

“双碳”目标下寒冷地区城市滨水住区 夏季的热环境特征 ——以天津市为例

王柳璿¹, 李阳力¹, 陈天^{1,2,3*}

1. 天津大学建筑学院, 天津 300072
2. 天津大学城市空间与城市设计研究所, 天津 300072
3. 天津市旧城改造生态化技术工程中心, 天津 300072

摘要 为响应“双碳”政策, 进一步明确中国寒冷地区滨水住区夏季热环境特征, 基于天津市 91 个典型滨水住区的 Landsat-8 遥感影像与空间环境因子, 运用相关性分析与多元线性回归方法得到热环境特征。结果表明: 面状水体热环境调节作用优于线状水体, 住区平均热岛强度差值达 1.57 °C; 住区热环境与建筑密度、滨水距离呈显著正相关, 与平均建筑高度、归一化植被指数、周边水面率呈显著负相关, 其中归一化植被指数与周边水面率影响权重最高; 不同建筑布局住区热环境的影响因子存在差异, 点阵式住区平均热岛强度最低, 围合式住区最高; 当建筑密度小于 19.08%, 通过减小住区滨水距离、增加周边水面率能有效调节热环境。提出了改善寒冷地区滨水住区热环境的建议。

关键词 寒冷地区; 滨水住区; 热环境; 小气候; 地表温度; 天津市

2021 年, 中共中央、国务院《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》中指出“强化绿色低碳发展规划引领, 化绿色低碳发展区域布局, 加快形成绿色生产生活方式”。根据国家统计局 2021 发布的《中国统计》显示: 中国城

镇化率 2021 年达到 63.9%, 城市作为重要的碳排放单元, 建设强度增加和生态用地减少, 导致城市热岛效应加剧和局部微气候恶化。热岛效应下建筑夏季冷负荷造成的能耗与碳排放增加显著^[1]。同时热岛效应对降水^[2]、用水量^[3]、生物多样性^[4]产生影

收稿日期: 2021-12-10; 修回日期: 2022-03-11

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(52078329)

作者简介: 王柳璿, 博士研究生, 研究方向为城市设计与建筑设计, 电子信箱: huimingfocha@163.com; 陈天(通信作者), 教授, 研究方向为生态城市设计及其理论、城市形态学及居住区规划, 电子信箱: chentian5561@vip.sina.com

引用格式: 王柳璿, 李阳力, 陈天. “双碳”目标下寒冷地区城市滨水住区夏季的热环境特征——以天津市为例[J]. 科技导报, 2022, 40(6): 46-55; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2022.06.006

响,致使城市面临长期的环境风险和短期的事件风险,为避免一系列社会活动间接导致碳排放增加,缓解城市热岛效应是减少碳排放的有效途径。

围绕中国不同气候区的特征差异开展研究,达到提高居住品质、节能减碳的目标,符合“以人民为中心”和“双碳”目标。学界较早开始宏观尺度热岛效应的时空分异性^[5]与机理^[6-7]研究,以及街道层峡^[8-9]、街区尺度^[10]、公共空间^[11]的中微观尺度研究,近年来逐渐关注绿地与水体的碳汇效应^[12]与局地气候改善^[13]。中国针对住区空间的热环境研究以夏热冬冷地区^[14]、夏热冬暖地区^[15]、严寒地区^[16]为主。寒冷地区住区热环境也逐渐受到关注^[17-18],但综合水体的气候调节效应对住区热环境改善的研究成果较少。因此,本研究以天津市为例,探索中国寒冷地区滨水住区热环境,总结水体降温效应与住区空间环境的影响机制,为城市热环境改善提出建议。

1 数据与研究方法

1.1 研究区域概况与样本选取

本研究的寒冷地区主要指中国北京、天津、河北、山东、山西、宁夏、陕西大部、辽宁南部、甘肃中东部、新疆南部、河南、安徽、江苏北部以及西藏南部等地区^[19],均属于中国人口、经济、产业的重要聚集区。寒冷地区对于住区建设的要求为夏季通风降温,冬季防风保温^[20]。天津市(38°34′—40°15′N, 116°43′—118°04′E)位于华北平原北部,是海河水系5大支流的汇合处,属于温暖带半湿润大陆性季风气候,冬夏季风更替明显。夏季炎热,雨水集中,南部中心区及周边盛行东南风。海河两岸的气温变化最小,气温年差为30.1℃~30.9℃,日温差为9.6℃^[21]。天津市作为直辖市是中国北方地区的经济中心,自古以水营城,人水城关系复杂。2009—2017年中心6区(和平区、河西区、河北区、河东区、南开区和红桥区)为城市内部热岛强度最强区域,并向四周(西青区、津南区、东丽区和北辰区)辐射,市中心的绿地和水体对其有缓解作用^[22]。

选取天津市外环线以内91个典型滨水住区作

为研究样本(图1)。水体的面积与形状指数与热环境具有相关性^[23],不同建筑排布方式、建筑密度与建筑高度的住区热环境存在差异。建筑排布方式的差异性导致通风散热机制的变化^[24],紧密型低层覆盖区的平均地表温度最高,稀疏型高层覆盖区的平均地表温度最低^[25]。参考《城市居住区规划设计标准》^[26],选取在容积率、建筑密度、建筑高度、建筑空间布局形态和相邻水体形态与规模存在分异性^[27]的住区,增加样本丰富度。并按照水体类型、风岸位置、建筑布局对样本分类(表1)。

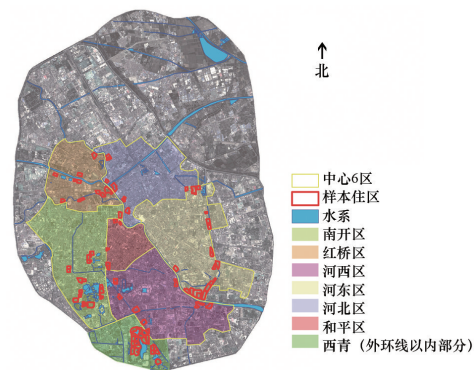


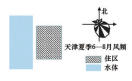



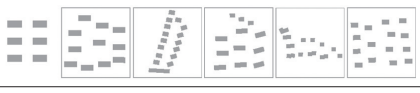


图1 91个样本住区分布

1.2 因子获取方法

城市热环境本身是一种复杂的物理现象,涉及一系列环境参数^[28]。地表温度热岛(surface urban heat, SUH)对城市热环境的时空分异性识别更为敏感,在研究地表特征和人类活动方面具备优势^[29],国内外研究常以地表温度作为参数表征城市多尺度下的热环境特征。Landsat-8所携带的热红外传感器所受到的地表辐射信息经过反演与矫正后能够较准确地反映地表温度。植被覆盖、人工建筑覆盖、地表水分状况等连续的生物物理组份特征都是影响地表热环境的因素^[30]。

选取夏季典型气象日平均地表温度 T (surface temperature, 单位:℃)作为住区夏季热环境表征。使用中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>)提供的Landsat-8热红外遥感影像提取地表温度。成像时间为2021年6月19日,云量0.15%。本文采用大气校正法反演地表温度,使用ENVI 5.3软件利用遥感记录的

表1 91个样本住区分类样本数

大类	中类	小类	描述	样本数
水体类型	线状	一级河道	海河、子牙河、新开河、北运河	28
		二级河道	卫津河、月牙河、北月牙河、北塘排污河、复兴河、南运河	23
	面状	月牙湾公园、梅江公园、水上公园、静湖公园	31	
	线面结合	住区既邻近河道,又邻近面状水体	9	
风岸位置	上风岸			30
	下风岸			41
	(2面及以上)环水			20
建筑布局	行列式			50
	点阵式			25
	围合式			7
	(行列、点阵)结合式			9

红外波段反演地表温度。首先对获取遥感影像进行预处理,再计算大气对地表热辐射的影响,得到地表热辐射强度,再将其转化为相应的地表温度。具体流程见图2。

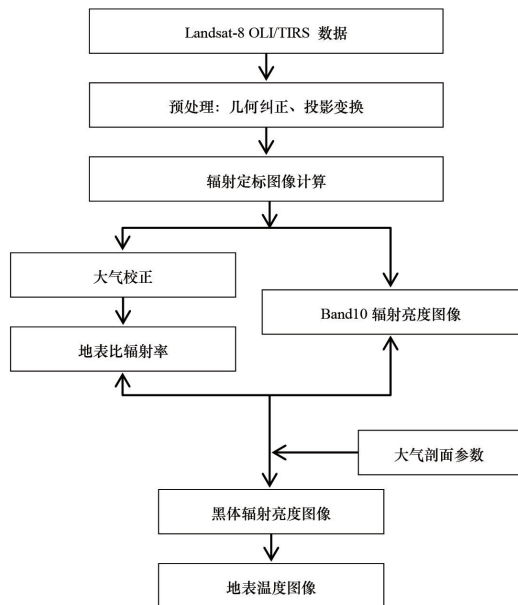


图2 Landsat-8 地表温度反演流程

目前已有研究基于蓝绿景观、地理划分单元、住区与街道,以相关性分析与加权回归等定量方法确定不同条件下的城市中微观尺度热环境影响因子。其中,蓝绿景观要素中呈现显著相关性的因子包括景观斑块特征与植被配置^[31]、归一化植被指数^[32]、归一化水体指数与水体面积^[33]等。建筑空间要素中,呈现显著相关性的因子包括建筑密度、容积率、建筑高度、天空可视度与建筑空间排布等^[34-35]。人工建筑、水面、绿地等类型的城市下垫面是影像热岛效应的主要因素,因此本文选取能够描述住区建筑布局、水体特征与绿化覆盖特征的6个指标因子作为量化参数进行研究^[36-38],包括:归一化植被指数 *NDVI* (normalized difference vegetation index)、建筑密度 *BD* (building density)、容积率 *FAR* (floor area ratio)、建筑平均高度 *H* (height, 单位: m)、住区滨水距离 *WD* (waterfront distance, 单位: m)、半径 1 km 内水面率 *WR* (water surface ratio)。其中,通过 BIGEMAP 提供的 Google Earth 卫星影像与矢量数据获取样本住区区位、*BD*、*FAR*、*H*

等因子,使用 ArcGIS 软件统计与计算,并结合城市普查与无人机实地调研对数据进行完善。使用 Landsat-8 Band4 和 Band5 波段,利用 ArcGIS 软件处理,得到 $NDVI$ 值。不同地域、类型与规模的水体向外降温增湿效应辐射范围不同^[39-40],本研究以住区几何中心为圆心绘制 1 km 半径圆形,以圆形内水面面积与圆形面积的比值用以描述 WR 。

2 结果分析

2.1 住区热岛强度特征

提取 91 个样本住区平均地表温度 (T),与天津市热岛强度 (Urban Heat Island, UHI) 进行对比分析。根据热岛强度计算公式:

$$UHI_{\text{天津}} = T_{\text{城区}} - T_{\text{郊区}} \quad (1)$$

式中, $UHI_{\text{天津}}$ 为天津市中心 6 区热岛强度, $T_{\text{城区}}$ 为天津中心 6 区平均地表温度, $T_{\text{郊区}}$ 选取天津其他 6 区平均地表温度 (东丽区、西青区、津南区、北辰区、武清区和宝坻区)^[37]。

同理,通过计算可得到各样本住区热岛强度,公式为:

$$UHI_i = T_i - T_{\text{郊区}} \quad (2)$$

式中, UHI_i 为各样本住区热岛强度, T_i 为各样本住

区平均地表温度, $i=1,2,3, \dots, 91$ 。

得到遥感成像时刻天津城市中心区热岛强度为 $3.54\text{ }^{\circ}\text{C}$ (图 3)。将 UHI_i 与 $UHI_{\text{天津}}$ 进行对比,得到不同类型住区热岛强度特点 (图 4)。可以看出,大部分滨水住区热岛强度低于天津市中心区热岛强度。各区热岛强度为:和平区 $4.97\text{ }^{\circ}\text{C}$,河东区 $2.09\text{ }^{\circ}\text{C}$,河西区 $2.20\text{ }^{\circ}\text{C}$,西青区 $-0.58\text{ }^{\circ}\text{C}$,南开区 $3.21\text{ }^{\circ}\text{C}$,河北区 $2.80\text{ }^{\circ}\text{C}$,红桥区 $2.88\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。其中和平区最高、西青区最低。可见,水体对于调节住区热环境具有调节效果,但作用有限,起重要决定作用的仍是住区所处城区整体热环境。

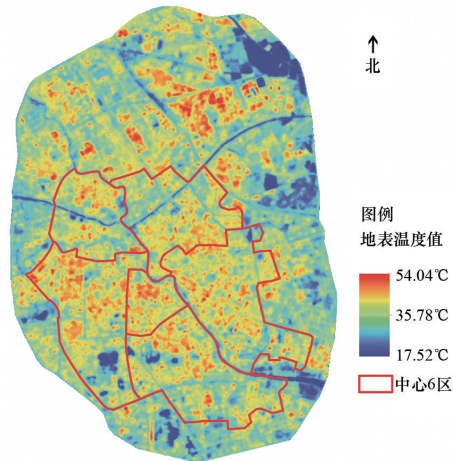


图3 天津市外环线以内地表温度分布

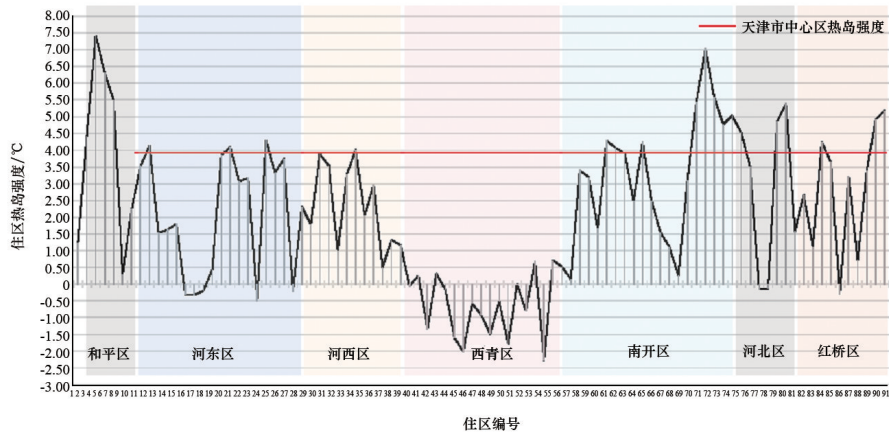


图4 UHI_i 与所属辖区分布

统计位于不同类型水体的 UHI_i ,如图 5 所示。结合虚拟变量线性回归分析,面状和线、面结合水体周边 UHI_i 显著低于线状水体,差值分别为 $1.57\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $1.63\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。一级河道周边 UHI_i 低于二级河道,且均

低于 $UHI_{\text{天津}}$ 。可见不论何种形态的水体,整体对于调节滨水住区热环境、降低热岛效应均有贡献。岳文泽等^[41]通过对位于夏热冬冷气候区的上海市中心城区的研究,发现面状水域景观的热环境效应要

强于线状河流景观,线状河流景观的宽度与流经区域共同决定了其对城市热环境的影响能力,与本文以寒冷气候区天津市为背景研究结果一致。

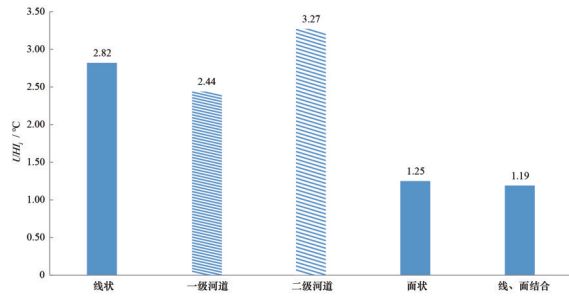


图5 不同水体类型周边住区 UHI_i

对所处不同风岸位置的住区分别统计 UHI_i ,如图6所示。结合虚拟变量线性回归分析,上、下风岸的 UHI_i 无显著差异,差值仅为 0.03°C 。环水类型平均 UHI_i 显著低于另外2类。可见,季风影响下的住区与水体位置关系不是影响住区热环境的决定因素,还受到其他指标影响。超过2面以上环水的住区热岛效应会得到极大程度的改善。

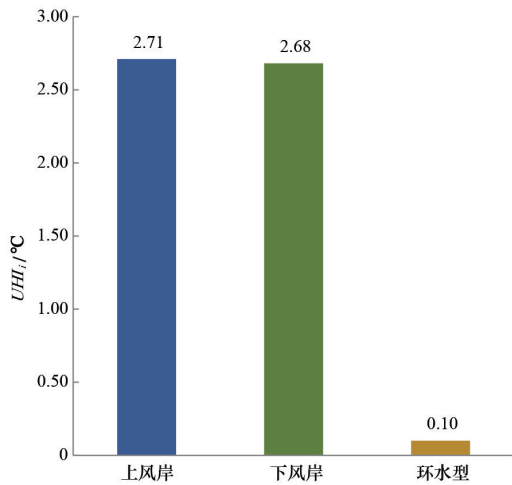


图6 不同风岸位置住区 UHI_i

对住区以不同建筑布局形式进行分类,分别统计 UHI_i ,如图7所示。可以看出,围合式住区平均 UHI_i 最高,可达 4.78°C 。点阵式住区平均 UHI_i 最低,为 -0.05°C ,反映出水体对周围区域产生的“冷岛”效应。通过线性回归分析,结合式住区与行列式、围合式住区之间热环境无显著差异,其余各类型住区热环境差异显著。可见,住区不同的建筑布局模式是影响热环境的主要因素。

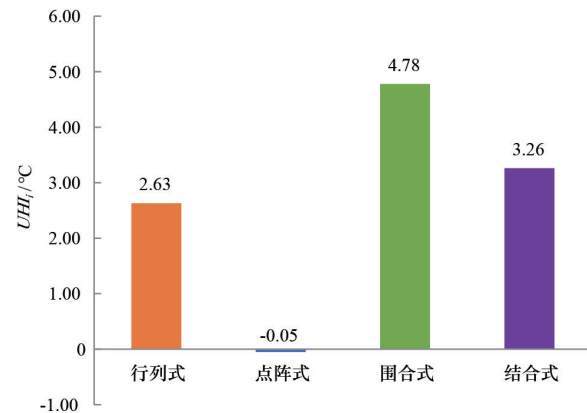


图7 不同建筑布局住区 UHI_i

2.2 住区空间因子相关性分析

为进一步探索住区空间要素、住区与水体关系要素的影响机制,对91个样本住区平均地表温度 (T) 与6个影响因子进行相关性分析。采用 Pearson 相关系数确定地表温度与各因子之间的相关性(表2),并对呈显著相关的因子绘制散点图(图8)。

结果表明:在住区内部空间与绿化要素方面, T 与 $NDVI$ 呈极显著负相关,即住区植被覆盖度越高,住区热环境越好。 T 与住区 BD 呈极显著正相关,与 H 呈极显著负相关,即建筑密度越低、平均高度越高、住区热环境越好。为符合中国住区建设规范中对于容积率、建筑间距和采光等要求,建筑高度越高的住区,建筑密度需要相应降低,因此导致

表2 T 与影响因子相关性分析

模型	住区内部空间建设因素				住区与水体关系因素		
	$NDVI$	BD	FAR	H	WD	WR	
T	Pearson 相关性	-0.666**	0.688**	-0.110	-0.580**	0.344**	-0.476**
	显著性(双侧)	0.000	0.000	0.301	0.000	0.001	0.000

注:**在0.01水平(双侧)上显著相关;*在0.05水平(双侧)上显著相关。

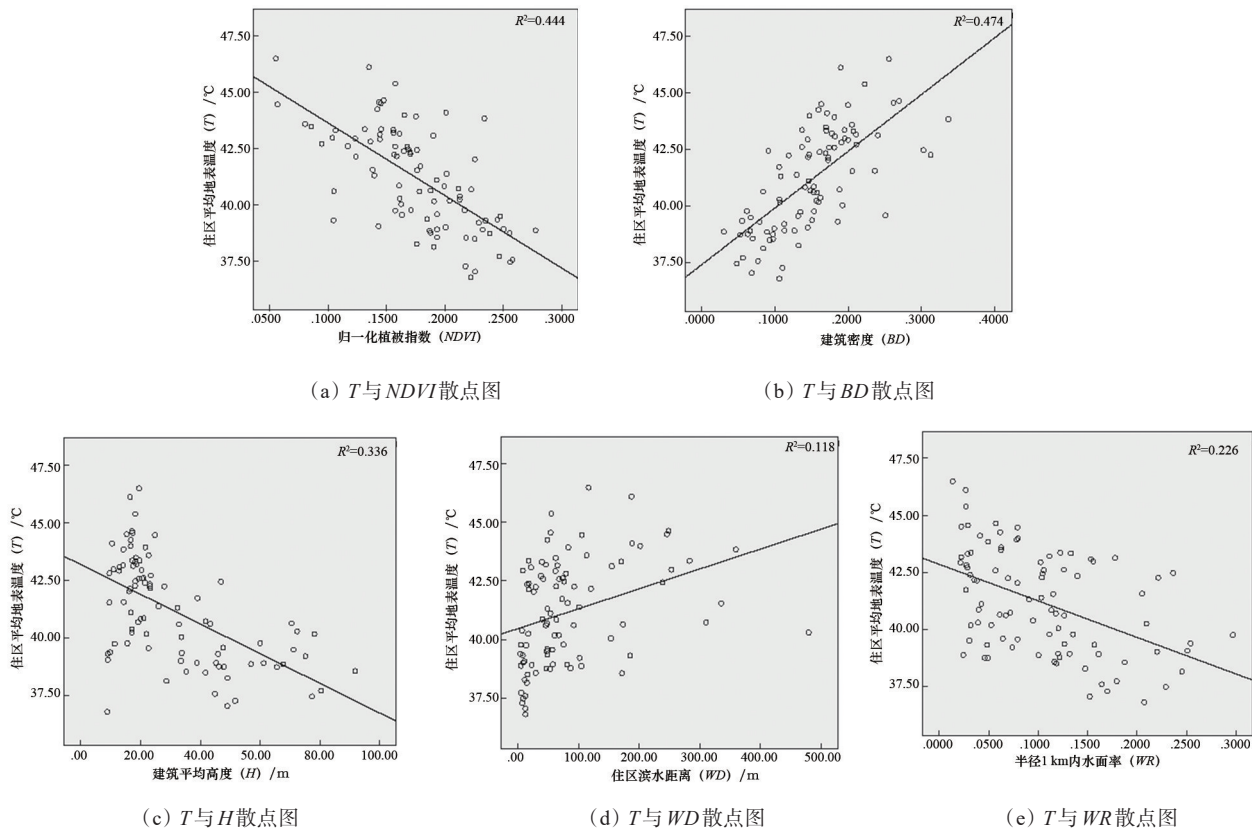


图8 T 与影响因子散点图

地表平均温度降低。 T 与 FAR 相关性并不显著。这是由于 FAR 是综合住区建筑面积与基地面积计算得到的参数,在 FAR 与层高一定的情况下,建筑密度与高度呈反比关系。可见,仅控制 FAR 这一项指标无法达到优化住区热环境的目的。在住区与水体关系因素方面, T 与 WD 呈极显著正相关, T 与 WR 呈极显著负相关,即住区距离水体越近、周围水体面积越大,住区热环境越好。

由分析可以看出,建筑布局和 BD 是影响热环境的重要因素。因此通过控制变量法进行进一步探究,分析不同类型建筑布局的 T 与 WD 、 WR 的相关性,并使用 $T_{\text{行列式}}$ 、 $T_{\text{点阵式}}$ 、 $T_{\text{围合式}}$ 、 $T_{\text{结合式}}$ 分别描述不同建筑布局住区的平均地表温度。通过相关性分析得到表3。结果表明:行列式与点阵式住区 T 与 WD 呈显著正相关;行列式、点阵式、结合式住区 T 与 WR 呈极显著负相关;围合式住区 T 值最高,且与 WD 、 WR 均无显著相关性。减小滨水距离与增加住区周边水面面积,可以有效改善行列式和点阵式住

区热环境。但围合式住区的热环境很难通过水体调控。

表3 不同建筑布局 T 与 WD 、 T 与 WR 相关性分析

模型		WD	WR
$T_{\text{行列式}}$	Pearson 相关性	0.355*	-0.574**
	显著性(双侧)	0.011	0.000
$T_{\text{点阵式}}$	Pearson 相关性	0.536**	-0.600**
	显著性(双侧)	0.006	0.002
$T_{\text{围合式}}$	Pearson 相关性	0.073	-0.537
	显著性(双侧)	0.877	0.214
$T_{\text{结合式}}$	Pearson 相关性	0.331	-0.723*
	显著性(双侧)	0.384	0.028

注:**在0.01水平(双侧)上显著相关;*在0.05水平(双侧)上显著相关。

对不同建筑密度的住区进行划分为4档:BD1($\leq 9\%$)、BD2(9.01%~15%)、BD3(15.01%~21%)、BD4($\geq 21.01\%$),并使用 T_{BD1} 、 T_{BD2} 、 T_{BD3} 、 T_{BD4} 分别描述各档住区的平均地表温度。分析 T_{BD1} 、 T_{BD2} 、 T_{BD3} 、 T_{BD4} 与 WD 、 WR 的相关性得出表4。结果表明:当建筑

密度不超过某阈值, T 与 WD 呈显著正相关, 与 WR 呈显著负相关。进一步相关性分析发现, $BD \leq 16\%$ 时, T 与 WD 呈显著正相关; 当 $BD > 19.08\%$ 时, T 与 WR 无相关性(图9, 图10)。可见, 通过减小滨水距离、增加周边水面率调节热环境的前提是住区建筑密度小于一定阈值, 基于本研究的样本住区, 有效的调节阈值分别为建筑密度不超过 16% 和 19.08% 。

表4 不同建筑密度 T 与 WD 、 T 与 WR 相关性分析

模型		WD	WR
T_{BD1}	Pearson 相关性	0.159	-0.650**
	显著性(双侧)	0.556	0.006
T_{BD2}	Pearson 相关性	0.462*	-0.503**
	显著性(双侧)	0.012	0.005
T_{BD3}	Pearson 相关性	0.405*	-0.500**
	显著性(双侧)	0.018	0.003
T_{BD4}	Pearson 相关性	-0.015	-0.479
	显著性(双侧)	0.963	0.115

注:**在0.01水平(双侧)上显著相关;*在0.05水平(双侧)上显著相关。

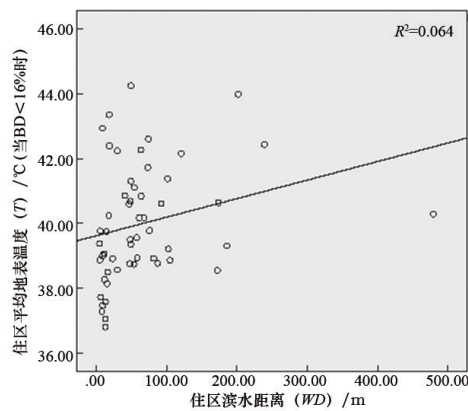


图9 $BD < 16\%$ 时, T 与 WD 散点图

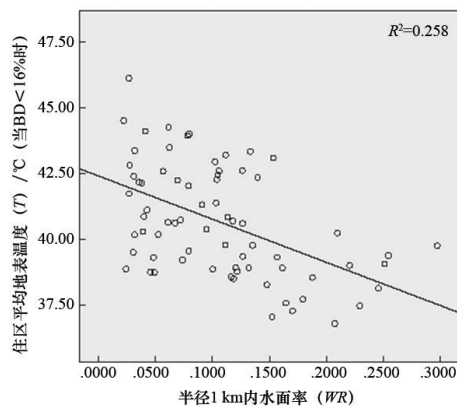


图10 $BD < 19.08\%$ 时, T 与 WR 散点图

2.3 住区空间因子相关性分析

在明确住区因子对热环境的作用机制的基础上, 建立 T 的多元回归模型进一步探索因子影响程度。因变量为 T , 自变量选取与 T 具有显著相关性的 $NVDI$ 、 H 、 WD 、 WR , 进行线性回归分析(表5)。

表5 回归系数表

模型	非标准化系数		标准化系数		显著性	VIF
	B值	标准误差	B值			
常量	44.106	0.858	—	—	—	—
$NVDI$	-14.602	3.126	-0.302	0.000	1.510	
BD	10.192	2.806	0.280	0.000	2.137	
H	-0.029	0.008	-0.266	0.000	1.915	
WD	0.003	0.001	0.131	0.025	1.193	
WR	12.091	1.880	-0.359	0.000	1.122	

注: 因变量为 T 。

分析结果可得到回归模型 R^2 为 0.74, 说明选取的 5 个自变量可以描述超过 76.4% 的住区地表温度变化的原因, 拟合程度较好, 通过验证其残差分布基本符合正态分布, 且自变量之间不存在共线性。可得到线性回归方程为:

$$Y_i = 44.106 - 14.602X_1 + 10.192X_2 - 0.029X_3 + 0.003X_4 - 12.091X_5 \quad (3)$$

式中, Y_i 为 T , 单位为 $^{\circ}\text{C}$; X_1 为 $NVDI$; X_2 为 BD ; X_3 为 H , 单位为 m ; X_4 为 H , 单位为 m ; X_5 为 WR 。

为探究不同建筑布局的住区热环境影响因子差异, 构建建筑布局分类回归模型。首先通过对不同建筑布局的分类自变量进行线性回归, 得到结合式住区与行列式住区的 T 对比不显著 ($P=0.319$), 因此将结合式住区归入行列式住区进行回归分析。围合式住区各因子与 T 不存在显著关系, 因此不输出回归模型。最终得到行列式(含结合式)住区、点阵式住区线性回归方程为:

$$Y_{\text{行列式}i} = 44.046 - 15.749X_{\text{行列式}1} + 10.302X_{\text{行列式}2} + 0.004X_{\text{行列式}3} - 12.248X_{\text{行列式}4} \quad (4)$$

式中, $Y_{\text{行列式}i}$ 为行列式(含结合式)住区 T , 单位为 $^{\circ}\text{C}$; $X_{\text{行列式}1}$ 为 $NVDI$; $X_{\text{行列式}2}$ 为 BD ; $X_{\text{行列式}3}$ 为 H , 单位为 m ; $X_{\text{行列式}4}$ 为 WR 。

$$Y_{\text{点阵式}i} = 43.092 - 12.574X_{\text{点阵式}1} - 9.708X_{\text{点阵式}2} \quad (5)$$

式中, $Y_{\text{点阵式}i}$ 为点阵式住区 T , 单位为 $^{\circ}\text{C}$; $X_{\text{点阵式}1}$ 为 $NVDI$; $X_{\text{点阵式}2}$ 为 WR 。

对比标准化系数可知,各住区空间因子对 T 的影响权重为 $WR > NVDI > BD > H > WD$ 。影响行列式(含结合式)住区 T 的各因子权重为 $WR > NVDI > BD > WD$,与 H 无显著相关性;影响点阵式住区 T 的各因子权重为 $WR > NVDI$,与 BD 、 H 、 WD 无相关性。可见无论对那种住区,周边水面率和植被覆盖率是调节热环境的主要因素。对不同布局模式的滨水住区的差异性回归分析所得结论为针对性的热环境改善策略构建提供依据。

3 中国寒冷地区滨水住区热环境改善建议

3.1 主要结论

研究以天津市外环线以内 91 个滨水住区为对象,探讨了滨水住区夏季热环境特征与影响因素,通过相关性分析和多元线性回归分析发现:(1) 城市中不同形态的水体都具备热环境调节潜力,面状水体调节效果优于线状水体,一级河道优于二级河道。调节效果受住区与水体空间结合方式、住区建筑布局、建筑密度、植被覆盖率因子影响。(2) 住区周边水面率、住区内部植被覆盖率、建筑密度、平均建筑高度、住区滨水距离是影响住区热环境的主要因子,其中影响最为显著的是住区周边水面率和住区内部植被覆盖率。住区建筑密度小于某一阈值时,通过减小住区滨水距离和增加周边水面率来改善住区热环境的效果会显著提升。对于天津市滨水住区而言,有效阈值约为建筑密度 $< 19.08\%$ 。(3) 各因子的影响权重取决于住区建筑布局类型。行列式住区热环境受到住区周边水面率、住区内部植被覆盖率、平均建筑高度、住区滨水距离的影响;点阵式住区热环境受到住区周边水面率、住区内部植被覆盖率的影响;而围合式住区热环境普遍较差,不受以上因素影响。这是由于围合式住区空间布局通风效果差,易导致热量堆积。且天津市滨水围合式住区大多建设年代久远,建筑密度较高,绿化设施较差,也易导致不良热环境的产生。

3.2 天津市滨水住区热环境改善建议

基于以上结论,从亲水设计、针对不同建筑布

局住区分类控制和提高水绿增益效应方面提出建议,提高水体热环境调节效率。(1) 重点提高对海河等一级河道与大型公园景观水体降温增湿效应的利用率。通过合理规划住区组团与水体空间位置关系增加住区周边水体面积,增加驳岸长度,如构建 2 面以上环水的“岛”式住区组团,提高住区亲水性。(2) 行列式滨水住区应注意对建筑密度加以控制。点阵式住区夏季热环境往往较好,是由于建筑密度低、绿化率高、高楼风易带走热量,水体降温效果增益。但同时应考虑高层建筑在冬季会产生不良微气候、滨水界面与天际线美观问题,对滨水高层点阵式住区建设的形态加以控制。围合式住区应尽量避免于滨水区建设,并应对已建成的老旧围合式住区进行重点更新设计。(3) 提高住区植被覆盖率能够有效改善住区热环境,并且通过水体与植被共同组成“蓝绿空间”实现综合效应的增益,增加蓝绿空间碳汇效应。

3.3 双碳目标下寒冷地区住区热环境改善探讨

不同于夏热冬冷地区或夏热冬暖地区夏季不良的湿热环境,寒冷地区需要更多地利用水体降温增湿效应以缓解城市热岛,减少夏季建筑热负荷,实现节能减碳。应对不同规模的水体空间进行分类管控,重点控制城市大型景观水体与一级河道周边的住区建设,合理布局住区与水体空间关系,避免降低水体热环境调节效率,造成生态资源浪费。应结合寒冷地区气候特征更新规范和导则,对滨水住区建设指标进行控制。旧的居住区规划规范与滨水区规划已经不足以应对气候变化,城市小气候调节效应应当被重视。通过滨水住区生态化改造完成绿色低碳生活方式构建,利用微气候调节效应减少夏季空调能耗,结合蓝绿空间网络构建绿色出行方式,提升生态碳汇能力。

4 结论

中国正在进入高度城市化的时期,控制碳排放、以碳中和为目标导向的规划已成为新时代必然选择。本研究以天津为例,通过住区热环境及影响因素的相关性与回归分析,用线性回归方程描述了

中国寒冷地区城市滨水住区热环境特征,以期提高城市中以水体为代表的生态资源的利用效率。应将缓解城市热岛效应作为降低夏季城市能耗的途径,响应目前应对气候变化视角下,城市发展以“双碳”策略为目标的规划模式需求。

参考文献(References)

- [1] 田喆. 城市热岛效应分析及其对建筑空调采暖能耗影响的研究[D]. 天津: 天津大学, 2005.
- [2] Molders N. Landscape changes over a region in east germany and their impact upon the processes of its atmospheric water-cycle[J]. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 1998, 68: 79-98.
- [3] House-Peters L A, Chang H. Modeling the impact of land use and climate change on neighborhood-scale evaporation and nighttime cooling: A surface energy balance approach[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2011, 103(2): 139-155.
- [4] Ortega-Álvarez R, Macgregor-Fors I. Living in the big city: Effects of urban land-use on bird community structure, diversity, and composition[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 90(3): 189-195.
- [5] 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[EB/OL]. [2021-11-29]. <https://iffgc1d129f57bb244a4hwo0upcv9knk96u0cfcgyf.eds.tju.edu.cn/kcms/detail/11.2031.Q.20211125.1757.044.html>.
- [6] Howard L. *The climate of london*[M]. London: ScienceOpen, 1818.
- [7] Weng Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2009, 64(4): 335-344.
- [8] Munizgaal L P, Pezzuto C C, de Carvalho M F H, et al. Urban geometry and the microclimate of street canyons in tropical climate[J]. *Building and Environment*, 2020, 169: 106547.
- [9] 郭晓晖, 包志毅, 吴凡, 等. 街道可视因子对夏季午后城市街道峡谷微气候和热舒适度的影响研究[J]. *中国园林*, 2021, 37(9): 71-76.
- [10] Guo G, Zhou X, Wu Z et al. Characterizing the impact of urban morphology heterogeneity on land surface temperature in Guangzhou, China[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2016, 84: 427-439.
- [11] 陶聪, 李佳芯, 赖达祎. 城市公共活动空间质量评价与优化策略研究[J]. *规划师*, 2021, 37(21): 75-83.
- [12] 于洋, 王昕歌. 面向生态系统服务功能的城市绿地碳汇量估算研究[J]. *西安建筑科技大学学报(自然科学版)*, 2021, 53(1): 95-102.
- [13] Yu Z, Yang G, Zuo S, et al. Critical review on the cooling effect of urban blue green space: A threshold-size perspective[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2020, 49: 126630.
- [14] 姜允芳, 李悦, 石铁矛, 等. 城市住区热环境效果模拟与生态节能性研究[J]. *沈阳建筑大学学报(自然科学版)*, 2018, 34(6): 1145-1152.
- [15] 李坤明, 张华静, 赵立华. 基于经验热舒适指标的湿热地区居住区室外空间景观要素优化配置研究[J]. *建筑科学*, 2020, 36(10): 158-166.
- [16] 金雨蒙, 金虹, 康健, 等. 严寒地区城市住区公共空间热环境及热舒适实测研究[J]. *建筑科学*, 2021, 37(12): 29-37.
- [17] 范悦, 钟鸿峰, 何玥儿, 等. 室外热环境品质提升视角下既有住区建筑层级更新策略研究[J]. *建筑学报*, 2022(2): 46-51.
- [18] 薛思寒, 马悦, 王琨. 寒冷地区绿化指标对住区室外舒适度的多途径调控分析——以郑州市为例[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2022, 46(1): 210-218.
- [19] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 民用建筑热工设计规范(GB 50176—93)[S]. 北京: 中国计划出版社, 1993.
- [20] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 城市居住区热环境设计标准(JGJ286—2013)[S]. 北京: 建筑工业出版社, 2013.
- [21] 钟小敏, 李兆江. 中国省市地理: 天津地理[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2011: 43-44.
- [22] 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.
- [23] 陈爱莲, 孙然好, 陈利顶. 绿地格局对城市地表热环境的调节功能[J]. *生态学报*, 2013, 33(8): 2372-2380.
- [24] 马童, 陈天. 城市滨河区空间形态对近地面通风影响机制及规划响应[J]. *城市发展研究*, 2021, 28(7): 37-42+48.
- [25] 周淑贞, 张超. 城市气候学导论[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1985: 85.
- [26] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市居住区规划设计标准(GB50180—2018)[S]. 北京: 建筑工业出版社, 2018.
- [27] 天津市河道管理条例[J]. 天津市人民代表大会常务委员会公报, 2011(4).
- [28] Zhu X M, Wang X H, Yan D J, et al. Analysis of remotely-sensed ecological indexes' influence on urban thermal environment dynamic using an integrated ecological index: A case study of Xi'an, China[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2019, 40(9): 3421-3447.
- [29] Voogt J A. *Encyclopedia of global environmental change* [M]. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2002: 660-

- 666.
- [30] Amiri R, Weng Q, Alimohammadi A, et al. Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(12): 2606–2617.
- [31] 李斌, 邢汉发, 刘焯菲. 基于MGWR模型的城市景观与热环境关系分析[EB/OL]. [2021-10-08]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1294.N.20210719.1554.006.html>.
- [32] 吴昌广, 夏丽丽, 林姚宇, 等. 深圳市典型住区热环境特征及其影响因子分析[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2015, 47(6): 59–62.
- [33] 刘诗喆, 谢苗苗, 武蓉蓉, 等. 地理单元划分对城市热环境响应规律的影响——以北京为例[J]. *地理科学进展*, 2021, 40(6): 1037–1047.
- [34] 宋晓程, 刘京, 赵宇. 北方滨水区街区形态对城市微气候的影响[J]. *建筑科学*, 2019, 35(10): 191–198.
- [35] Gordon B. Microclimates of a suburban Colorado(USA) landscape and implications for planning and design[J]. *Landscape and Urban Planning (Amsterdam)*, 2000(49): 97–114.
- [36] Huang L M, Li J L, Zhao D H, et al. A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, China[J]. *Building and Environment*, 2008, 43(1): 7–17.
- [37] 李坤明, 张华静, 赵立华. 基于经验热舒适指标的湿热地区居住区室外空间景观要素优化配置研究[J]. *建筑科学*, 2020, 36(10): 158–166.
- [38] 张惠远, 饶胜, 迟妍妍, 等. 城市景观格局的大气环境效应研究进展[J]. *地球科学进展*, 2006(10): 1025–1032.
- [39] 傅抱璞. 我国不同自然条件下的水域气候效应[J]. *地理学报*, 1997(3): 56–63.
- [40] 李书严, 轩春怡, 李伟, 等. 城市中水体的微气候效应研究[J]. *大气科学*, 2008(3): 552–560.
- [41] 岳文泽, 徐丽华. 城市典型水域景观的热环境效应[J]. *生态学报*, 2013, 33(6): 1852–1859.

Summer thermal environment characteristics of urban waterfront residential districts in cold climate zone with "dual carbon" goals ——Case study of Tianjin city

WANG Liuying¹, LI Yangli¹, CHEN Tian^{1,2,3*}

1. School of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300072, China

2. Institute of Urban Space and Urban Design, Tianjin University, Tianjin 300072, China

3. Old City Reconstruction Ecological Technology Engineering Center, Tianjin University, Tianjin 300072, China

Abstract In the background of the "dual carbon" policy, to further clarify the summer thermal environment characteristics of the waterfront settlement in the cold areas of China, the Landsat-8 remote sensing images and the impact factors of 91 typical waterfront settlements in Tianjin, along with the correlation analysis and the multiple linear regression method are used to obtain the characteristics of the thermal environment. It is shown that the thermal environment regulation effect of the planar water is better than that of the linear water, with the difference of the UHI effect up to 1.57 °C. The UHI effect has a significant positive correlation with the building density (BD) and the waterfront distance (WD), and is significantly negatively correlated with the average building height (H), the normalized difference vegetation index (NDVI), and the water surface ratio within a radius of 1 km (WR), with the NDVI and the WR having the highest influence weight. There are differences in the influencing factors of the UHI effect in the settlement with different building layouts. The lattice-type settlement has the lowest UHI effect, and the enclosed-type settlement has the highest UHI effect. When the BD is less than 19.08%, the thermal environment can be adjusted well by reducing the WD and increasing the WR. Finally, recommendations for the thermal environment improvement of the waterfront settlements in cold regions are made.

Keywords cold area; waterfront residential area; thermal environment; microclimate; surface temperature; Tianjin ●



(责任编辑 卫夏雯)