

董慰, 姜润声, 董禹, 裴溟涵. 气候变化背景下热风险感知与住区居民体力活动的关系研究[J]. 风景园林, 2024, 31 (4): 21-28.

气候变化背景下热风险感知与住区居民体力活动的关系研究

董慰 姜润声 董禹* 裴溟涵

摘要: 【目的】气候变化背景下, 体力活动不仅受到客观建成环境与真实热风险影响, 也受到主观心理感知影响。分析住区居民的热风险感知 (heat risk perception, HRP) 与体力活动的关系, 为应对气候变化健康风险的城市规划研究与实践提供实证基础。【方法】以哈尔滨市为例, 采用问卷调查和分层回归的方法, 揭示了“恐惧”“态度”和“适应”3个维度上的 HRP 水平与体力活动水平分别在不同局地气候分区 (local climate zone, LCZ) 类型的住区中的差异以及二者间的关系。【结果】HRP 与体力活动相关, 其中恐惧和态度感知减少了体力活动, 适应则增加了体力活动; HRP 能够显著提高住区建成环境与体力活动模型的准确性, 开放型中层住区居民具有最低的恐惧和态度感知水平, 以及最高的适应感知水平和体力活动水平。【结论】从风险感知视角揭示了气候变化和建成环境对居民健康的间接影响, 为城市气候安全治理和健康城市规划提供参考。

关键词: 风景园林; 建成环境; 体力活动; 热风险感知; 哈尔滨

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“促进社区社会健康的建成环境要素及规划调控机制研究”(编号 52278057)

中图分类号: TU984

文献标识码: A

文章编号: 1673-1530(2024)04-0021-08

DOI: 10.3724/j.fjyl.202310050447

收稿日期: 2023-10-05

修回日期: 2024-03-13

开放科学 (资源服务)
标识码 (OSID)

联合国政府间气候变化专门委员会 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 指出, 气候变化已经对人类健康和卫生系统带来巨大挑战^[1-2]。气候变化加剧了夏季热应激风险, 不仅会直接损害生理健康, 也可能通过影响体力活动间接产生健康风险^[3-4]。

城市建成环境具有热调节作用, 对于降低热风险和改善体力活动至关重要^[5-6]。适宜的建成环境有助于降低居民的热暴露和热应激水平, 并激发居民的体力活动意愿^[6]。相关研究广泛讨论了蓝绿基础设施^[7-8]、城市空间形态^[9]、表面材料^[10]等方面建成环境因素如何调节城市空间中的能量平衡和物质交换并营造符合人体生理节律的热暴露条件, 进而提高居民的体力活动意愿^[11-12]。

同时, 居民对气候变化问题的认识和态度也会影响其行为模式^[13]。主导该过程的心理因素被定义为气候变化风险感知, 即居民对气候威胁性的主观判断和自我保护反应, 会对行为决策产生影响^[14-16]。气候变化风险感知也会受到局地气候分区 (local climate zone, LCZ) 等建成环境因素的影响^[17], 并且会在热浪等极端温度事件中增强。尽管气候变化已加剧了热风险和健康风险, 但目前尚未有研

究探讨城市居民对气候变化中的热风险感知 (heat risk perception, HRP) 是否会在建成环境中影响体力活动。

本研究以哈尔滨市建成区的住区为研究区域, 识别哈尔滨住区的 LCZ 类型, 并在典型住区中开展 HRP 与体力活动问卷调查, 运用分层回归结合最小二乘 (ordinary least square, OLS) 模型的方法分析 HRP 与体力活动的关系, 为应对气候变化健康风险的城市规划研究与实践提供实证基础。

1 概念界定与研究假设

1.1 概念界定

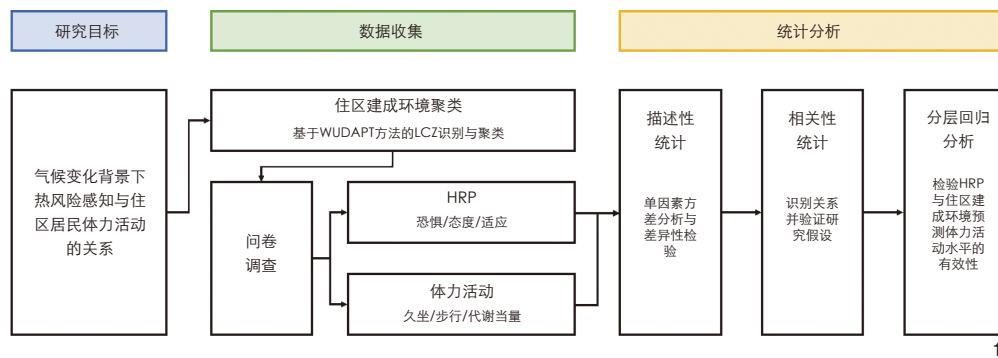
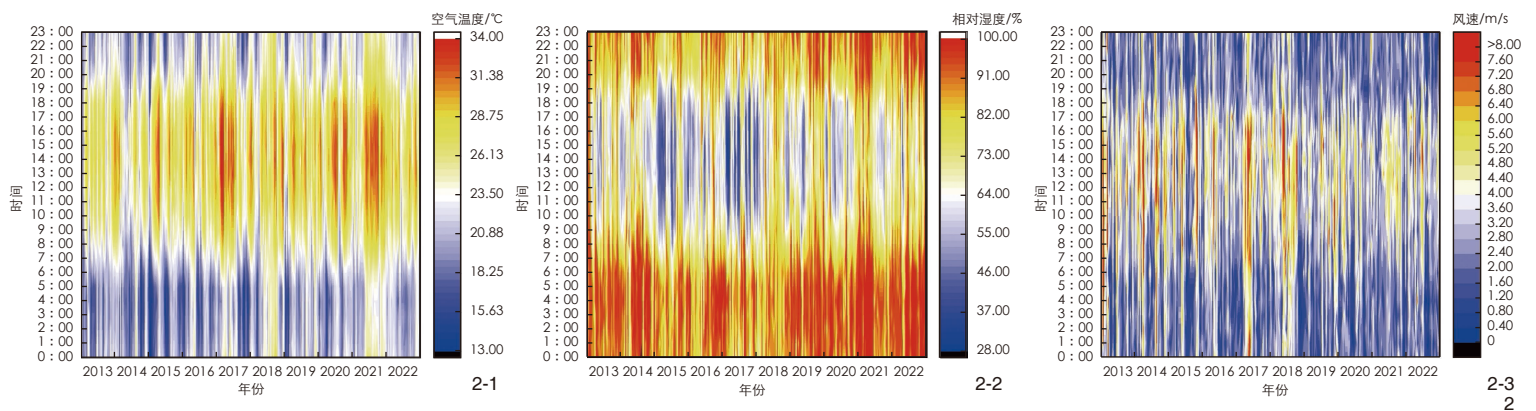
体力活动是指由肌肉收缩所致、需要消耗能量的身体活动, 涵盖了家庭、交通、工作和娱乐等多个领域, 是改善人体健康状况的最重要途径之一^[14]。适宜的建成环境可以改善热环境, 使其较为符合人体生理节律, 从而改善室外安全性和舒适性, 提高居民的外出意愿和体力活动水平^[11]。

HRP 是气候变化风险感知与热感知的交集, 来源于人们在气候变化进程中的热暴露经历, 包括了他们对气候变化与热风险的认识、态度和准备, 反映了居民对潜在威胁的

看法, 以及调整行为的可能性, 会影响居民处理风险的能力和方式^[18]。HRP 不仅受到热浪等气候变化事件的影响, 也受到热敏感性建成环境因素的影响, 致使人们对气候环境潜在威胁的认识和应对方式不同^[18-19]。

1.2 研究假设

建成环境对体力活动的影响通常需要经历一系列心理过程。知觉行为理论指出, 居民通常会根据自己掌握的资源与机会预估自身对行为后果的控制程度。因此建成环境对体力活动的支持作用受到感知的调节干预^[20], 揭示行为决策的潜在感知因素有助于进一步解释建成环境如何改善居民的体力活动水平。基于自我效能感、知觉行为和计划行为理论的研究, HRP 与建成环境因素和行为决策有关^[20-21], 但尚未证实 HRP 是否也会影响体力活动。基于以上认识, 本研究提出一系列待验证的关系假设, 以探究当地气候变化以及住区热环境的 HRP 如何影响建成环境与体力活动之间的关系: 1) 不同热敏感性的住区建成环境中, 居民的 HRP 和体力活动水平存在差异; 2) HRP 可以显著影响居民的体力活动水平; 3) HRP 有助于提高住区建成环境与体力活动模型的准确性。



1 研究框架
Research framework
2 哈尔滨在 2013—2023 年 6—8 月间的空气温度 (2-1)、相对湿度 (2-2)、风速 (2-3) 的历史变化
Historical climate changes in air temperature (2-1), relative humidity (2-2) and wind speed (2-3) in Harbin from June to August of 2013–2023

2 研究方法

本研究以哈尔滨市建成区为研究区域,采用探索性研究设计和定量分析方法,探讨哈尔滨住区中居民 HRP 和体力活动的关系。研究流程如下:首先,以 LCZ 作为建成环境热敏感性特征的识别与分类依据,采用世界城市数据库和访问门户工具 (World Urban Database and Access Portal Tools, WUDAPT) 获取哈尔滨住区的 LCZ 分类结果^[22-23];其次,构建 HRP 与体力活动的调查问卷,在不同 LCZ 类型的住区中收集数据;最后,分析不同类型住区中居民 HRP 和体力活动水平的关系 (图 1)。

2.1 研究区域

哈尔滨是中国东北地区重要的中心城市,是中国严寒地区最具代表性的城市之一^[24]。根据黑龙江省气象数据中心地面自动站 2013—2022 年的数据,哈尔滨正处于气候变化进程中,夏季 (6—8 月) 平均气温上升了 5.2℃,单日最高气温达到 35.2℃,并伴有相对湿度和风速的降低 (图 2)。同时,为了应对严寒的冬季气候,当地城市规划采用了更易于获取热量的建筑布局 and 保温性能更好的建筑构

造措施,容易导致这些空间在夏季过热^[24]。此外,高纬度地区的居民对夏季高温的耐受性相对较差^[25],这种人口特征与缓发的气候变暖特征交织在一起,使在该地区的研究更容易发现具有高度差异化 HRP 水平的居民样本^[21]。因此本研究选取哈尔滨作为研究区域,更有助于揭示 HRP 与体力活动的关系。

2.2 住区建成环境聚类与 LCZ 识别

住区不仅承载了居民的体力活动,也为他们提供了最基本的庇护所,当居民认为室外热风险较高时,可以相对自由地选择是否外出或停留在自家住宅中,而这是其他类型的城市空间和建筑环境无法提供的。同时,住区形态具有长期稳定性,不同类型的住区间热暴露条件的差异长期存在。因此,本研究以住区作为基本研究单元。

LCZ 是一种快速识别具有不同气候敏感性空间单元的聚类方法,根据地表建筑物高度、间距、材料、透水率、几何形状和天空可视因子等城市形态指标,将城市空间分为 17 种类型^[26]。有研究表明,不同类型 LCZ 对热环境的调节能力不同,其中的热暴露条件存在明显差异^[26-28]。因此本研究将住区 LCZ 类

型作为居民在居住过程中长期热暴露差异的表征指标和分类变量。

WUDAPT 可以为访问者提供免费生成目标城市 LCZ 地图数据的服务^[22-23]。本研究将多个 Landsat 8 遥感图像用于城市分类,在 Google earth 平台确定目标区域范围;之后进行裁剪和重新采样,根据土地覆盖矢量数据和 LCZ 分类标准确定哈尔滨各住区中建筑、植被、不透水下垫面等形态参数,在 SAGA GIS 中对训练样本进行分类;最后,提交训练区域文件并在线生成哈尔滨 LCZ 分类结果 (图 3)。LCZ 聚类的空间分辨率参考了 Aslam 等^[17]的研究,设置为系统默认的 100 m,以便获取差异化的 HRP 结果。

2.3 问卷变量设置

本研究采用问卷调查的方式获取哈尔滨各类 LCZ 的住区居民的 HRP 指标与体力活动数据。首先,通过文献综述获取气候风险感知研究中常用的指标。在 Web of Science 和 Scopus 数据库中搜索相关的文献,对其中使用的感知维度和指标进行审查,以确定适用于环境和行为研究的常用指标并归类。最终确定 3 个维度的 10 个 HRP 指标 (表 1),包

括对气候变化过程中极端温度事件的恐惧维度（3个指标）、态度维度（4个指标）以及适应维度（3个指标）。其中，恐惧会迫使居民采取措施来降低风险^[29]；态度则表明了居民是否认同风险真实存在，以及采取措施的必要性和可能性^[30]；适应则表现为对自身或家庭适应能力的主观认识，反映了人们掌握的适应性资源和机会，以及对风险后果的预估^[31]。HRP 的所有指标均以 1~4 级量表测量。

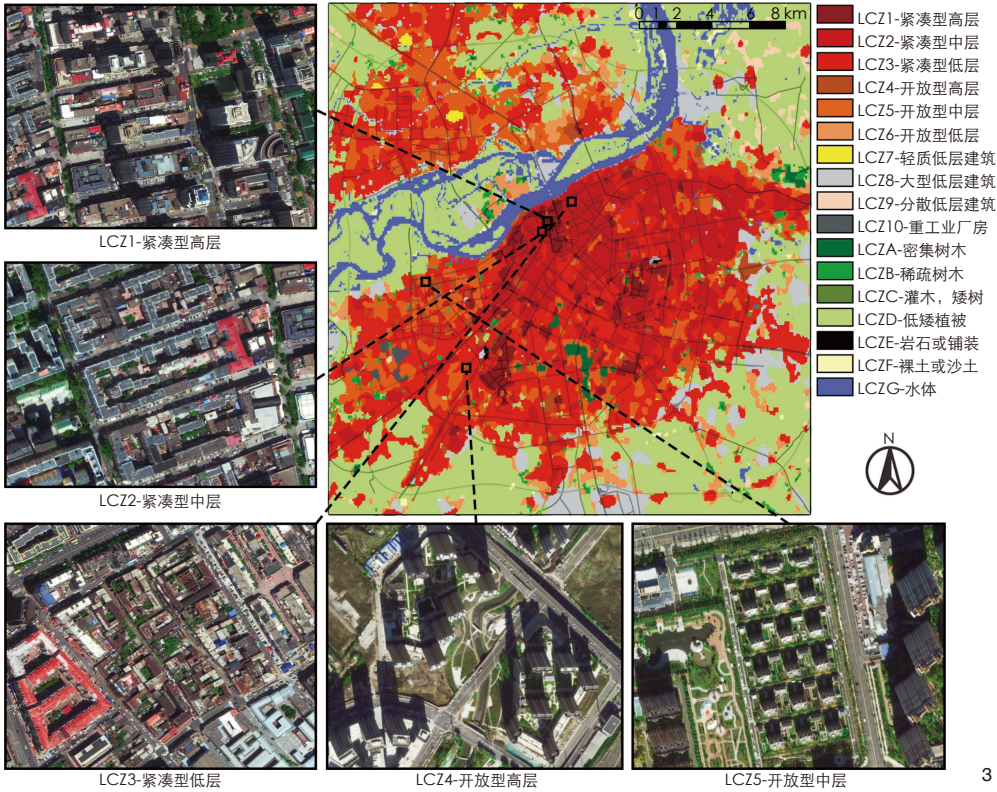
其次，体力活动问卷条目参考了国际体力活动问卷（international physical activity questionnaire, IPAQ）的短问卷^[31]，包括室内久坐时长、室外步行时长和体力活动强度 3 种体力活动指标。其中体力活动强度由每周代谢当量来表征，即不同类型活动的代谢率×单次用时×周频率，并将各类体力活动代谢当量求和并归一化处理后用于 SPSS 统计分析。

此外，本研究也调查了样本人口与社会经济因素，包括年龄、性别（男性取值为 0，女性取值为 1）、受教育程度、经济收入、在本地生活的时长、是否有极端天气事件的经历（未经历过取值为 0，经历过取值为 1）等。

2.4 问卷发放与回收

依据 LCZ 的分类结果定量表征住区建成环境中的热风险特征差异。剔除了哈尔滨建成区（环城高速范围内）非居住用地的区域，并计算其中各 LCZ 住区的占地面积，按比例可排序为：LCZ2（33.27%）>LCZ3（21.20%）>LCZ5（18.19%）>LCZ4（12.76%）>LCZ1（11.15%）>LCZ6（3.11%）>LCZ9（0.32%）。由于 LCZ1~LCZ5 住区约占调查范围内住区总数的 97%，因此将这 5 类社区及其中居民作为研究对象。

于 2023 年 7 月间进行问卷调查，因为相比于严寒的冬季，夏季更易观测到哈尔滨居民的体力活动，同时寒地居民在夏季对高温更加敏感，HRP 的差异及影响更为突出。在 5 类 LCZ 住区混合分布的区域开展偶遇抽样和家庭问卷调查，共调查了 52 个住区，收集有效问卷 370 份，每类住区中的有效问卷不少于 65 份。范围内住区居民兼具了不同的人口与社会经济特征，日常活动特点多样，具有一定的代表性。居民样本基本符合哈尔滨市



3 哈尔滨主城区 LCZ 分类结果
LCZ classification results of the main urban area of Harbin

表1 HRP 问卷的维度与指标^[11, 17, 20, 29-34]
Tab. 1 Dimensions and indicators of HRP questionnaire^[11, 17, 20, 29-34]

假设	维度	指标编号	指标含义
负向	恐惧 ^[29]	Fr1	对现阶段气候变化以及热浪等极端天气事件的恐惧程度 ^[29]
		Fr2	产生对气候变化以及热浪等极端天气事件的恐惧/担心情绪的频率 ^[32]
		Fr3	对未来气候变化进程的恐惧/担心程度 ^[17]
	态度 ^[30]	Rc1	认同气候变化对自己生活产生负面影响的程度 ^[30]
		Rc2	认同未来气候变化会持续下去的程度 ^[33]
		Pa1	认为自己很关注气候变化 ^[34]
正向	适应 ^[31]	Pa2	认为气候变化相关报道越来越多 ^[34]
		Ad1	认为自己和家人有能力应对气候变化 ^[30]
		Ad2	认为自己和家人为应对气候变化做好了准备 ^[30]
		CF	认为自己所在住区的气候条件很舒适 ^[11]

的社会经济特征^[31]；就受教育程度而言，大多数样本具有高等学历；是否经历过极端天气事件的样本人群比例比较接近。

2.5 统计分析

首先，通过频率分析和描述性统计（平均值和标准差）的方法评估了受访者的入口与社会经济特征。其次，使用单因素方差分析（ANOVA）评估各类 LCZ 住区中居民 HRP 与体力活动的差异。再次，采用 Pearson 相关

检验评估了住区类型、HRP 与体力活动的相关关系。最后，采用 OLS 分层回归的方法评估住区类型、居民 HRP 与体力活动之间的关系。

OLS 是一种用于评估因变量和多个自变量之间关系的建模方法，需要将多层级的自变量逐步引入 OLS 模型，最后再将研究的核心变量引入模型，以考察在排除了其他变量贡献的情况下，该变量对回归方程的贡献。本研究中的因变量是 3 种体力活动指标，自

表2 住区类型的哑变量设置
Tab. 2 Dummy variable settings for residential area types

住区类型	哑变量			
	Lcz1	Lcz2	Lcz3	Lcz4
LCZ1	1	0	0	0
LCZ2	0	1	0	0
LCZ3	0	0	1	0
LCZ4	0	0	0	1
LCZ5	0	0	0	0

变量包括人口与社会经济因素、住区类型和 HRP，分 3 个层级逐步引入模型，共生成 9 个模型，Model 1、4、7 中仅包含人口与社会经济因素，在此基础上，在 Model 2、5、8 中引入住区类型，最后在 Model 3、6、9 中进一步引入 HRP。其中，HRP 是核心自变量，如果在引入 HRP 后模型显著性明显提高，就可以认为 HRP 确实具有其他变量不能替代的独特作用。这种方法常用于变量间关系的探索性检验，尤其是当自变量之间有较高的相关性，其中一个自变量的独特贡献难以确定时。

住区类型则设置为哑变量进行回归，即将住区 LCZ 类型量化为二分类变量，取值为 0 或 1。将 5 种 LCZ 类型拆分为 4 个哑变量 Lcz1~Lcz4，并选择 LCZ5 作为对照，以避免共线性现象（表 2）。

3 结果分析

3.1 描述性统计

方差分析的结果表明，所有 HRP 指标与体力活动指标均达到统计学显著水平（ $p < 0.05$ ，表 3、4）。在各 LCZ 类型的住区中，居民的 HRP 水平存在显著差异。整体而言，HRP 在恐惧维度以及适应维度中的 Ad1、Ad2 指标在 LCZ1~5 中均呈现出递增或递减的趋势。其中，恐惧维度中的所有指标在 LCZ1 中整体最高，在 LCZ5 中最低；适应维度中的 Ad1、Ad2 则相反。此外，Fr2 在各类感知指标中差异性最弱，CF 的差异性最强。总而言之，居民的 HRP 受住区类型的影响。

不同 LCZ 的住区中，居民的体力活动水平也存在显著差异（表 4）。整体而言，LCZ1 中居民的每天久坐时间更长，接近 5 h，而

表3 HRP 的单因素方差分析结果
Tab. 3 Results of one-way ANOVA for HRP

HRP 维度	HRP 指标	平均数 ± 标准差					F 值	p 值
		LCZ1	LCZ2	LCZ3	LCZ4	LCZ5		
恐惧	Fr1	2.981 ± 0.310	2.948 ± 0.510	2.829 ± 0.790	2.154 ± 0.537	1.561 ± 0.963	56.174	0
	Fr2	2.906 ± 0.405	2.610 ± 0.691	2.610 ± 0.803	2.662 ± 0.668	2.167 ± 0.514	10.019	0.017
	Fr3	3.868 ± 0.556	2.558 ± 0.659	3.000 ± 1.118	2.646 ± 0.623	2.121 ± 0.373	42.820	0
态度	Rc1	2.981 ± 0.137	2.935 ± 0.296	2.943 ± 0.477	2.862 ± 0.390	2.318 ± 0.559	30.452	0.003
	Rc2	3.000 ± 0.340	3.091 ± 0.542	3.667 ± 0.599	2.969 ± 0.394	2.439 ± 0.747	51.751	0
	Pa1	3.925 ± 0.385	3.468 ± 0.804	2.743 ± 0.665	2.846 ± 0.537	2.273 ± 0.542	67.794	0
	Pa2	1.981 ± 0.239	1.234 ± 0.535	1.324 ± 0.643	3.231 ± 1.196	3.212 ± 1.283	97.040	0
适应	Ad1	1.075 ± 0.331	2.052 ± 0.484	2.676 ± 0.658	2.831 ± 0.453	3.470 ± 0.881	133.499	0
	Ad2	1.113 ± 0.467	1.403 ± 0.693	2.181 ± 0.704	2.785 ± 0.649	3.439 ± 0.994	111.339	0
	CF	1.094 ± 0.405	1.974 ± 1.337	3.724 ± 0.860	3.354 ± 0.648	3.212 ± 0.691	105.763	0

表4 体力活动的单因素方差分析结果
Tab. 4 Results of one-way ANOVA for physical activity

体力活动类型	平均数 ± 标准差					F 值	p 值
	LCZ1	LCZ2	LCZ3	LCZ4	LCZ5		
步行时长	1.943 ± 0.233	3.182 ± 1.200	2.486 ± 0.962	2.077 ± 0.594	3.561 ± 0.994	38.779	0
久坐时长	4.962 ± 0.192	2.883 ± 1.367	2.829 ± 1.326	4.585 ± 0.983	2.379 ± 0.739	73.227	0
代谢当量	0.059 ± 0.007	0.070 ± 0.018	0.284 ± 0.131	0.139 ± 0.066	0.250 ± 0.066	48.158	0

LCZ5 中最短。LCZ5 中的居民具有更长的室外步行时长，LCZ3 中的居民则具有更高的代谢当量。可见居民的体力活动水平也受住区类型的影响。

3.2 相关性分析

经相关性分析表明，HRP 指标和体力活动水平存在显著相关关系（ $p < 0.01$ ，图 4）。恐惧维度指标与步行时长负相关，与久坐时长的关系较弱，这意味着居民对气候变化的恐惧会削弱他们外出步行的意愿，其中 Fr1 的相关系数高于其他指标，表明影响体力活动的恐惧感知主要来自当前的气候变化特征，而不是未来的气候变化进程。对于态度维度指标，除了 Rc2 与代谢当量存在较强的正相关关系，其他指标与体力活动水平的关系以负向为主。然而，Fr3 和 Rc2 均是对未来的气候变化进程而言，其对代谢当量的正向作用说明了对未来气候变化持消极态度的居民倾向于提高体力活动的强度。对于适应维度指标，Ad1 和 Ad2 均与代谢当量和步行时长正相关，与久坐时长负相关，说明居民对自身适应能力的乐观评估有助于提高体力活动水平，因此有必要帮助公众认识并提高自身的

气候适应能力。

3.3 OLS 分层回归分析及结果

3.3.1 人口与社会经济因素

人口与社会经济因素对体力活动水平具有显著影响。居住时间较长的居民更可能存在长时间久坐和体力活动不足的问题，但较长时间的步行可能会起到一定的补偿作用（表 5）。性别变量（系数为正表明因变量水平在女性样本中较高，为负表明在男性样本中更高）与久坐时长正相关，与步行时长和代谢当量负相关，可见女性受访者的整体体力活动水平较男性稍低。年龄和收入水平更高的群体具有更高的体力活动整体水平。受教育程度则与代谢当量正相关，并与步行时长负相关。在引入住区类型和 HRP 因素后，大多数社会经济因素的影响系数有所下降，主要是因为模型自由度的增加，也可以归结于人口和社会经济因素（尤其是年龄、收入和受教育程度等）与住区类型、HRP 之间的相关性^[3]。

经历过气候变化事件的受访者具有较低的体力活动水平。很多研究也发现了类似的现象，自然灾害的暴露经历会对体力活动产生负面影响^[36-37]。居民在经历过自然灾害后可

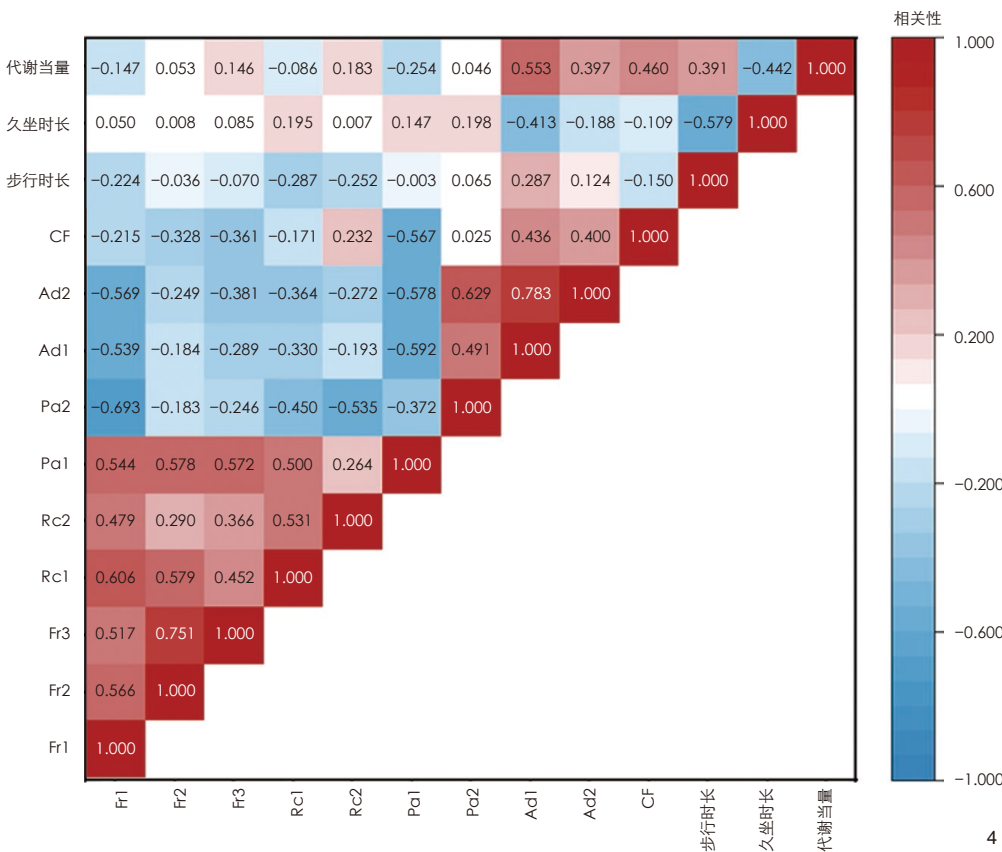
能会产生更多恐惧情绪，并避免室外暴露^[37]。此外，当模型中引入住区类型和 HRP 变量后，暴露经历的相关系数减弱，说明暴露经历与住区类型之间也存在着潜在关系。因此，需要在未来的研究中调查灾害暴露经历是否改变了居民对住宅选址的偏好和自选择行为。总而言之，该结果证实 HRP 受到了居民的暴露经历和人口因素的影响，有助于理解自发适应行为的动因。

3.3.2 住区类型与体力活动的关系

所有的模型在引入住区类型后，拟合度 (R^2) 均有少量的提升 (0.12~0.14, 表 5)。相比之下，哑变量 Lcz1 中的居民具有最高水平的久坐时长，其次是 Lcz4，可见高层住区降低了居民外出活动的意愿。同时，Lcz2 中居民的代谢当量最低，Lcz3 中步行时长最低，主要是因为这两类住区具有较高的建筑密度，加剧了建筑蓄热和人为热排放^[24, 38-39]，不仅缺少开放空间用于自然通风，也缺少高层建筑提供充足的遮阴，因此日间热环境恶化的程度相对更高^[27]，加剧了热风险并降低了居民在室外活动的意愿。此外，在各模型中引入 HRP 因素后，大部分模型中 Lcz1~Lcz4 对体力活动的影响系数均有所降低，说明建成环境对体力活动的部分影响是由 HRP 引起的。仅 Model 6 中 Lcz1 影响系数不降反增，因此该类住区中可能存在与热风险关系较弱的其他因素在限制体力活动水平，需要在未来的研究中结合影响可步行性的其他因素进一步分析。由于 Lcz1~4 对久坐时长的影响系数均为正值，对步行时长和代谢当量的影响系数均为负值，因此 Lcz5 的住区类型更有助于降低恐惧和态度感知水平，提高适应感知水平，从而降低久坐时长、提高步行时长和代谢当量。

3.3.3 HRP 与体力活动的关系

所有模型在引入 HRP 的各维度变量后， R^2 均明显提升，意味着 HRP 是解释体力活动的重要因素 (表 5)。除了 Fr2 和 Pa1 以外，其余变量均在各模型中具有显著性。就恐惧维度而言，Fr1 与室内久坐时长显著正相关，与室外步行时长和代谢当量显著负相关，可见居民对当前热风险的恐惧心理会遏制他们在室外环境的暴露。但 Fr3 则相反，居民对未



4 HRP 与体力活动的 Pearson 相关性分析结果
Results of Pearson correlation analysis of HRP and physical activity

来气候变化进程与热风险的恐惧会提高他们的体力活动水平。该现象可以用人口脆弱性的差异解释，脆弱性较高的群体可能更难以适应当下的热风险，产生恐惧情绪并降低体力活动^[18-19]，但适应能力较强的群体则更倾向于担心未来不确定的热风险，并有能力采取积极的准备。可见居民将体力活动作为一种改善健康储备的自发适应行为，以应对未来的气候变化影响。这进一步说明了 HRP 与体力活动的关系，对不同时间跨度上热风险的恐惧情绪会导致不同的体力活动结果，现阶段的城市规划设计应及时提供适当的热调节与抗风险服务，例如提高住区绿地的质量和可达性^[18]，降低居民对当前气候变化的担忧情绪，并提供充足的体力活动空间与设施，支持居民自发适应气候变化。

态度维度指标均与久坐时长正相关，与步行以及代谢当量负相关，可见对气候变化问题的认识水平和关注程度更高的居民具有较低的体力活动水平。这进一步证实了气候

变化和真实的热风险正在通过影响居民心理和行为决策产生潜在健康风险。由于态度感知也会影响居民在其他方面的自发适应行为^[17-18]，尤其是居民对气候变化的深刻认识会使他们自觉降低生活碳足迹，因此健康城市和低碳城市规划实践不应该片面地以低水平态度感知为导向，而是应该权衡潜在的绩效矛盾，并避免态度感知趋于过高或过低的极端化发展。

在适应维度中，Ad1 和 Ad2 与体力活动水平正相关，自信有能力应对气候变化不良影响的居民具有更高的体力活动水平。这为气候适应性城市与健康城市的发展路径指明了一个值得关注的方向，即通过城市提供环境支持，补偿居民对气候的适应能力，以提高他们的体力活动和健康水平。需要注意，CF 与久坐时间正相关，与步行时间负相关，但与代谢当量正相关，这主要是因为住区中气候条件的舒适性 (尤其是热舒适性) 很大程度上取决于住区空间的热敏感性设计^[41]，

表5 OLS 分层回归模型结果
Tab. 5 Results of OLS layered regression model

层级	自变量	影响系数								
		久坐时长			步行时长			代谢当量		
		Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7	Model 8	Model 9
人口与 社会经济因素	居住时长	-0.281***	-0.072	-0.147	0.311***	0.104	0.165**	-0.098	-0.028	-0.009
	性别	0.046	0.136**	0.100	-0.185***	-0.277***	-0.288***	0.074	-0.040	-0.109*
	受教育程度	-0.078	0.000	-0.005	-0.149**	-0.118**	0.061	0.377***	0.248***	0.033
	年龄	-0.333***	-0.235***	-0.240***	0.045	0.099	0.254***	0.438***	0.264***	0.185***
	收入	-0.081	0.045	0.041	0.210***	0.039	-0.125**	0.110	-0.002	-0.013
	暴露经历	0.305***	-0.199***	0.006	-0.398***	0.320***	0.148**	0.186***	0.320***	0.186***
住区类型 (对照LCZ5)	Lcz1		0.572***	0.540***		-0.463***	-0.671***		-0.164*	0.139
	Lcz2		0.281***	0.129		-0.319**	-0.279**		-0.453***	-0.101
	Lcz3		0.282***	0.112		-0.537***	-0.297***		-0.025	0.070
	Lcz4		0.495***	0.255***		-0.431***	-0.296***		-0.231***	-0.139*
HRP	Fr1			0.122*			-0.221***			-0.114
	Fr2			-0.076			0.035			0.008
	Fr3			-0.240*			0.098			0.252**
	Rc1			0.149*			-0.120 ^c			-0.005
	Rc2			0.099			-0.153**			-0.021
	Pa1			0.028			0.115			0.054
	Pa2			0.317***			0.133			-0.067
	Ad1			-0.267***			0.004			0.399***
	Ad2			-0.165*			0.012			0.154*
	CF			0.257***			-0.360***			0.319***
调整后R ²		0.402	0.542	0.653	0.339	0.463	0.566	0.416	0.540	0.649
F		410.875	440.227	350.332	320.260	290.170	240.764	420.677	410.734	310.941
AIC		840.007	-70.052	-1 180.079	-1 000.634	-1 500.990	-2 560.446	23 580.350	22 810.956	21 830.837

注：*代表显著性水平<0.05，**代表显著性水平<0.01，***代表显著性水平<0.001；空白表示对应的变量尚未被引入模型。

例如住宅附近的绿地能够缓解热风险，并为居民提供可以安全进行高强度体力活动的场所^[12]，也可以减少居民对气候变化的恐惧情绪^[18]。同时，当住区的夏季热舒适性较差时，居民在此间进行高强度体力活动时将面临较高的热风险^[12]，因此需要花费更多的时间、进行较远距离的步行以寻找替代场所，进而导致久坐时长的减少和步行时长的增加。

4 结论

本研究旨在探索住区居民的热风险感知与体力活动的关系，以及住区建成环境在其中的作用。结果表明，居民的热风险感知与体力活动水平在不同 LCZ 类型的住区中均存在差异，开放型中层住区（LCZ5）居民具有最低的恐惧和态度感知水平，适应感知水平和体力活动水平最高；纳入了住区类型和热风险感知的模型对体力活动的解释力更高；建成环境形态、热风险感知、体力活动三者之间存在着复杂的多重关系，态度感知会遏

制体力活动意愿，提高适应感知有助于改善体力活动状况，而对未来的气候变化具有较高恐惧感知的人也具有较高的体力活动水平。本研究通过分析建成环境中热风险感知与体力活动关系，揭示了气候变化的潜在健康风险，以及建成环境的影响，可以为可持续城市发展提供支持和建议。

本研究也存在一些不足之处。住区形态对 HRP 的影响可能会对体力活动产生潜在的中介效应或调节效应。此外，受访者的受教育程度偏高，因为分层抽样的方法旨在获取每类住区中具有代表性的人群特征，难以避免样本特征与住区类型之间的自相关关系，例如居住自选择和住宅阶级差异等现象通常导致具有相近社会背景的人口集中于相似的住区。因此，住区的 LCZ 类型可能与居民的社会经济背景相关，环境与人口的复合脆弱性可能是导致 Rc2、Pa2 等指标在各类住区中复杂变化的原因。可以在未来的研究中为空间行为理论和居住自选择理论模型引入气候

感知因素，以验证这些结构化的影响机制是否真实存在。

参考文献 (References):

[1] ALLEN M, DUBE O P, SOLECKI W, et al. Intergovernmental Panel on Climate Change. Global Warming of 1.5 °C[EB/OL]. (2018) [2024-03-11]. <http://www.ipcc.ch/report/sr15/>.
[2] WATTS N, AMANN M, AYEB-KARLSSON S, et al. The Lancet Countdown on Health and Climate Change: From 25 Years of Inaction to a Global Transformation for Public Health[J]. The Lancet, 2018, 391 (10120): 581-630.
[3] 袁青, 孟久琦, 冷红. 气候变化健康风险的城市空间影响及规划干预[J]. 城市规划, 2021, 45 (3): 71-80.
YUAN Q, MENG J Q, LENG H. Urban Spatial Impacts on Residents' Health Risk Caused by Climate Change and Planning Intervention[J]. City Planning Review, 2021, 45 (3): 71-80.
[4] SANEINEJAD S, ROORDA MJ, KENNEDY C. Modelling the Impact of Weather Conditions on Active Transportation Travel Behaviour[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2012, 17 (2): 129-137.
[5] TU L, MARZOUK S, DOWDELL K N, et al. Reimagining Urban Spaces: Green Spaces, Obesity, and Health Resilience in an Era of Extreme Heat[J/OL]. Journal of Urban Health, 2024: 38441853[2024-03-12]. <https://doi.org/>

10.1007/s11524-024-00834-2.

[6] HUANG Z L, DONG J Y, CHEN Z R, et al. Spatiotemporal Characteristics of Public Recreational Activity in Urban Green Space Under Summer Heat[J]. *Forests*, 2022, 13 (8): 1268.

[7] 刘珂秀, 马椿栋, 陈威, 等.面向小气候热舒适性的滨水景观规划设计探索[J].*风景园林*, 2020, 27 (11): 104-109.

LIU K X, MA C D, CHEN W, et al. Exploration of Waterfront Landscape Planning and Design for Thermal Comfort in Microclimate[J]. *Landscape Architecture*, 2020, 27 (11): 104-109.

[8] 苏王新, 常青.城市热缓解的基于自然的解决方案与实施路径: 以北京市为例[J].*风景园林*, 2022, 29 (6): 26-32.
SU W X, CHANG Q. Nature-Based Solutions for Urban Heat Mitigation and Implementation Path Thereof: A Case Study of Beijing[J]. *Landscape Architecture*, 2022, 29 (6): 26-32.

[9] 游晓婕, 李琼, 孟庆林.城市热岛空间格局及形态差异化调控策略研究: 以广州市中心城区为例[J].*风景园林*, 2021, 28 (5): 74-79.

YOU X J, LI Q, MENG Q L. Research on Spatial Patterns and Morphological Differentiation Control Strategy of Urban Heat Islands: A Case Study of Downtown Area of Guangzhou City[J]. *Landscape Architecture*, 2021, 28 (5): 74-79.

[10] 李丹宁, 刘东云, 王鑫.缓解城市热岛效应的硬质景观设计方法研究综述[J].*风景园林*, 2022, 29 (8): 71-78.

LI D N, LIU D Y, WANG X. A Review of Research on Hard Landscape Design Methods to Mitigate Urban Heat Island Effect[J]. *Landscape Architecture*, 2022, 29 (8): 71-78.

[11] MA X Y, TIAN Y, DU M, et al. How to Design Comfortable Open Spaces for the Elderly? Implications of Their Thermal Perceptions in an Urban Park[J]. *Science of The Total Environment*, 2021, 768: 144985.

[12] NIU J Q, XIONG J P, QIN H Q, et al. Influence of Thermal Comfort of Green Spaces on Physical Activity: Empirical Study in an Urban Park in Chongqing, China[J]. *Building and Environment*, 2022, 219: 109168.

[13] WONG-PARODI G, GARFIN D R. Hurricane Adaptation Behaviors in Texas and Florida: Exploring the Roles of Negative Personal Experience and Subjective Attribution to Climate Change[J]. *Environmental Research Letters*, 2022, 17 (3): 034033.

[14] STÅHL T, RÜTTEN A, NUTBEAM D, et al. The Importance of the Social Environment for Physically Active Lifestyle: Results from an International Study[J]. *Social Science & Medicine*, 2001, 52 (1): 1-10.

[15] RENN O. Risk Governance: Coping with Uncertainty in a Complex World[M]. London: Routledge, 2017.

[16] RANA I A, JAMSHED A, YOUNAS Z I, et al. Characterizing Flood Risk Perception in Urban Communities of Pakistan[J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2020, 46: 101624.

[17] ASLAM A, RANA I A. Impact of the Built Environment on Climate Change Risk Perception and Psychological Distancing: Empirical Evidence from Islamabad, Pakistan[J]. *Environmental Science & Policy*, 2022, 127: 228-240.

[18] YAZAR M, YORK A, LARSON K L. Adaptation, Exposure, and Politics: Local Extreme Heat and Global Climate Change Risk Perceptions in the Phoenix

Metropolitan Region, USA[J]. *Cities*, 2022, 127: 103763.

[19] HASS A L, RUNKLE J D, SUGG M M. The Driving Influences of Human Perception to Extreme Heat: A Scoping Review[J]. *Environmental Research*, 2021, 197: 111173.

[20] DHAR T, BORNSTEIN L, LIZARRALDE G, et al. Risk Perception: A Lens for Understanding Adaptive Behaviour in the Age of Climate Change? Narratives from the Global South[J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2023, 95: 103886.

[21] GROULX M, LEWIS J, LEMIEUX C, et al. Place-Based Climate Change Adaptation: A Critical Case Study of Climate Change Messaging and Collective Action in Churchill, Manitoba[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 132: 136-147.

[22] BECHTEL B, ALEXANDER P J, BÖHNER J, et al. Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities[J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2015, 4 (1): 199-219.

[23] BECHTEL B, ALEXANDER P J, BECK C, et al. Generating WUDAPT Level 0 Data: Current Status of Production and Evaluation[J]. *Urban Climate*, 2019, 27: 24-45.

[24] CAO J L, MAO R, NING H R, et al. Exploring the Natural Ventilation Potential for Supertall Buildings Considering Vertical Meteorology: A Case Study in Harbin, China[J]. *Applied Thermal Engineering*, 2024, 239: 122163.

[25] LIN Y F, YANG L, LUO M H. Physiological and Subjective Thermal Responses to Heat Exposure in Northern and Southern Chinese People[J]. *Building Simulation*, 2021, 14: 1619-1631.

[26] 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.

[27] LIU A W, MA X Y, DU M, et al. The Cooling Intensity of Green Infrastructure in Local Climate Zones: A Comparative Study in China's Cold Region[J]. *Urban Climate*, 2023, 51: 101631.

[28] MA L, HUANG G A, JOHNSON B A, et al. Investigating Urban Heat-Related Health Risks Based on Local Climate Zones: A Case Study of Changzhou in China[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2023, 91: 104402.

[29] RANA I A, ROUTRAY J K. Actual Vis-À-Vis Perceived Risk of Flood Prone Urban Communities in Pakistan[J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2016, 19: 366-378.

[30] HO M C, SHAW D, LIN S, et al. How Do Disaster Characteristics Influence Risk Perception?[J]. *Risk Analysis: An International Journal*, 2008, 28 (3): 635-643.

[31] 董慰, 王乃迪, 董禹, 等.日常活动地绿地感知与居民主观幸福感的关系: 以哈尔滨香坊老工业区为例[J].*风景园林*, 2021, 28 (5): 23-29.

DONG W, WANG N D, DONG Y, et al. Relationship Between Perception of Green Space and Subjective Well-Being of Residents in Different Venues of Daily Activities: A Case Study of Xiangfang Old Industrial Area in Harbin[J]. *Landscape Architecture*, 2021, 28 (5): 23-29.

[32] GILBERT C, LACHLAN K. The Climate Change Risk Perception Model in The United States: A Replication Study[J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2023, 86: 101969.

[33] MCDONALD R I, CHAI H Y, NEWELL B R. Personal

Experience and the "Psychological Distance" of Climate Change: An Integrative Review[J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2015, 44: 109-118.

[34] SULLIVAN-WILEY K A, GIANOTTI A G S. Risk Perception in a Multi-hazard Environment[J]. *World Development*, 2017, 97: 138-152.

[35] MCLOUGHLIN N. Communicating Adaptation: Using Psychological Insights to Facilitate Adaptive Responses to Climate Change Impacts[D]. Avon: University of Bath, 2021.

[36] BELL S A, CHOI H J, LANGA K M, et al. Health Risk Behaviors After Disaster Exposure Among Older Adults[J]. *Prehospital and Disaster Medicine*, 2019, 34 (1): 95-97.

[37] LAI B S, LA GRECA A M, LLABRE M M. Children's Sedentary Activity After Hurricane Exposure[J]. *Psychological Trauma: Theory, Research, Practice, and Policy*, 2014, 6 (3): 280.

[38] BADARO-SALIBA N, ADJIZIAN-GERARD J, ZAAROUR R, et al. LCZ Scheme for Assessing Urban Heat Island Intensity in a Complex Urban Area (Beirut, Lebanon)[J]. *Urban Climate*, 2021, 37: 100846.

[39] YANG H O, LENG Q M, XIAO Y F, et al. Investigating the Impact of Urban Landscape Composition and Configuration on PM_{2.5} Concentration Under the LCZ Scheme: A Case Study in Nanchang, China[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2022, 84: 104006.

图表来源(Sources of Figures and Tables):

文中图表均由作者绘制, 图 3 的地图底图均来自百度地图 (2023)。

(编辑 / 项曦)

作者简介:

董慰 / 女 / 博士 / 哈尔滨工业大学建筑与设计学院教授、副院长 / 自然资源部寒地国土空间规划与生态保护修复重点实验室成员 / 研究方向为城市设计理论与方法

姜润声 / 男 / 哈尔滨工业大学建筑与设计学院在读博士研究生 / 自然资源部寒地国土空间规划与生态保护修复重点实验室成员 / 研究方向为城市气候适应性可持续规划

董禹 / 男 / 博士 / 哈尔滨工业大学建筑与设计学院副教授、博士生导师 / 自然资源部寒地国土空间规划与生态保护修复重点实验室成员 / 研究方向为低碳城市、社区生活圈、健康城市、国家公园与自然保护地
通信作者邮箱: dongyu@hit.edu.cn

裴溟涵 / 男 / 哈尔滨工业大学建筑与设计学院在读硕士研究生 / 自然资源部寒地国土空间规划与生态保护修复重点实验室成员 / 研究方向为建成环境与居民感知、居民行为

DONG W, JIANG R S, DONG Y, PEI M H. Relationship Between Heat Risk Perception and Physical Activity of Residents in the Context of Climate Change[J]. Landscape Architecture, 2024, 31(4): 21-28. DOI: 10.3724/j.fjyl.202310050447.

Relationship Between Heat Risk Perception and Physical Activity of Residents in the Context of Climate Change

DONG Wei, JIANG Runsheng, DONG Yu*, PEI Minghan

Abstract:

[Objective] As climate change and global warming continue to intensify, it is crucial to understand how appropriate urban built environments can mitigate the adverse effects of climate change stress and heat risk. However, less attention has been paid to the role of individual perception and behavior in response to climate change. Research has identified a set of psychological factors that dominate the process of decision-making in the face of climate change and heat risk, known as climate change and heat risk perception (HRP). Nevertheless, there is a lack of research exploring how urban residents' perception of heat risk in the context of climate change might affect their physical activity in the built environment.

[Methods] To address the aforesaid research gap, this research focuses on the residential areas in Harbin's built-up area. The World Urban Database and Access Portal Tools (WUDAPT) method is used to identify the LCZ types within these areas. A stratified sampling approach is then employed in five typical residential areas to gather data through questionnaire surveys. These surveys mainly collect information on residents' HRP and physical activity levels, aiming to understand the differences and relationships between HRP levels in the dimensions of "fear", "attitude" and "adaptation" and physical activity levels across residential areas with different LCZ types.

[Results] 1) This research suggests that HRP is indeed related to physical activity level. It is found that fear and attitude perceptions can reduce physical activity level, while adaptation perception can improve physical activity level. Additionally, HRP can significantly improve the accuracy of the built environment and physical activity model. Residents in residential areas with open layout and moderate density exhibit the lowest fear and attitude perceptions, as well as the highest adaptation perceptions and physical activity levels. 2) This research provides valuable insights into the indirect impacts of climate change and the built environment on residents' health through the lens of risk perception. It highlights the importance of considering psychological factors such as HRP in urban climate governance and healthy urban planning. By understanding how individuals perceive and respond to climate change and heat risk, urban planners and policymakers can better design built environments that encourage physical activity and mitigate the negative health impacts of climate change. 3) The research underscores the need for further research on the complex interplay between climate change, the built environment, and human health. As the climate continues to change, it is essential to understand how individuals

perceive and adapt to these changes and how urban environments can be designed to support healthy lifestyles. 4) This research can inform policies and interventions that promote physical activity and enhance the well-being of urban residents in the face of climate change. In conclusion, climate change and its associated heat risks pose significant challenges to human health, particularly in urban areas. Understanding the role of individual perception and behavior in response to climate change and heat risk is crucial for developing effective strategies to mitigate the negative health impacts of climate change. By considering psychological factors such as HRP in urban planning and design, urban environments can be better equipped to support physical activity and promote the well-being of residents.

[Conclusion] This research serves as a valuable contribution to the future literature on climate change, the built environment, and human health. It highlights the importance of integrating psychological factors into urban climate governance and healthy urban planning. As the world continues to grapple with the challenges of climate change, this research underscores the need for interdisciplinary approaches that consider the complex interactions between the environment, human behavior, and health outcomes. Ultimately, addressing the risks posed by climate change and creating healthy urban environments requires a comprehensive understanding of the social, psychological, and environmental factors at play. By referring the insights provided by this research, urban planners and policymakers can work towards creating built environments that are resilient to climate change.

Keywords: landscape architecture; built environment; physical activity; heat risk perception; Harbin

Authors:

DONG Wei, Ph.D., is a professor in and vice dean of the School of Architecture and Design, Harbin Institute of Technology, and a member of the Key Laboratory of Territorial Spatial Planning and Ecological Protection and Restoration in Cold Regions, Ministry of Natural Resources. Her research focuses on theory and method of urban design.

JIANG Runsheng is a Ph.D. candidate in the School of Architecture and Design, Harbin Institute of Technology, and a member of the Key Laboratory of Territorial Spatial Planning and Ecological Protection and Restoration in Cold Regions, Ministry of Natural Resources. His research focuses on urban climate adaptability and sustainable planning.

DONG Yu, Ph.D., is an associate professor and doctoral supervisor in the School of Architecture and Design, Harbin Institute of Technology, and a member of the Key Laboratory of Territorial Spatial Planning and Ecological Protection and Restoration in Cold Regions, Ministry of Natural Resources. His research focuses on low carbon city, community life circle, healthy city, national park, and protected area.

Corresponding author Email: dongyu@hit.edu.cn

PEI Minghan is a master student in the School of Architecture and Design, Harbin Institute of Technology, and a member of the Key Laboratory of Territorial Spatial Planning and Ecological Protection and Restoration in Cold Regions, Ministry of Natural Resources. His research focuses on built environment, residents' perception, and residents' behavior.