分异特征以及各建成环境指标对热环境的影响机制提供新思路.

1 研究数据及方法

1.1 数据来源

本文通过地理空间数据云网站(<https://www.gscloud.cn/>)获取 Landsat8 OLI_TIRS 遥感影像,选取了 2018 及 2020 年夏季成像质量较好、研究区云量较小的 Landsat 8 遥感影像,成像时间分别为 2018 年 8 月 4 日、2020 年 8 月 17 日,轨道号为 123/33,研究区内图像质量良好,影像中无云雾遮挡,地物类型清晰.另外,通过水经注万能地图下载器(www.rivermap.cn)获取研究区域的建筑物轮廓、高度信息、下垫面类型及绿化分布等空间矢量数据.

1.2 研究区域

天津市位于华北平原东北部,海河流域下游,东临渤海,属温带季风气候,年平均气温约 12~15℃.本文选取天津市中心城区作为研究范围(见图 1),涉及 6 个行政区(和平区、南开区、红桥区、河北区、河西区和河东区),总面积约 174 km².

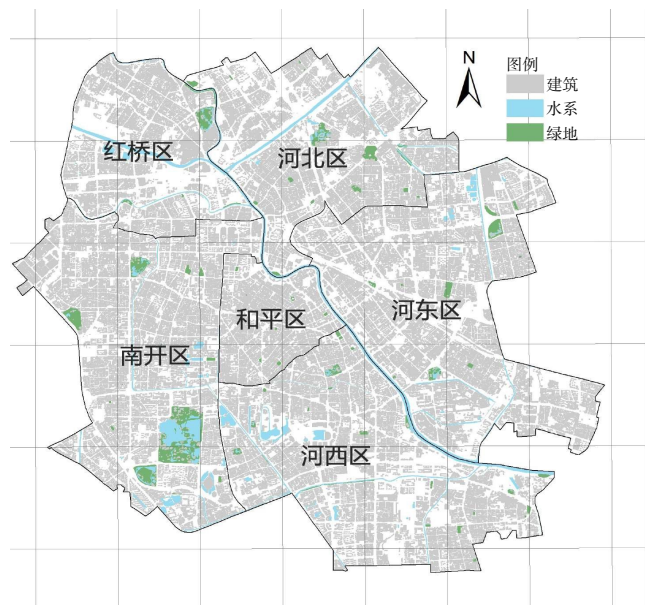


图 1 研究区概况

城市中心城区作为经济社会活动的中心,是热岛效应高频产生的地区,同时街区规划形态多样,地表温度变化幅度显著,对于研究天津市热环境空间异质性分布情况以及与热环境具有相关关系的形态因子识别及影响机制探究等内容具有优势条件.

1.3 研究方法及建成环境指标

1.3.1 研究方法

(1)地表温度反演法

首先借助 ENVI5.3 软件对遥感影像数据进行辐射定标、大气校正、地表比辐射率计算等数据预处理内容后,采用辐射传输方程法(radiative transfer equation, RTE)反演地表温度,得到天津市夏季地表温度分布结果。

(2)空间相关分析法

借助 ArcGIS10.5 软件对研究区域地表热环境进行全局自相关分析(Moran's I 指数)和局部相关性,即聚类及异常值分析(Cluster and Outlier Analysis),从而掌握研究区域全局地表温度、某个研究尺度的地表温度及其相邻区域的局部空间异质性分布特征。

(3)空间统计分析法

在 ArcGIS Pro 中分别建立 200 m × 200 m 以及 400 m × 400 m 尺度的网格,将研究区域均匀划分为对应城市街区规模大小的 2 个尺度网格的基本单元,并使各类建成环境要素的矢量数据与网格相交,统计不同要素在每个网格中的分布情况。

(4)数理模型分析法

将地表温度实验中提取的夏冬两季地表温度数据与空间统计分析中提取的街区建成环境因子数据整理汇总,利用 SPSS 23.0 软件建立不同变量之间的相关分析和回归分析模型,以此研究不同城市建成环境因子变化对于中心城区地表温度及热岛强度分布的影响机制。具体数理分析模型包括:①Person 相关性分析——分析环境因子与地表热环境的相关影响关系;②多元逐步线性回归模型——探究研究区内各建成环境因子指数对地表温度变化贡献程度的全局性差异;③地理加权回归模型(GWR)——有效掌握影响地表热环境的各环境要素指标增降温能力在空间上的变化规律。

1.3.2 建成环境因子指标选取

结合天津市热环境分布特征并参考同类型研究^[16]作为进一步影响机制探讨的基础,最终确定的建成环境因子指标如表 1 所示,二维土地利用特征指标为开放空间率(OSR)、归一化植被指数(NDVI)、绿化率(GR)和水体用地比率(WCR),三维空间特征指标为

表 1 建成环境因子指标计算公式及说明

指标类型	指标名称	指标说明	计算公式
土地利用特征指标	开放空间率(OSR)	定义为非建筑用地占地面积与总场占地面积的比率	$OSR = (S - A_i) / S$ 式中, A_i 是第 i 栋建筑底层的建筑面积, S 代表土地总面积
	归一化植被指数(NDVI)	检测植被生长状态、植被覆盖度和消除部分辐射误差等	$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ 式中, NIR 为近红外波段的反射值, R 为红光波段的反射值
	绿化用地率(GR)	描述了场地中绿化用地的空间分布占比	$GR = \sum_{ig} (A_{ig}) / S$ 式中, A_{ig} 是场地中绿化用地面积, S 代表土地总面积
	水体覆盖比率(WCR)	反映场地中水体空间分布覆盖情况的指标	$WCR = \sum_w (A_{iw}) / S$ 式中, A_{iw} 是场地中水体覆盖区域的面积, S 代表土地总面积
三维空间特征指标	地积比率(PR)	也称为容积率、土地利用系数,是指根据土地面积,在规划中允许的建设量	$PR = \sum_{ij} (A_{ij}) / S$ 式中, A_{ij} 是第 i 栋建筑第 j 层的建筑面积, S 代表土地总面积
	绝对粗糙度(Ra)	描述表面抵抗自由风的粗糙度的参数,是整个检查区域的平均障碍物高度	$Ra = \sum_i (A_i N_i) \Delta H / S$ 其中 N_i 是第 i 栋建筑的层数, ΔH 是建筑的平均高度
	平均纵横比(λ_c)	该指标提供了建筑表面与地面相关的外部环境之间联系的额外信息	$\lambda_c = \sum_i E_i / S$ 式中, E_i 是第 i 栋建筑的包围面积,包括所有外墙和屋顶的表面
	建筑体形系数(BSC)	建筑物与室外大气接触的外表面积与其所包围的体积的比值	$BSC = \frac{\sum_{i=1}^m [(2nh(b+1) + s)]}{\sum_{i=1}^m nhs}$ n 是第 i 栋建筑物的层数, h 是 i 的高度, b 是建筑底部的宽度, l 是建筑底部的长度, s 是建筑底部的面积, m 是建筑物的总数

地积比率(PR)、绝对粗糙度(Ra)、平均纵横比(λ_c)和建筑体形系数(BSC)。

通过对各因子指标进行数据计算和归一化处理,为后续实验分析做准备。

2 天津市地表热环境(LST)空间分异特征分析

2.1 热环境空间格局分布

通过对天津市2018和2020两年夏季的地表温度进行反演实验,以 $200\text{ m} \times 200\text{ m}$ 、 $400\text{ m} \times 400\text{ m}$ 两种不同尺度的网格为基本统计单元,将研究区域内网格的地表温度平均值进行空间分布可视化(见图2),结果显示:

(1)从地表温度整体空间格局来看,天津市中心城区地表热环境呈现斑块状分布,且热核数量较多,主要集中在各区级行政边界的中心或交界处,基本与天津市城市总体规划(2015—2030)的中心城区功能定位与多处重要的功能节点高度重合。从时间维度分

布格局来看,2020年夏季的地表温度均值较2018年夏季明显降低,热核数量显著减少。对网格空间划分的地表温度数据进行oid热点分析,结果生成的热冷点空间聚类具有统计学意义上的显著性,验证了天津中心城区地表温度斑块式的分布格局,在南开区西部的高密度老旧小区、和平区中部商业集聚区等区域热岛状况最为显著。

(2)全局地表温度在 $200\text{ m} \times 200\text{ m}$ 尺度和 $400\text{ m} \times 400\text{ m}$ 尺度的均值分别为 $39.17\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $39.21\text{ }^\circ\text{C}$ (2018年)和 $37.11\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $37.13\text{ }^\circ\text{C}$ (2020年),其中研究区域内超过平均温度的网格各占全局53.6%、53.5%(2018年)和54.2%、55.8%(2020年)。另外,高温区域($\geq 38\text{ }^\circ\text{C}$)多集中在南开区北部、和平区中部等位置,高温位置分布与用地类型密切相关,多集中在中心商业区、高密度住宅区及工业园区等建设强度较高且社会活动频繁的区域。

(3)城市主要冷岛区多分布于生态资源优势明显的东北部(海河周边及各滨河公园等)和西南部(水上

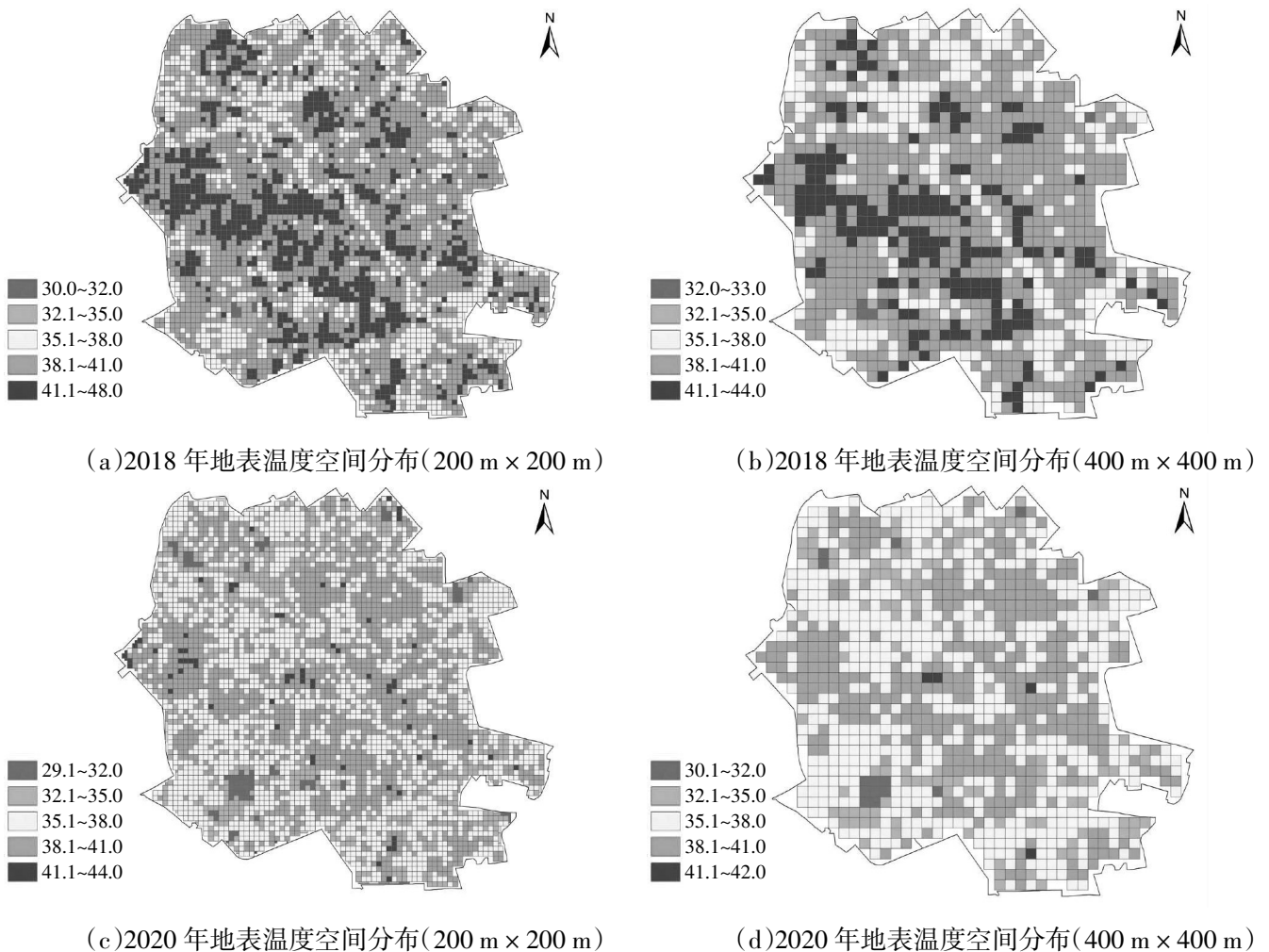


图2 天津市地表热环境空间分布图

公园等)区域,可见水域和大型公园绿地等是最重要的冷源.同时,建设容量低、生态规划结构丰富也是冷岛现象显著的典型区域特征.

2.2 热环境空间聚类特征

空间自相关性分析分为全局相关性与局部相关性,其中全局相关性即 Moran's I(莫兰指数),用来分析研究对象在全局尺度上所表现出的相关性特征,以此探究整个研究对象与全域范围内的样本之间是否存在空间自相关^[7].另一种局部相关性,即聚类及异常值分析(Cluster and Outlier Analysis)是对单位尺度内研究对象及其相邻区域进行相关性分析,与全局相关

性相比则更能反映出研究对象在空间上的局部聚类特征.天津市中心城区热环境的 Moran's I 统计结果显著程度高达 0.63,且实验数值全部通过了 1%的显著性水平检验,说明天津市中心城区各街区之间的热环境空间分布自相关性较强,即高(低)的街区热环境会正(负)向影响到其周边的街区热环境(见表 2).

局部空间聚类分析结果显示:研究区域内各街区的地表热环境空间分布不均衡,呈现出明显的聚类分布趋势,具体表现分为“高-高、高-低、低-高、低-低”4种不同的组团式分布状态,且相邻街区之间的关联性较强.整体聚类以南开区与河东区之间“西高东低”的

表 2 天津市热环境空间聚类分析结果

格网尺度 年份 Moran's I 指数	200 m × 200 m 2018 年 70.4%	200 m × 200 m 2020 年 71.2%
局部空间聚类分析		
格网尺度 年份 Moran's I 指数	400 m × 400 m 2018 年 55.0%	400 m × 400 m 2020 年 57.3%
局部空间聚类分析		

态势呈现. 根据统计结果, 约有 21.3% 的街区存在该区域的地表温度高进而影响周边地区的地表温度同样升高, 约 19.5% 的区域存在地表温度低影响周边街区温度降低的情况. 充分验证了研究区域的地表热环境呈现“高-高”及“低-低”两极分化的空间分布态势.

3 建成环境因子对热环境影响机制分析

选取 2018 年 8 月的地表温度数据, 分别在 200 m × 200 m 和 400 m × 400 m 两种空间尺度下对各建成环境因子与地表热环境进行 Pearson 相关分析, 探讨街区因子指标变化对地表温度的影响关系. 其次, 对各因子及地表温度数据整体建立多元逐步回归模型, 在全局尺度上计算不同因子对于地表热环境的影响程度. 最后对各环境因子与地表温度进行地理加权回归模型分析, 识别局部不同街区空间内的环境因子与热环境之间的影响关系.

3.1 相关性分析结果

根据建成环境因子与地表热环境之间的 Person 相关性分析结果显示(见表 3): 地积比率(PR)、绝对粗糙度(Ra)、平均纵横比(λ_c)与地表温度呈现出较为显著的正相关关系, 且 3 者中, 绝对粗糙度的正相关

性最为显著, 在不同尺度下的相关系数均高于其他两项, 说明绝对粗糙度的增长对地表温度的提高影响最大, 是由于绝对粗糙度是描述建筑表面抵抗自由风的粗糙度的参数, 用以检查区域的平均障碍物高度, 因此绝对粗糙度的提升会降低建筑表面自由风速、风量, 从而使地表温度升高.

开放空间率、建筑体形系数、归一化植被指数、绿地覆盖率、水体分布率与地表温度表现为显著负相关关系, 各环境因子分布与热环境的相关关系随着空间尺度的增长呈现正相关趋势. 其中开放空间率与地表温度的负相关性最为显著, 在不同尺度下的相关系数均高于其他 4 项, 说明开放空间率的增大对地表热环境的降温效果最好, 原因是开放空间率是描述非建筑用地在场地中的占比, 建筑物的减少和开敞空间的增加会减少建筑能源消耗产生的热量并提高街区内部风速与风量, 从而降低了街区内部的地表温度.

3.2 多元逐步回归结果分析

为了进一步探究各类建成环境因子对城市地表温度的综合影响作用, 采用多元逐步回归分析模型来分析各建成环境因子对地表热环境变化的影响程度差异(见表 4). 结果显示, 在排除了具有共线性问题(VIF > 7.5)的异常数据后, 二维环境因子中的开放空

表 3 天津市城市建成环境因子与地表温度相关系数

空间尺度	时间/年	OSR	PR	Ra	λ_c	BSC	NDVI	GR	WCR
200 m × 200 m	2018	-0.664**	0.443**	0.052**	0.512**	-0.083**	-0.348**	-0.242**	-0.124**
	2020	-0.602**	0.404**	0.034*	0.476**	-0.083**	-0.413**	-0.252**	-0.207**
400 m × 400 m	2018	-0.739**	0.553**	0.237**	0.643**	-0.208**	-0.367**	-0.572**	-0.276**
	2020	-0.656**	0.494**	0.194**	0.586**	-0.175**	-0.431**	-0.585**	-0.289**

注: 在 0.01 级别(双尾), 相关性显著。

表 4 建成环境因子与地表温度多元逐步线性回归模型拟合结果

空间尺度	变量	回归系数	标准误差	标准系数	Sig
200 m × 200 m	OSR	-7.250	0.253	-0.404	0.000
	WCR	-7.892	0.200	-0.423	0.000
	NDVI	-5.984	0.162	-0.372	0.000
	Ra	-0.003	0.001	-0.045	0.002
	常量	46.787	0.237		0.000
	R^2				0.633
400 m × 400 m	OSR	-4.885	0.807	-.233	0.000
	GR	-8.436	0.423	-.408	0.000
	NDVI	-6.265	0.340	-.350	0.000
	BSC	-1.022	0.512	-.043	0.046
	Ra	-0.039	0.005	-.326	0.000
	WCR	0.809	0.381	0.037	0.034
	常量	44.553	0.679		0.000
R^2				0.721	

间率(OSR)、水体覆盖率(WCR)、归一化植被指数(NDVI)以及三维环境因子中的绝对粗糙度(Ra)进入200 m空间尺度回归模型中,且对地表温度起到显著的负向影响作用.上述4项因子对地表温度的影响作用 R^2 为0.633,且在0.01水平上显著,表示该模型综合其中所有环境因子后对地表温度的变化具有63.3%的解释作用.

而在400 m空间尺度模型中,剔除不具有显著性($Sig \geq 0.01$)的BSC与WCR,同样排除了具有共线性问题的异常数据后,可见二维环境因子中的开放空间率(OSR)、绿地率(GR)、归一化植被指数(NDVI)以及三维环境因子中的绝对粗糙度(Ra)进入400 m空间尺度回归模型中,且对地表温度起到显著的负向影响作用,4项因子对地表温度的影响作用 R^2 为0.721,且在0.01水平上显著.综上两种空间尺度上的多元逐步线性回归分析结果中的建成环境因子基本一致,至于400 m空间尺度中水体覆盖率不显著且回归效果较200 m尺度差,考虑是水体的形态差异导致对较大整体空间地表温度的降温效果有所减退.

3.3 地理加权回归模型

在进行地理加权回归模型建立之前,先对各环境

因子进行最小二乘法(OLS)实验且结果显示,200 m × 200 m空间尺度内的影响因子中PR和 λ_c 的VIF(方差膨胀因子)值均远大于7.5,表示两个变量数据之间存在多重共线性问题,需被剔除,而在400 m × 400 m尺度内则剔除了除上述两种因子外加上Ra共3项数据.分别将进行变量筛选后剩余的影响因子作为解释变量,进行地理加权回归模型的构建.

根据加权回归模型(GWR)中各解释变量系数回归结果显示(见图3、图4):对街区地表热环境具有显著负向的影响效应的建成环境因子有开放空间率、归一化植被指数、绿化用地率,表现为两种格网尺度下回归系数的绝对值均较高,而建筑体形系数的变化对地表热环境的影响在空间上呈现出双向调节作用,考虑建筑高度或体积的增加会从而在一定程度上加重相邻两栋建筑的“屏障效应”,阻碍建筑群中的通风和散热情况,但当建筑高度和体积达到一定程度时,随之产生的建筑阴影又会对周边环境起到降温效果.

在空间尺度差异上,200 m × 200 m网格中各环境因子的回归分布呈现出圈层状分布,同时各环境因子的增降温能力在空间上的差异更加显著.400 m × 400 m网格中环境因子呈现渐进式的空间分布状态,环境因

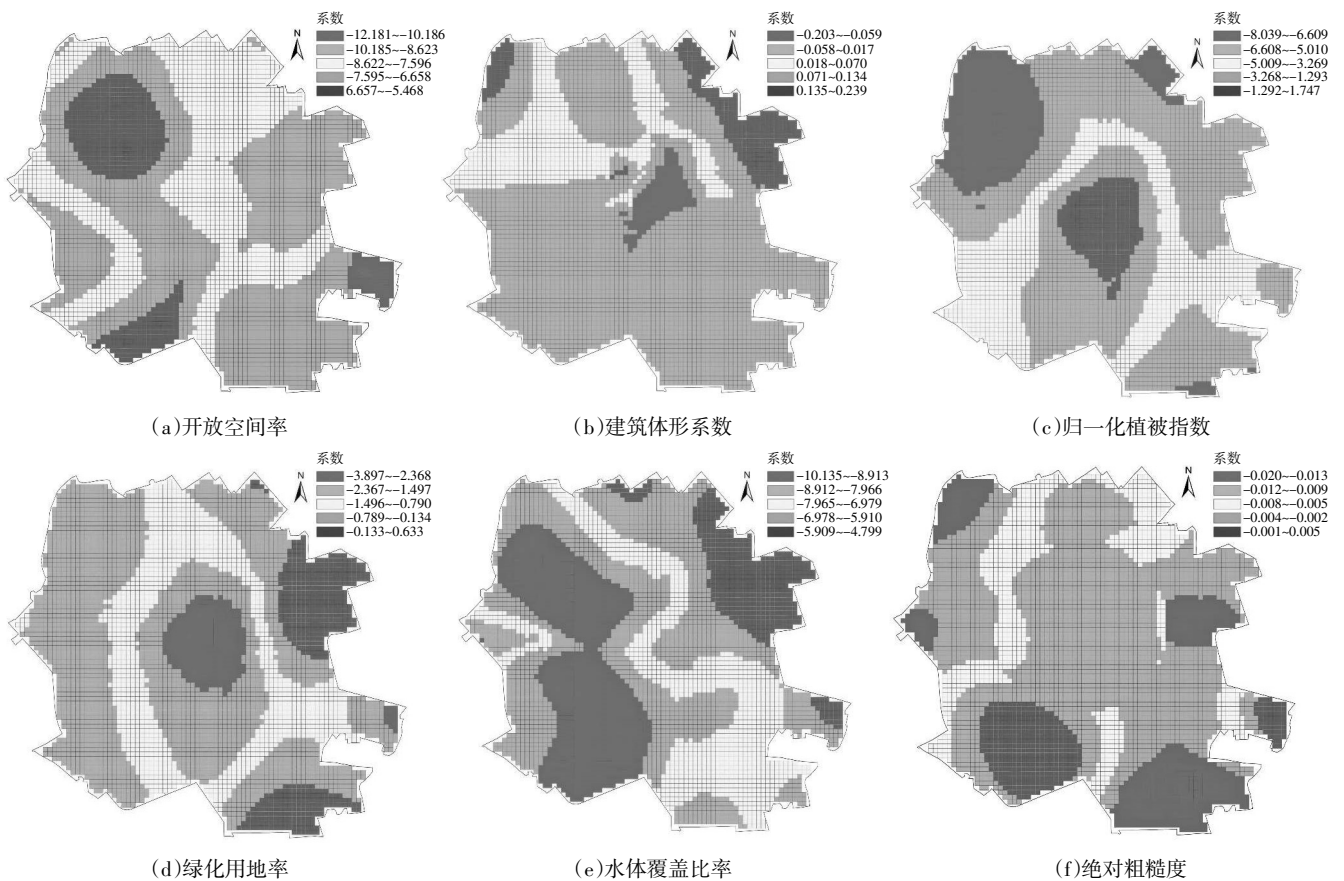


图3 200 m × 200 m 地理加权回归模型系数空间分布

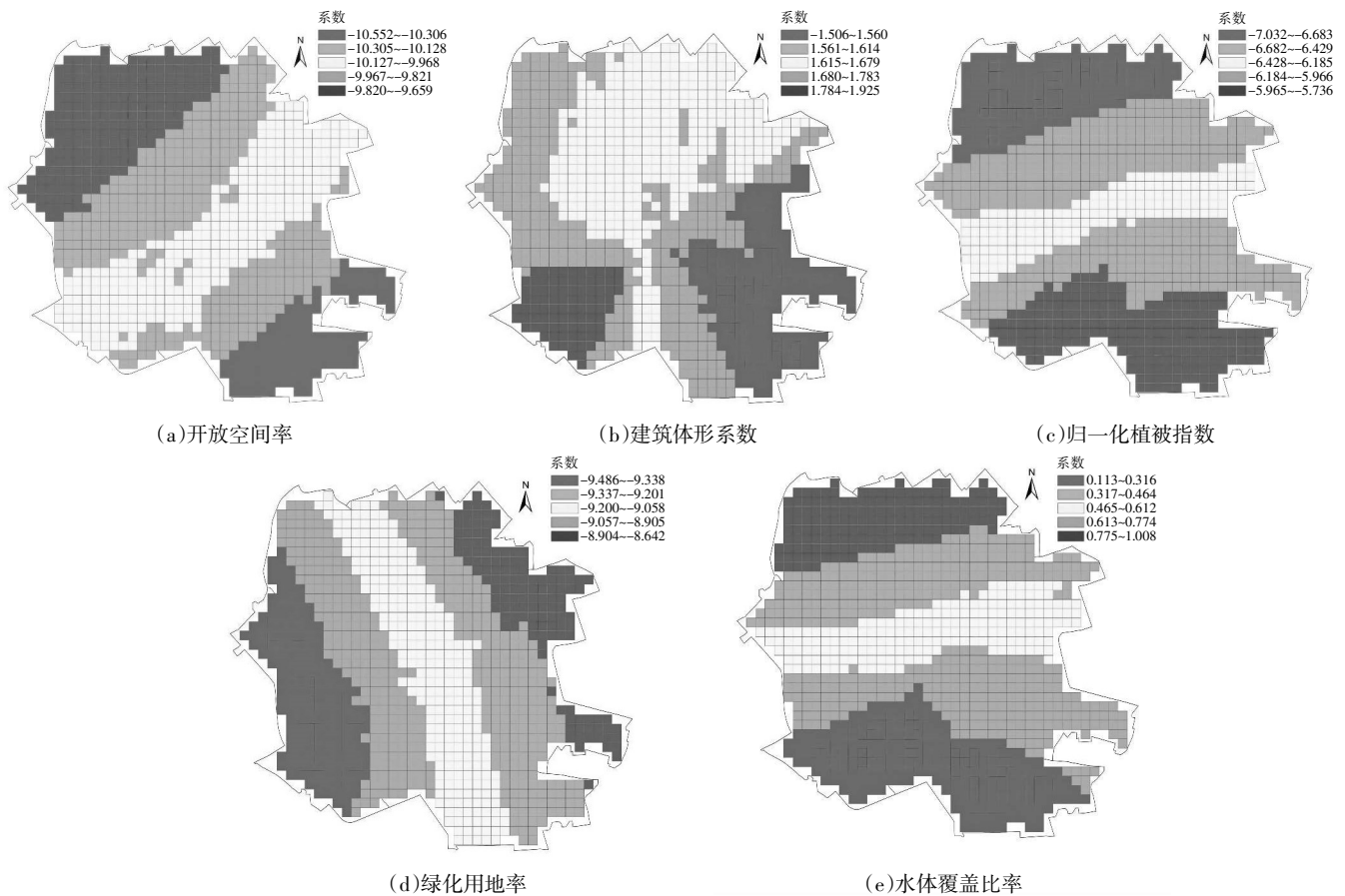


图4 400 m × 400 m 地理加权回归模型系数空间分布

子对地表热环境影响范围随着区域划分更为广泛, 格网内部环境参数及场地条件更多, 因此环境因子的增降温效果更多呈现出区域尺度的全局影响, 在相邻街区对热环境的影响变化相对不大。

4 结论与策略

4.1 结论

本研究基于不同空间尺度下天津市中心城区的夏季地表温度分布格局, 同时在量化城市建成环境因子特征的基础上, 通过数理模型的分析实验, 揭示了选取的建成环境因子对周围局部热环境的影响机制。研究表明:

(1) 天津市热环境整体呈斑块式分布, 且热核数量较多, 空间分布具有较强的自相关性, 同等性质空间特征之间相互影响显著。

(2) 街区建成环境因子中, 开放空间率、归一化植被指数、绿地率对地表热环境具有负向影响, 绝对粗糙度对地表热环境具有正向影响, 而建筑体形系数对地表热环境呈现出双向调节的影响作用。

(3) 不同回归模型组合方式下各建成环境因子对

地表温度的综合影响程度差异显著, 影响范围随着空间尺度的增大更为广泛。因此在研究热环境变化与建成环境因子之间影响关系的同时, 要综合判断研究区域内其他环境参数或场地条件的差异。

研究结果反映了环境因子参数对城市局部热环境的总体变化趋势, 但由于模型规模限制等问题, 环境变化对城市热环境的具体影响规律仍有待探究。因此在未来的研究中应考虑不同时间尺度、不同规模的区域进行热环境的研究, 尽可能真实地验证城市建成环境因子与热环境之间空间影响的耦合关系。

4.2 热环境优化策略

根据本文研究结果, 对通过调整空间建成环境参数的方法优化城市热环境提出以下建议:

(1) 发挥绿色屏障建设的生态效益。

在满足其他规划要求的前提下, 可适当控制建筑占地面积和密度, 提高容积率。增加开敞空间生态绿化占地, 包括水体和植被面积, 并保护现有绿地, 以减少不透水面下垫面占比。可结合城市更新的契机实施城市在建设强度或生态网络调整方面的微改造, 借助绿色屏障的建设, 对城市街区内部的高温斑块进行隔离, 从而达到改善城市热岛效应的效果。

以天津市中心城区内水上公园、南翠屏公园以及西沽公园等大型城市级公园绿地作为主要生态节点,海河两侧、子牙河以及北运河两侧生态绿带作为主要生态轴线,拓展城市主要交通道路两侧绿化作为次级生态轴线,区域级小游园以及片区公共开敞空间绿地作为次要生态节点,将包含围合式中心景观式的街坊组团作为疏散吸收局部热量的降温区域面,全方位打造点线面结合的多层级城市蓝绿空间体系,充分发挥绿色屏障效益,形成城市级生态冷岛网络。

(2) 重视通风廊道利用的疏散功能。

研究结果表明城市形态变化对于风环境的影响较为显著,因此充分建设和利用不同等级的城市通风廊道切分疏散城区内部高温环境是解决热环境问题行之有效的手段。可采用缝合街区内部的小型绿地来提高城市街区生态网络的联结度,使之成为连续的绿化通廊和通风廊道。

首先要迎合城市主导风向来打造城市级生态通风廊道,天津市夏季主导风向为偏南风,建议规划廊道与主导风的夹角根据海河流向进行调整,以吴家窑大街、金钟河大街、新阔路等城市交通要道为主要风廊,借助天津市生态屏障建设现状,连接子牙河、北运河等城市水系及其周边生态绿道增设次级通风廊道,以城市级公园和防护绿林为通风廊道主要风汇区,实现风流与风汇联动,从而加快城市内部新鲜冷空气的流动,强化通风散热效果。在顺应城市级生态通风廊道走向的基础上,连接芥园道、东兴路等行政区之间的主要联系通道,以区级公园绿地或低层建筑片区等区域作为风汇区,打造片区级通风廊道,承上启下,保障城市级生态通风廊道与街区内部通风联动。

(3) 明确评估系统建立的必要效果。

建立“城市政府-区级管理部门-街道社区”多级联动的评估应急体系,统筹协调医院、消防、急救中心等气候风险相关负责部门和机构,居民可通过手机信令及时接收到政府部门发布的热灾害预警信息和日常防灾知识,保障热环境灾害的积极救治响应效率。借此系统辅助城市低碳生态系统的建设和优化,从而提高城市应对气候危机的韧性。

参考文献:

[1] 黄群芳. 城市空间形态对城市热岛效应的多尺度影响研究进展[J]. 地理科学, 2021, 41(10): 1832-1842.

[2] 祁乾龙, 孟庆林, 董莉莉, 等. 城市规划与城市热环境研究的结合途径探讨[J]. 西部人居环境学刊, 2021, 36(3): 46-56.

[3] 郭琳琳, 李保峰, 陈宏. 我国在街区尺度的城市微气候研究进展[J]. 城市发展研究, 2017, 24(1): 75-81.

[4] PETRALLI M, MASSETTIL, BRANDANI G, et al. Urban planning indicators: useful tools to measure the effect of urbanization and vegetation on summer air temperatures[J]. International Journal of Climatology, 2014, 34(4): 1236-1244.

[5] COSEO P, LARSEN L. How factors of land use/land cover, building configuration, and adjacent heat sources and sinks explain urban heat islands in Chicago[J]. Landscape and Urban Planning, 2014, 125: 117-129.

[6] FENG X, MYINT S W. Exploring the effect of neighboring landcover pattern on land surface temperature of central building object[J]. Building and Environment, 2016, 95(1): 346-354.

[7] 刘勇洪, 徐永明, 张方敏, 等. 北京城市空间形态对热岛分布影响研究[J]. 地理学报, 2021, 76(7): 1662-1679.

[8] 林中立, 徐涵秋. 基于局地气候分区体系的福州城市热环境研究[J]. 地球信息科学学报, 2022, 24(1): 189-200.

[9] 耿树丰, 任嘉义, 杨俊, 等. 局地气候区视角下的城市热环境研究[J]. 生态学报, 2022(6): 1-7.

[10] 蔡智, 唐燕, 刘畅, 等. 三维城市空间形态演进及其地表热岛效应的规划应对——以北京市为例[J]. 国际城市规划, 2021, 36(5): 61-68.

[11] PENG F, WONG M S, HO H C, et al. Reconstruction of historical datasets for analyzing spatio-temporal influence of built environment on urban microclimates across a compact city[J]. Building and Environment, 2017, 123: 649-660.

[12] GUSSON C S, DUARTE D H S. Effects of built density and urban morphology on urban microclimate calibration of the model ENVI-met V4 for the subtropical Sao Paulo, Brazil[J]. Procedia Engineering, 2016, 169: 2-10.

[13] 郭尚霖, 孙一民. 城市设计要素对热岛效应的影响分析——广州地区案例研究[J]. 建筑学报, 2015(10): 79-82.

[14] 周诗文, 石铁矛, 李绥, 等. 基于城市形态参数的沈阳地表热环境评估方法及规划响应[J]. 工业建筑, 2022, 52(5): 42-50.

[15] 宋鑫博, 黄鹤, 郭军, 等. 城市形态对夏季热环境影响研究——以天津中心城区为例[J]. 生态环境学报, 2021, 30(11): 2165-2174.

[16] 周伟奇, 田韞钰. 城市三维空间形态的热环境效应研究进展[J]. 生态学报, 2020, 40(2): 416-427.

[17] 凡来, 张大玉. 北京街区活力影响机制及空间分异特征研究——基于多尺度地理加权回归[J]. 城市规划, 2022, 46(5): 27-37.