

山地城市公园冷岛效应的影响研究 ——以重庆主城区公园为例

The Influence of the Cool-island Effects on Urban Parks in Mountainous Cities: A Case Study of Chongqing

胡瑶瑶¹ 谭少华^{1,2*} 杨 春¹
HU Yaoyao¹ TAN Shaohua^{1,2*} YANG Chun¹

(1. 重庆大学建筑城规学院, 重庆 400044; 2. 山地城镇建设与新技术教育部重点实验室, 重庆 400044)
(1. School of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing, China, 400044; 2. Key Laboratory of Mountain Town Construction and New Technology, Ministry of Education, Chongqing, China, 400044)

文章编号: 1000-0283(2022)07-0115-11
DOI: 10. 12193/j. laing. 2022. 07. 0115. 014
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2021-08-09
修回日期: 2022-05-31

摘 要

公园作为城市建成环境中的重要降温冷源, 对改善城市热岛问题具有重要作用。为揭示外部环境对公园冷岛效应扩散的影响, 以重庆市主城区三个公园为例, 采用ENVI反演周边地表温度, 分析外部环境要素对公园冷岛效应扩散的影响。结果表明:(1)三个公园降温效应差异明显, 花卉园降温效应(2.174℃)>沙坪公园(1.442℃)>大学城中央公园(0.631℃);(2)外部建筑形态和用地功能是影响公园冷岛效应扩散的主要因素, 其中建筑围合形态产生的“风墙”对公园冷岛效应扩散具有明显阻碍影响, 而大规模不透水下垫面会制约冷岛扩散方向。

关键词

城市公园; 冷岛效应; 地表温度; 影响范围; 山地城市

Abstract

As an important cooling source in the urban built environment, the park plays an important role in improving urban heat islands (UHI). In order to reveal the influence of the external environment on the diffusion of the cold-island effect, three parks in the main urban area of Chongqing City were taken as examples. ENVI was used to retrieve the surrounding land surface temperature, and the effects of external environment elements on the diffusion of the cold island effect were analyzed. The results showed as follows: (1) The cold-island intensity of Chongqing Flower Garden (2.174℃) > Shaping Park (1.442℃) > Central Park of University Town (0.631℃). (2) The architecture form and the function layout of the park surrounding is a significant role to the proliferation of cold island effect. The effect is obvious that “the wind wall” of the building hinders the diffusion of the park’s cold-island effect, and the large-scale impervious surface is spread in the direction of the important factors restricting the cold island.

Keywords

urban park; cool-island effects; land surface temperature; sphere of influence; mountainous cities

胡瑶瑶

1994年生/女/湖南浏阳人/在读硕士研究生/研究方向为建成环境与人群健康

谭少华

1963年生/男/湖南邵阳人/博士/教授, 博士生导师/研究方向为建成环境与人群健康

杨 春

1990年生/男/四川遂宁人/在读博士研究生/研究方向为建成环境与人群健康、公园恢复性环境、健康城市化

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: 541876355@qq.com

过去30年中国快速城市化进程带来了建成区规模的持续扩张, 城市生态地表被大面积改造为人工硬质地表, 加之人口高密度聚集带来的能源消耗加大, 使我国部分大城市面临严峻的城市热岛问题。大量研究证实, 持续恶化的热岛问题会直接引发居民热死亡、呼吸系统疾病和焦虑情绪等身心健康问题,

因此如何缓解城市热岛问题, 改善热环境舒适性受到了各学科的普遍关注。现有研究证据表明改善城市热环境舒适性的有效途径可以从能效提升与营建蓝绿基础设施两方面展开。一方面, 热环境与建筑能耗变化密切相关^[1], 通过建筑节能减排和通风廊道设计等能效提升途径可以明显改善建筑



图1 研究区区位图(重庆主城区九区)
Fig. 1 Location map of the study area

热环境舒适性；另一方面，城市绿化植被和水体等蓝绿基础设施具有明显的降温效果^[2]，例如水体的面积大小与几何形状会改变周边环境温度^[3]，植被通过阴影和蒸发减少热辐射的吸收与储存^[4]。相较于节能减排的能效提升途径，构建蓝绿基础设施具有经济、高效等显著优势^[5-7]，已成为大多城市缓解城市热岛效应的重要途径之一^[8-9]。

以绿化植被、水体和开敞空间为主的公园是城市热环境中的重要“冷岛”区域，能够显著降低周围热环境温度。当前，国内外有关公园冷岛效应的研究主要集中在公园冷

源强度、降温效应及其影响范围, 关注公园内部环境要素^[10]、属性特征条件^[11] (结构、数量、面积、几何关系等) 与自然条件^[12] (不同区域、气候、季节等) 对冷源强度的影响, 认为公园类型、规模、植被数量和面积大小等自身内部特征要素与降温效果密切相关。

综上所述,有关公园冷岛效应的研究多集中在公园冷源强度及其自身内部特征要素影响,虽然部分学者也认识到城市公园冷岛效应还与冷源扩散的外部环境密切相关,但是关于公园冷源如何扩散明显缺乏关注,如何通过外部空间环境的布局实现公园冷源的

传播与扩散成为未来亟待重视和研究的内容。加之山地城市由于复杂的地形条件与城市高密度发展,使其城市空间对于冷源传播与扩散更具有复杂性。基于此,研究以重庆市主城区三个公园为例,采用ENM反演周边地表温度,分析外部地表形态、建筑形态和用地功能因素对公园冷岛效应扩散的影响。研究针对山地城市公园规划、布局及选址,特别是城市新区城市公园及周边用地功能规划与优化局部城市热环境提供了一定的合理建议。

1 研究对象

1.1 试验区概况

重庆主城区位于东经 $106^{\circ}43'-106^{\circ}60'$ 之间,属亚热带季风性湿润气候,年平均气温 $16\sim 18^{\circ}\text{C}$,季节温度差异较大;主城区包含了重庆最早建设的区域,建设密度大、强度高;重庆夏季炎热,热岛效应突出,历史最高温度达到了 44.5°C , 35°C 以上的高温持续时间约在 $15\sim 25\text{d}$,是中国四大“火炉”城市之一。

1.2 场地选择

研究数据包括各试验区内地表温度、自然地表形态(高程、坡度、坡向、地表起伏度)、建筑形态(容积率、建筑密度、建筑布局形态)、用地功能布局等。多数研究表明,影响公园冷岛效应强度的主要因素为公园面积与周长^[11,13]。为减小公园内部环境因素干扰,控制公园面积与周长,通过对公园卫星影像初步比较及现场调研,选择公园面积为15~20 hm²以及周长和内部要素占比相近的城市公园进行研究,在样本选择时均考虑周边为建设较为完善的城市建成区,且各样本外部环境均有差异。公园数据综合处理包括:(1)实地调研获取公园基本信息;(2)利用谷歌卫星影像进行人工目视解译划分公

园内部各要素；(3) 结合重庆市公园斑块进行数据修正。本次研究试验区选取重庆市主城区内的三个公园：沙坪公园、花卉园公园及大学城中央公园(图1)，内部环境要素配比及外部环境特征如表1所示。

2 研究方法

2.1 温度数据采集

温度数据通过遥感影像反演地表温度采用夏季的Landsat8卫星数据(数据来源：地理空间数据云网站<http://www.gscloud.cn>，遥感影像均为轨道号128，行号39)，为保证数据的有效性，分布选择时间为2019年8月20日、2020年9月7日及2021年9月26日的数据进行综合研究。当天天气均为晴转多云，8月20日温度为30 ~ 39℃，9月7日温度为29 ~ 32℃，9月26日温度为22 ~ 35℃，研究

范围内无云遮挡。

借助ENVI5.3对遥感数据进行几何校正、辐射定标等预处理，使用遥感影像第10波段，采用覃志豪单窗算法^[14]反演温度。公式如下：

$$T_l=K_2/\ln(1+K_1/L_i) \tag{1}$$

$$FVC=2*[(NDVI-NDVIMIN)/(NDVIMAX-NDVIMIN)] \tag{2}$$

$$\varepsilon=0.004*FVC+0.986 \tag{3}$$

式中， T_l 为辐射亮度温度， L_i 为辐射亮度， K_1 、 K_2 为传感器特定定标常数，其中， $K_1=774.89$ ； $K_2=1321.08$ 。 ε 为地表比辐射率，FVC为植被覆盖度。

$$C=\varepsilon\tau \tag{4}$$

$$D=(1-\varepsilon)[1+(1-\varepsilon)\tau] \tag{5}$$

$$LST=\{a*(1-C-D)+[b(1-C-D)+C+D]*T_l+D*Ta\}/C \tag{6}$$

式中， C 、 D 均为中间参数， τ 为大气透射率，

通过NASA网站(<http://atmcorr.gsfc.nasa.gov>)获得

τ 数值； a 、 b 为常量，当温度介于0 ~ 30℃时， $a=-66.51672$ ， $b=0.45165$ ， Ta 为大气平均作用温度， T_l 为辐射亮度温度。

2.2 内外部环境要素提取

使用20级卫星影像及矢量数据，提取并修正公园平面、周边建筑数据、道路网数据以及空间兴趣点数据(Point of Interest, POI)。通过人工目视解译方法并结合现场调研情况，将公园内部下垫面通过ArcGIS建立训练区、运用最大似然法进行监督分类，划分为绿地、水体、硬质下垫面(含建筑)三种类型(表1)；公园外部下垫面主要划分为建筑、街道两种类型。其中建筑又根据功能细分为居住建筑、商业建筑、科教建筑、工业建筑等类别。

表1 公园内部环境要素配比及周边情况
Tab. 1 Overview of the park's internal environmental elements ratio and surrounding conditions

公园概述 Overview of park		沙坪公园 Shaping Park	大学城中央公园 Central Park of University Town	花卉园 Flower Garden
公园要素配比	植被面积比/%	74.7	65.1	80.1
	水体面积比/%	7.5	5.7	9.6
	硬质下垫面面积比/%	17.8	29.2	10.3
	周长/km	2.48	2.69	2.04
	总面积/hm ²	16.35	20.01	15.20
公园周边概况简述	自然地表形态	地形起伏多变，北部存在陡坎，地势整体分布为东南高、西北低。周边为山地高密度城市建成区，植被覆盖情况相对良好	整体地形相对平坦，除大学校园内部外，周边城市建设度高，坡度较小，植被覆盖率较低	地形起伏较大，地势西低东南北高，呈凹字型；南部为山林地延伸。周边为山地城市建成区，植被覆盖情况相对良好
	周边建筑形态	周边建筑较密集，近公园东南西面均被建筑包围，建筑多顺应地势而建，布局杂乱无序，高中低建筑并存	周边建筑布局松散，密度较低，东部及南部均为高层建筑，方格网式布局，西部近公园处为低矮带状建筑群，北部及西部部分区域为零散点状、组团式建筑布局	周边建筑较为密集，多为中低层住宅，建筑多顺地势而建，与道路及坡向平行，布局规整，为“小街区密路网”形式
	周边用地功能	封闭式公园。公园周边功能混合，低层住宅、高层居住小区、高层公寓、零售商业、综合性交通枢纽、商业办公区、大学校园均有分布。公园北部商业区及大学校园与公园通过铁路分隔，除铁路及东部出入口外，周边无临近道路	开放式公园。公园东部为公寓住宅及商务办公区，除西部、南部近公园处分别分布商业步行街区以及高层公寓住宅外，其他区域均为大学校园。公园四周与周边功能均被道路分隔，其中东部为城市交通干道，北部道路有轻轨穿过，道路等级依次为东>北>西=南	封闭式公园。周边以居住建筑为主，东西部及东南部均为临街住宅区，以上住下商的混合功能为主。北部有干道分隔，东南、西南均有城市支路经过

注：为控制变量，保持研究区完整性，大学城中央公园南部道路分割部分未统计入内。

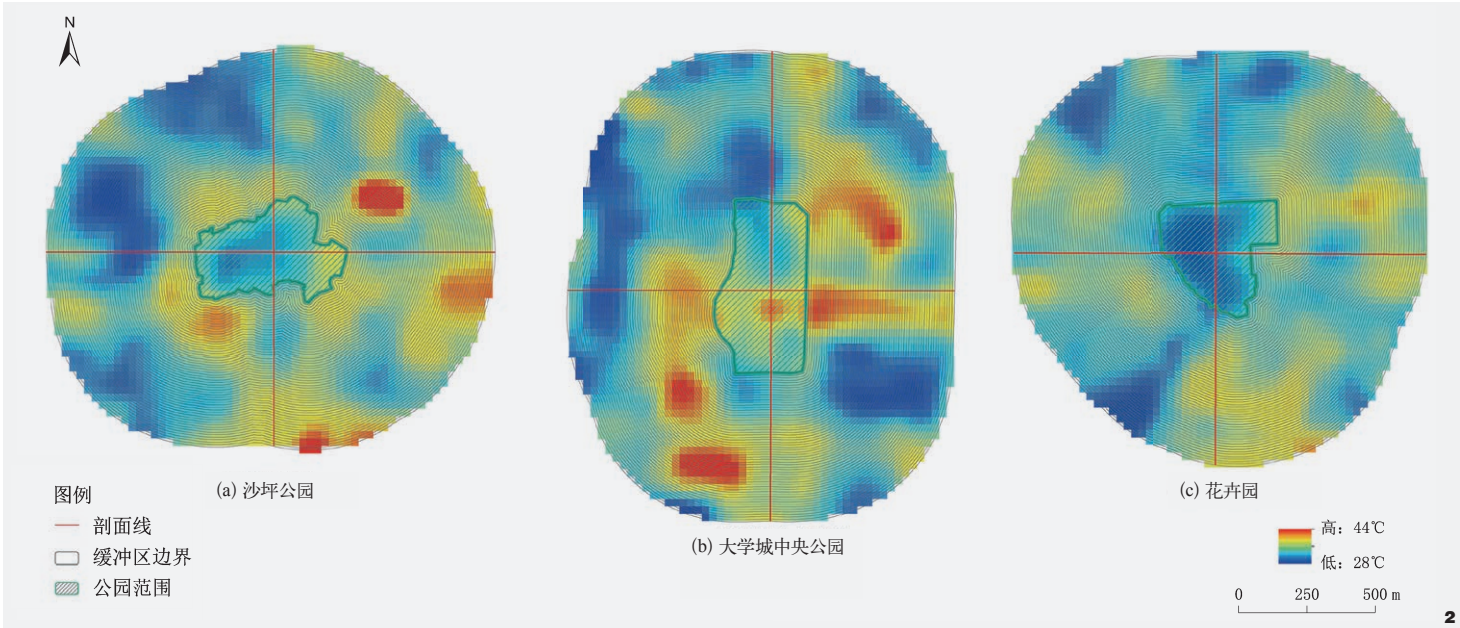


图2 各公园温度及剖面线示意
Fig. 2 Schematic of the temperature and profile line of each park

3 数据分析

3.1 公园冷岛强度及降温范围

本文主要基于遥感影像来分析城市公园冷岛强度 (PCI)，计算公式^[15-16]为：

$$PCI = \Delta T = T_U - T_P \quad (7)$$

其中， T_P 表示公园内平均地表温度， T_U 为公园边界外600 m范围内平均地表温度。

研究选择公园外600 m缓冲作为研究范围考虑到两方面因素：(1) 统一一个公园周边研究范围以控制变量；(2) 研究表明城市公园的降温范围大约为自身的1 ~ 2倍，冷岛变化大约在500 m范围左右，选择600 m基于各公园综合面积与山地城市特殊性考虑。

对公园斑块分别沿边界每隔10 m生成一个缓冲带，最终得到距离为600 m的60环缓冲带，统计每个缓冲带内的平均地表温度(图2)。以缓冲带距离为自变量，缓冲带内平均地表温度为因变量，进行三次多项式曲线拟合。得到拟合曲线如图3所示，各年

份曲线相似度较高，总体呈现先升后降的趋势，这表明公园对周边一定距离的区域有明显的降温效果，降温效果随公园距离逐渐减弱，文章将温度拟合曲线的最高点(即拐点)视为公园的最大降温距离 T_{max} ，根据三年的综合情况，统计结果为：沙坪公园 PCI 为1.442℃， T_{max} 为50 ~ 150 m之间；中央公园 PCI 为0.631℃， T_{max} 为150 ~ 250 m之间；花卉园 PCI 为2.174℃， T_{max} 为250 ~ 350 m之间。

从图2可知，公园降温幅度最显著的公园为花卉园，公园外部100 m向内部延伸范围均呈现温度下降趋势，但在距离公园150 m之外，三个公园的降温曲线产生了较大的差异。

为进一步对比公园各垂直方向上温度变化，以公园为中心，通过ArcGIS操作平台的3D Analyst工具分别沿东西及南北两个方向在600 m缓冲区范围内对地表温度进行剖面线分析，可以对比公园各方向上地表温度具体变化趋势。

如图4所示，各公园夏日历年温度变化趋势具有规律性，数据有效。沙坪公园与花卉园在各方向的温度均为明显冷点区域，表现为公园中心温度低，由公园内部向外逐渐升高的波动变化趋势，花卉园为该区域600 m范围内的最低冷点，而沙坪公园的西面存在另一冷点，两者的最大降温距离 T_{max} 大致与拟合曲线所给出的范围保持一致；中央公园两个方向的温度变化并不完全呈现外高中低这一变化趋势，南北向剖面线上温度在公园内部出现了峰值，说明内部环境要素特征是影响公园自身降温强度的重要因素，且外部地表温度变化可能与下垫面性质或其他因素有关。

3.2 不同外部环境构成对公园的影响

为探讨外部环境构成对温度变化的影响，通过ArcGIS操作平台在缓冲区内建立50 m × 50 m网格，统计每个格网内部的平均地表温度值、平均地形起伏度值、建筑密度

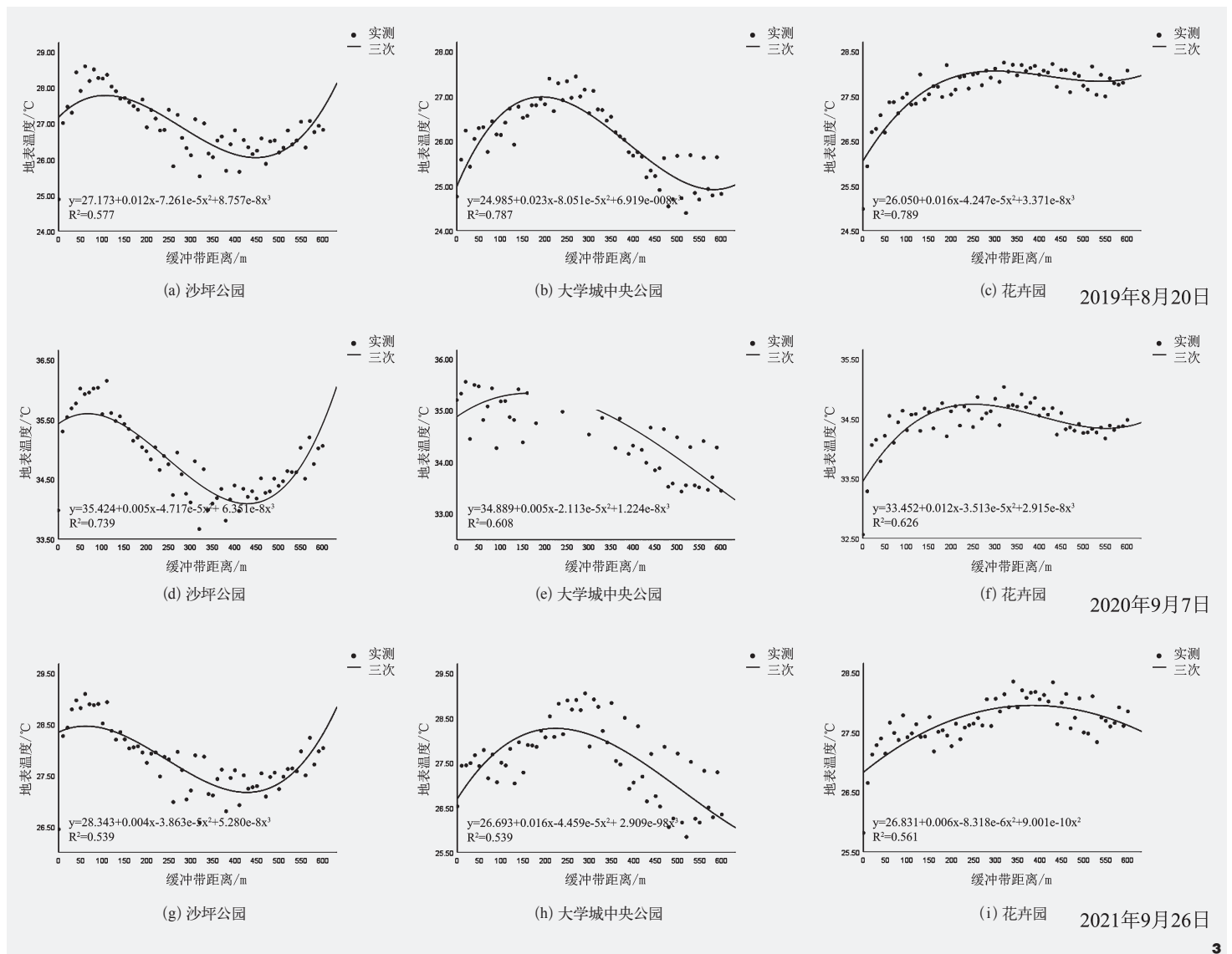


图3 各公园缓冲区温度曲线拟合图
Fig. 3 Fitted temperature profiles for each park buffer zone

值、容积率等。

3.2.1 自然地表形态对降温效应的影响

通过提取格网内平均坡度、坡向、高程及地表起伏度来研究外部自然地表形态对公园冷岛传播效应的影响。使用SPSS对各参数与温度数据进行相关性分析(其中,皮尔逊相关性为相关性系数,是介于[-1,+1]之间的实

数,当相关性系数的绝对值越接近1时,则说明变量之间相关性越强,反之则越弱;sig值则为显著性的检验结果,显著级别在表中标注),结果表明地表温度与高程及地表起伏度间存在相关关系,但采用多年度温度数据验证情况不理想(表2),因此,结论为无显著相关关系,与蔡智^[17]的研究一致。

此外通过剖面线提取公园4个方向上的

坡度、坡向、地表起伏度及高程数据与温度数值进行数值对比,均不存在显著规律性(图5),即在中小型尺度城市公园中,外部自然地表形态的变化与温度关联性较小。

3.2.2 周边建筑形态对降温效应的影响

为了研究周边建筑的容积率及密度与公园降温效应的相关性,提取缓冲区内公园外

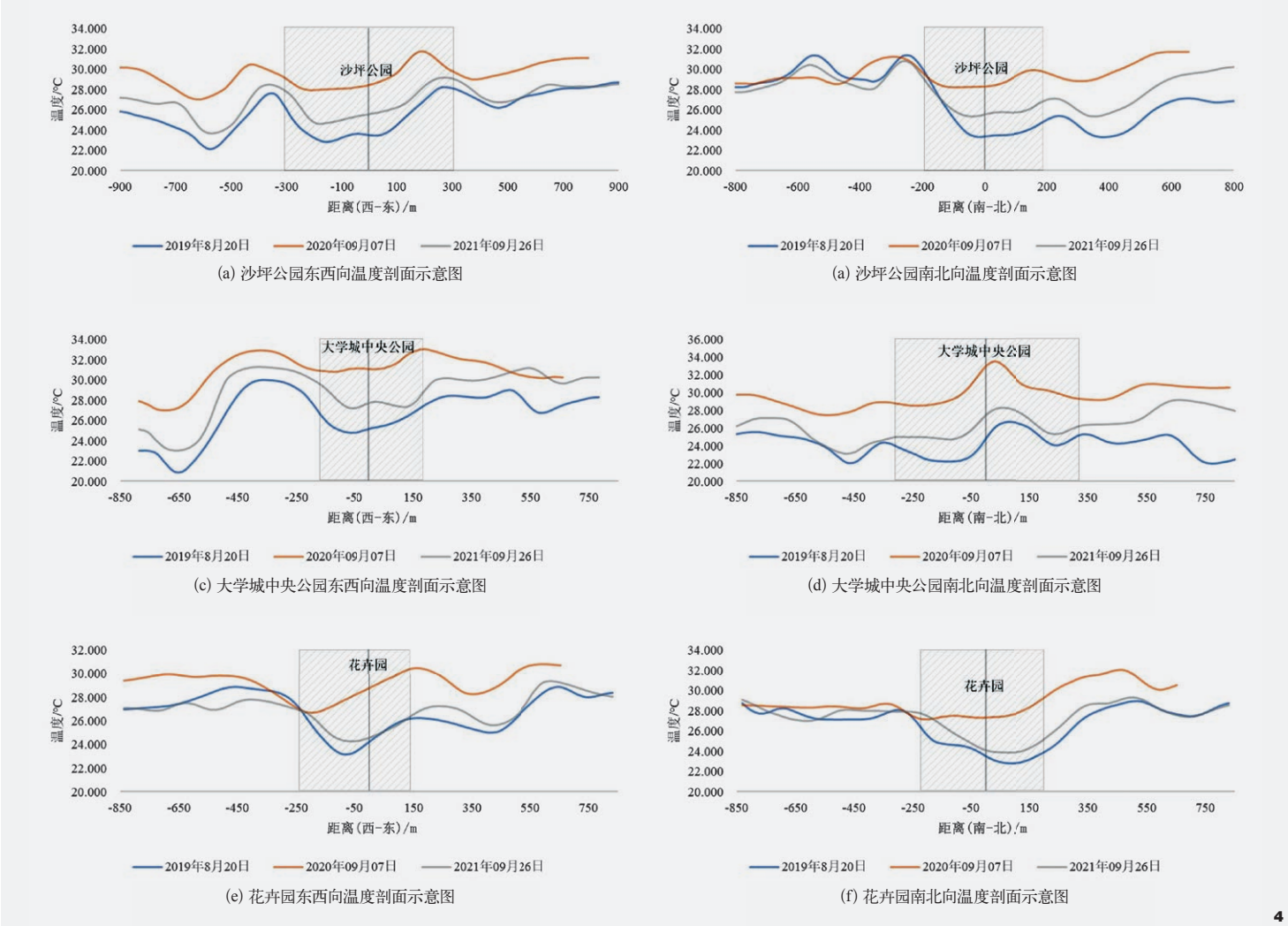


图4 各公园剖面温度图
Fig. 4 Temperature profile of cross-sectional view of each park

表2 花卉园相关性分析
Tab. 2 Results of correlation analysis of Flower Garden

		高程 DEM	地表起伏度 Surface relief	坡度 Slope	坡向 Slope direction
2019年8月20日温度	皮尔逊相关性	-0.067*	0.039	-0.052	0.017
	sig值	0.041	0.236	0.111	0.595
2020年9月7日温度	皮尔逊相关性	-0.064*	0.245**	-0.047	0.044
	sig值	0.049	0	0.150	0.184
2021年9月26日温度	皮尔逊相关性	0.017	0.041	-0.039	0.040
	sig值	0.596	0.212	0.238	0.228

注：(1) **表示在0.01级别 (Sig值) 相关性显著；*表示在0.05级别 (Sig值) 相关性显著。
(2) 显著性检验采用双尾 (双侧检验) 进行。

建筑数据 (层高、面积等) (表3): (1) 统计各格网内所含建筑的总基底面积以计算建筑密度及分布情况; (2) 统计各格网内所含建筑总面积以计算容积率, 在ArcGIS平台运用核密度分析^[19] (借助一个移动的单元格对点格局的密度进行估计, 得到研究对象密度连续变化的图示, 可直观表达研究对象的集聚与扩散特征) 进行容积率及建筑排布的相关性分析, 当建筑所处点 (或多点) 建筑面积越大, 则赋值越高。

基于卫星影像及对研究对象的实地调研,将公园周边建筑对公园的布局形式分为以下三种(表4):(1)全遮挡,周边紧邻建筑且排布紧密、建筑各行各列错位布置,未预留通风廊道;(2)半遮挡,建筑临公园边界布置但排列规整,存在多条通廊;(3)开阔,周边几乎无遮挡建筑。

将各格网内总基底面积与格网内平均温度进行统一化处理,利用SPSS对二者进行相关性分析,结果表明研究区范围内建筑密度与温度的相关关系不显著。从表4对比图可知,沙坪公园及花卉园周边建筑容积率情况与温度存在明显相关,表现为赋值高且建筑密集地块,温度相对较高。大学城中央公园周边与建筑容积率情况关联较弱。

根据剖面线提取三年平均温度曲线,进行图示对比(图6)。沙坪公园周边均为重庆老城区,建设历程较长,建设年限较为复杂。此外受山城地形情况影响,用地资源紧张,建设密度与容积率较高;建筑布局较为紧凑、无序,缺乏风廊,为全遮挡布局。因此沙坪公园对周边区域的降温效应并不明显,东部主入口相对开敞,但道路对面建筑与西部建筑空间形态一致,围合程度极高,布局散乱,因此在此方向上的降温范围极小,正北方向虽无直接遮挡,但紧邻大型公共建筑,降温通道受阻;南部地块因高层建筑密度较周边低,通风情况好转,但建筑高低穿插,降温效果仍不理想。

花卉园周边地形情况虽与沙坪公园大致相同,但片区的建设年代更近,体现了城市建设的演变与发展,花卉园周边地势东高西低,建筑基本沿等高线东西向排布,多层建筑间距适中,布局规整。周边虽然被建筑包围,但均呈半遮挡布局,且周边行道树、山地林地植被较多,因此形成了若干条规模较

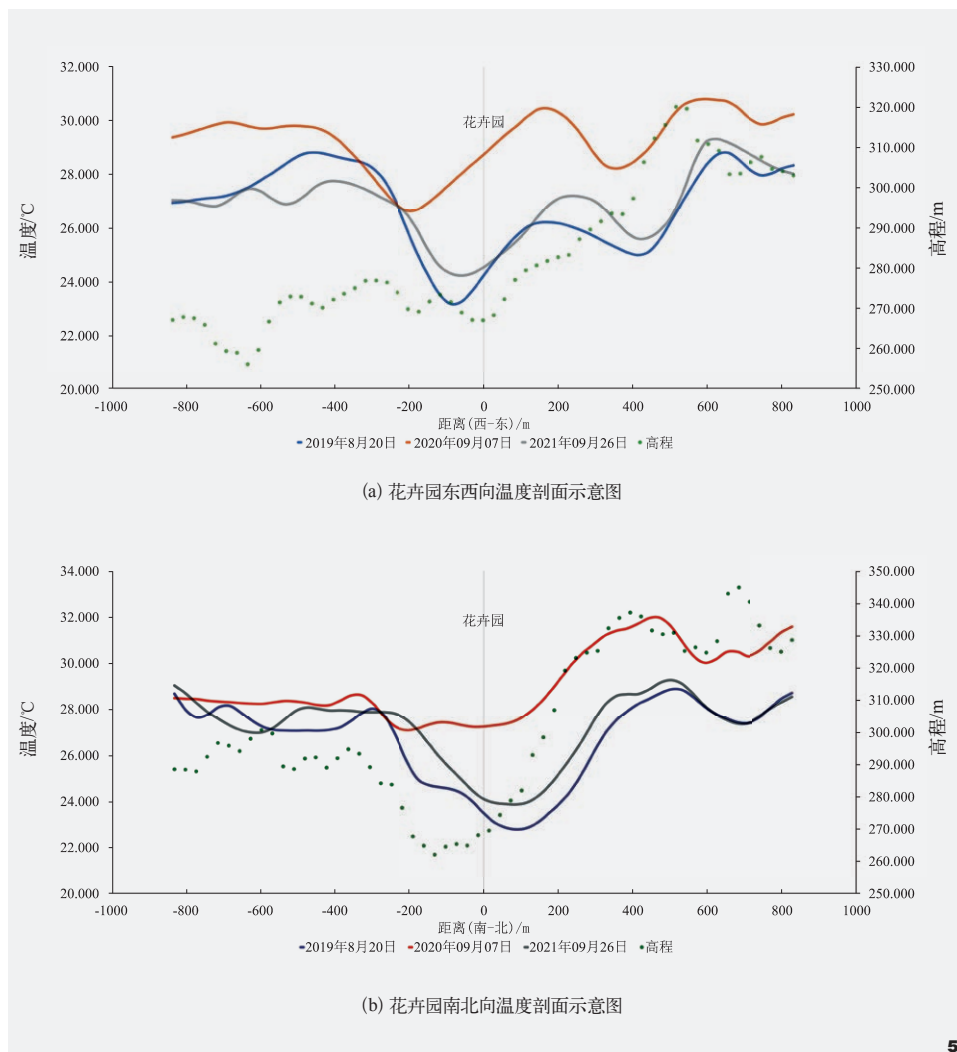


图5 高程温度对比示意图
Fig. 5 Schematic of DEM versus temperature

小、但降温效果显著的通风廊道。

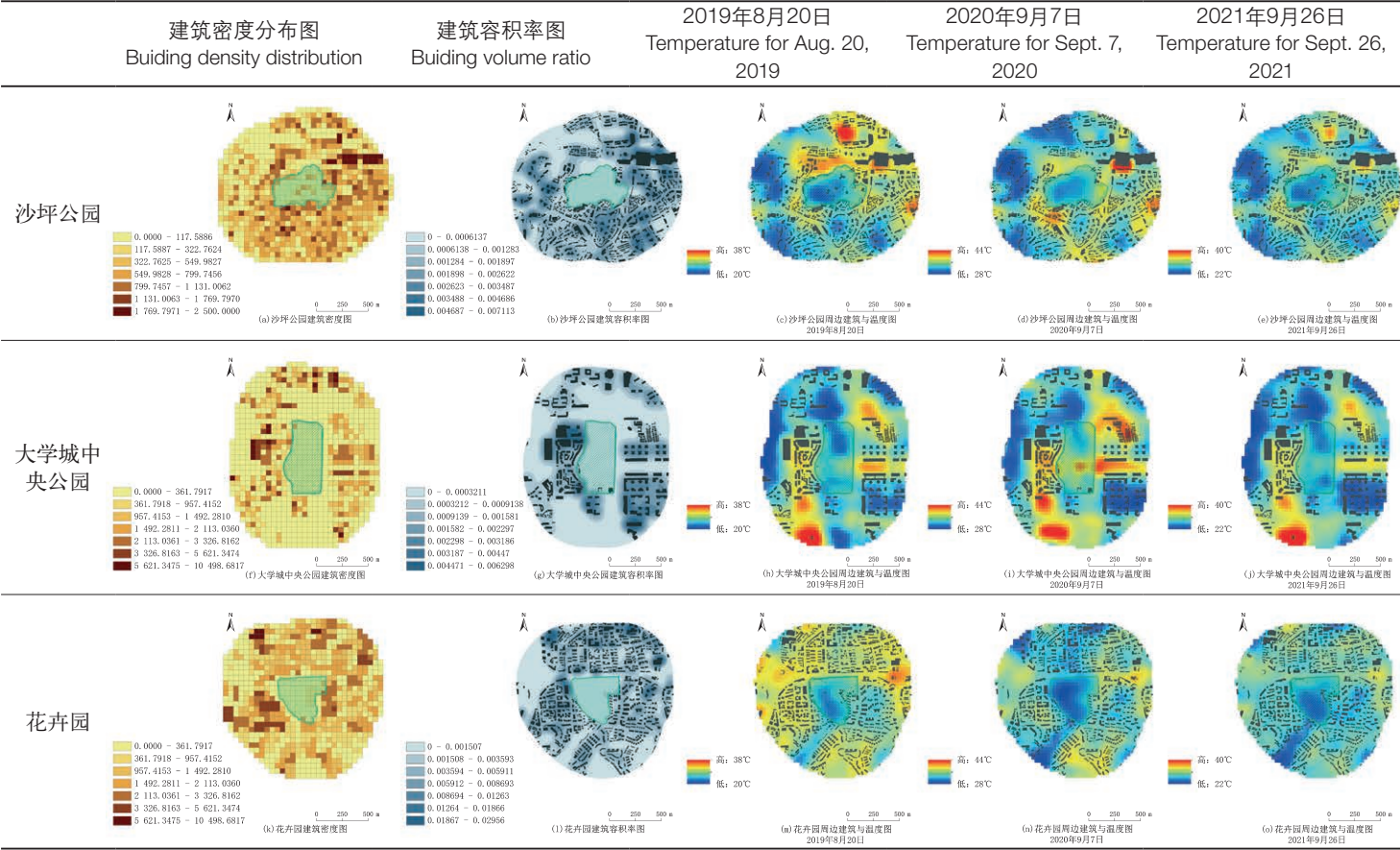
大学城中央公园周边片区为新区,城区建设较晚,建筑密度较低,建筑排布规整开阔,建筑与公园无直接遮挡。相较其他两个公园,大学城中央公园周边降温情况受建筑密度与容积率的影响明显较小,其相关性较低。此外,公园外部开阔的街道界面是形成风廊的重要条件,该公园冷岛周边无建筑围合,通风效果极为显著,因此无法存续低温,与周边温度相差小。

由此可见,当公园周边布局合理、建筑排布规律且留有余地时,公园降温效应受建筑密度与容积率的影响会大幅减小,而周边建筑形态对公园的降温效应影响较建筑密度、容积率影响大。

3.2.3 周边用地功能对降温效应的影响

用地情况不同,其内部建筑、植被及下垫面性质会发生改变。对各个公园使用标准差椭圆工具与优化的热点分析工具^[19-20],来

表3 密度、容积率与温度对比图
Tab. 3 Graph of density, volume ratio and temperature

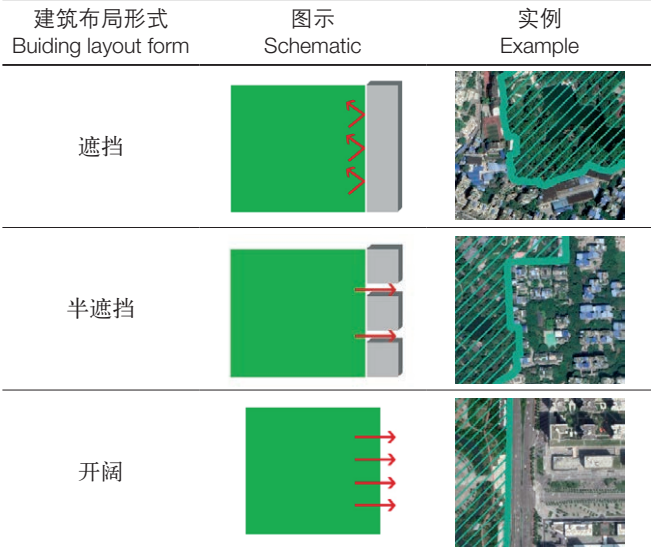


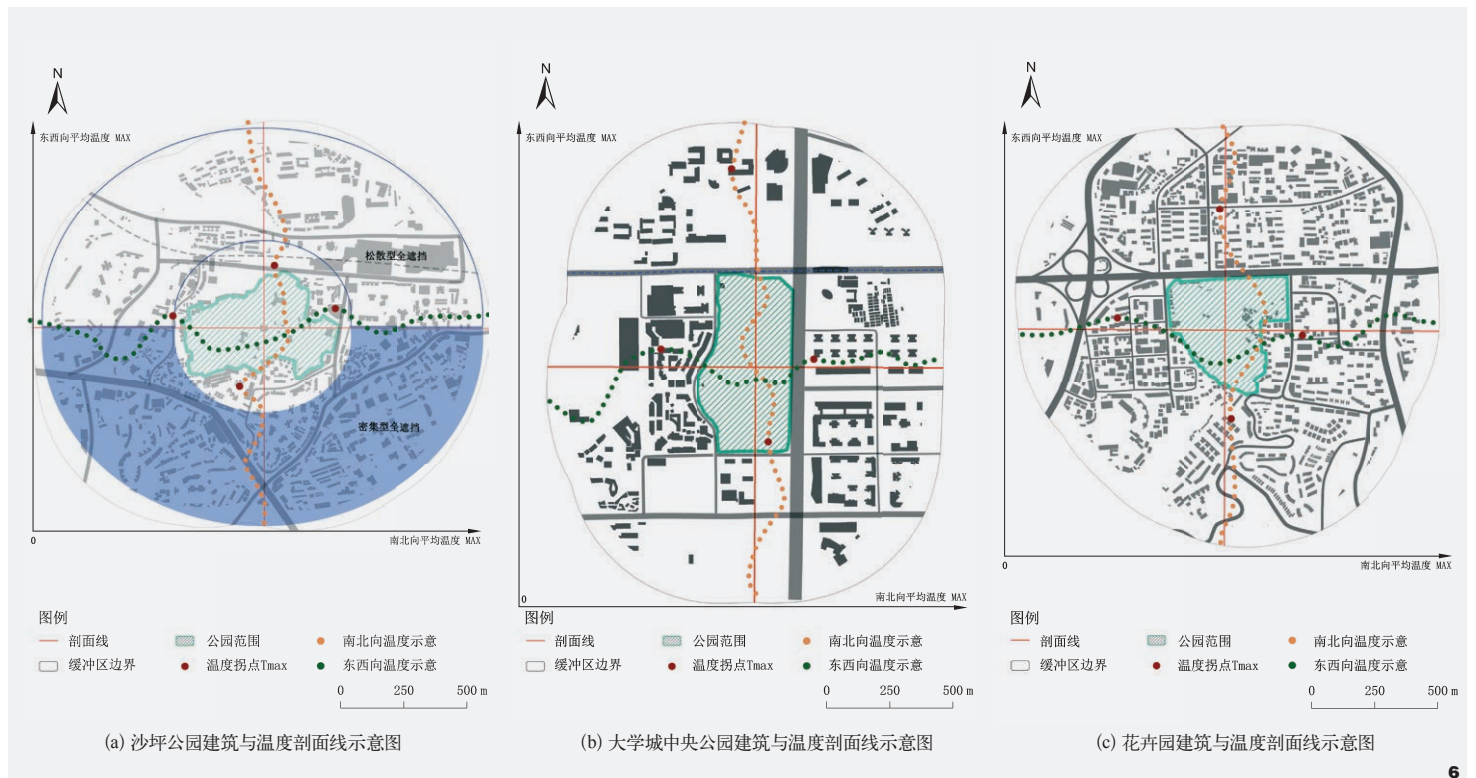
进行各日期公园冷岛的传播方向性分析。优化的热点分析工具是给定事件点或加权要素（点或面），可以使用 Getis-Ord G_i^* 统计数据创建具有统计显著性的热点（高值）和冷点（低值）的地图。标准差椭圆是一种能够同时对点的方向及分布进行分析的算法，文中将通过热点分析得到的热点剔除， 仅将冷点作为标准差椭圆的研究对象。

结合POI兴趣点与实地调研，将公园外下垫面分为道路（城市道路、铁路）、居住建筑、商住建筑、商业办公建筑、文教建筑、硬质裸露地面（停车场、塑胶运动场、在建设用地、其他用途空地）。用地变化与地表温度变化图7-9所示。

结果表明， 各年份夏日公园周边降温方向存在一致性。从图7可以看出，沙坪坝公园外部冷岛空间分布在西部，园内降温方向无明显偏向。公园内部林地植被被密集，冷岛效应较强。而外部缓冲区范围内的椭圆长轴沿高层居住建筑分布的方向，因为山

表4 建筑布局示意图
Tab. 4 Graph of building layout

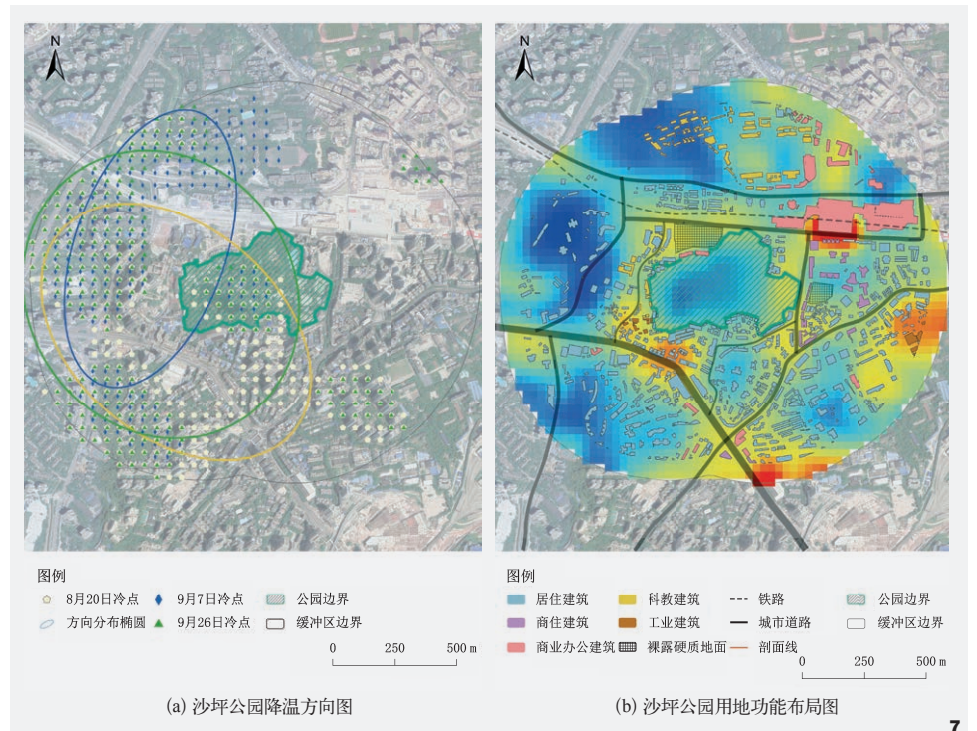




6

地城市林地植被等绿地资源丰富，非公共设施布局区域几乎均有自然绿地覆盖，拥有良好的降温基础，且高层建筑阴影会减少覆盖区域下垫面热量吸收，最终导致外部降温方向向东北方向延伸。此外，东北至东南方向为沙坪区商业中心区，均分布有大量商业建筑，密集人流、车流，以及其下垫面材质（主要为硬质不透水面），是导致该方向缺乏冷点的重要原因。

中央公园（图8）外部冷岛空间主要分布在东南及西北部。公园周边开阔，公园本身与周边地块均被道路分隔，无建筑遮挡，且公园内部乔木林地相对较少，零散分布，以至于公园整体冷岛强度较弱，公园冷点极少，集中在北部。公园外部椭圆长轴呈西北—东南方向，西北冷点区域为大学校园，占地



7

图6 建筑与剖面线温度分析图
Fig. 6 The analysis graph of building and temperature profile line

图7 沙坪公园降温方向及用地功能布局图
Fig. 7 Graph of Shaping Park cooling direction and functional layout

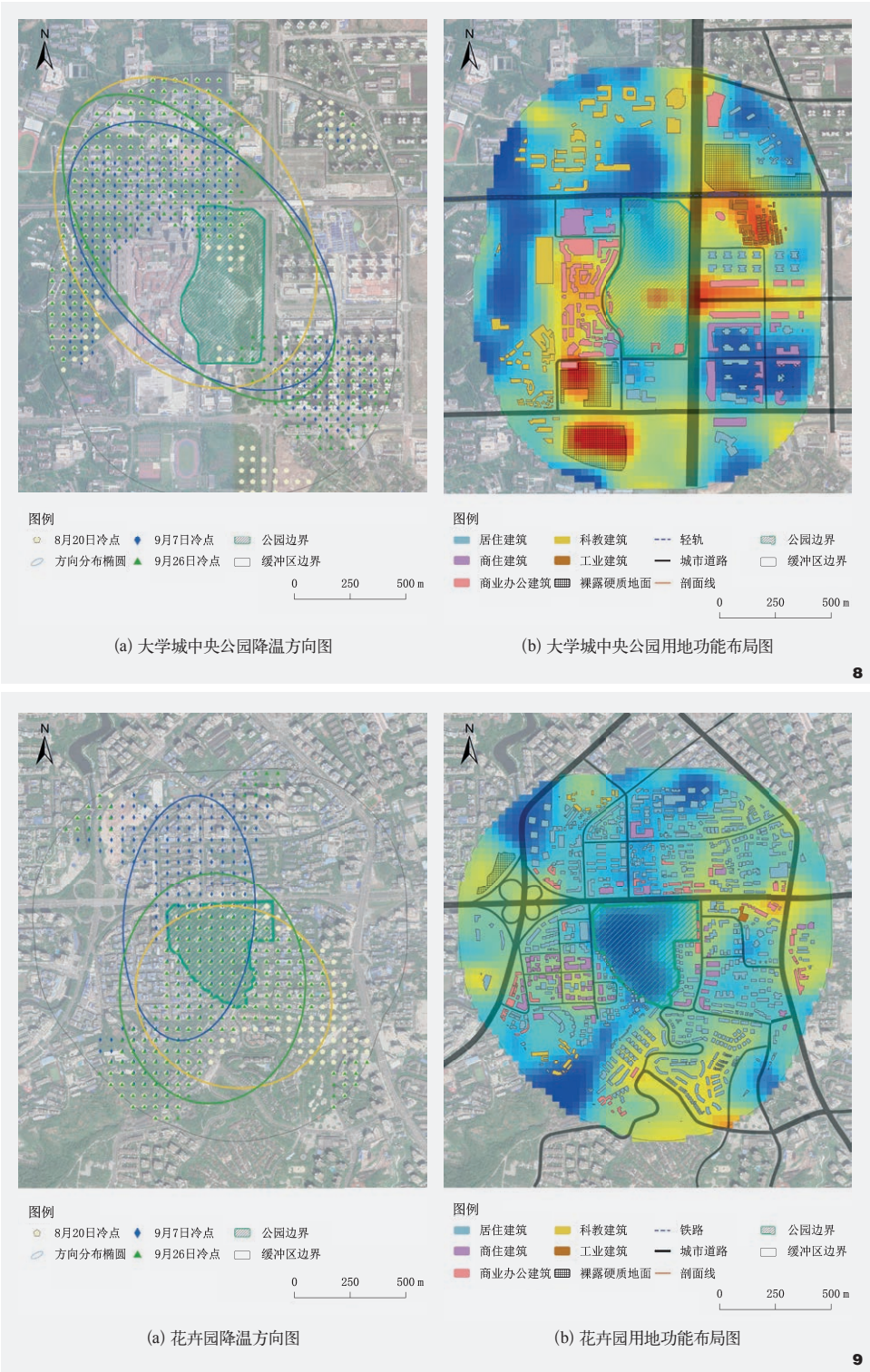


图8 大学城中央公园降温方向及用地功能布局图
Fig. 8 Graph of Central Park of University Town cooling direction and functional layout
图9 花卉园降温方向及用地功能布局图
Fig. 9 Graph of Flower Garden cooling direction and functional layout

面积广、建筑密度低、植被茂密，东南为高层住宅，且近地面绿地覆盖率较周边住宅高，车流较少，因此温度较低。公园北部与南部的高温区均位于硬质下垫面区域（停车场、空闲地、硬质运动场地）及工厂建筑群区域，即大规模硬质不透水面将导致地表温度的明显增加。此外，冷岛扩散范围还与公园东部主要干道阻隔有关，测温当日道路近地面温度达到了 36.6°C ，与公园边缘区温度相差 2°C ，密集车流与无遮挡硬质路面致使热量大量产生，对公园冷岛扩散产生了阻碍。

公园（图9）除北部干道沿街分布商业办公建筑外，周边均为居住区。内部冷点与外部较为一致，为东北—西南方向分布。北部方向为高层建筑，南部为植被密集的山地，因此温度较低。通过对各公园用地功能布局与降温方向进行分析，可知高层建筑与绿地交错布局会形成温度冷点，能够与公园冷岛形成对流，从而达到降低对流范围内温度的效果。由此可见，公园外部用地功能与绿地覆盖情况均为影响缓冲区降温方向的主要因素。

4 结论

本文以重庆主城区内三个中型公园为研究对象，基于landsat8卫星遥感影像，利用ENI反演周边地表温度。通过高分卫星影像、矢量数据及实地调研提取高程、建筑、道路、用地等相关信息，从公园外部自然地表形态、周边建筑形态以及用地布局功能三个方面分析外部环境条件对公园冷岛效应扩散的影响，研究结论表明：（1）公园自身降温效应较为明显，对局部地区的热环境起到了一定的缓解作用，冷岛强度由强到弱依次为花卉园（ 2.174°C ）>沙坪公园（ 1.442°C ）>大学城中央公园（ 0.631°C ）；（2）外部地形环

境与公园冷岛效应扩散影响间相关关系不显著, 山地坡度及地形起伏度与公园冷岛强度虽存在一定相关关系, 但其相关性年际变化较大, 因此无显著相关关系; (3) 公园周边建筑形态对公园降温范围影响明显, 杂乱、不畅通的全遮挡建筑布局形式产生了“风墙”, 公园周边的半遮挡型规整建筑组团易形成通风廊道, 能够增加公园降温范围, 但过于开阔的街道界面会使公园冷岛强度降低; (4) 山地城市公园冷岛强度的方向受到外部用地功能布局影响, 大规模不透水面是限制冷岛扩散的重要原因, 高层建筑与绿地交错布局会形成温度冷点, 与公园冷岛形成对流, 对公园冷岛降温起到延续和扩散的作用。

为改善城市局部热环境, 在山地城市规划过程中, 应通过“面—线—点”的生态串联模式来合理布局城市中的公园、小型绿地及水体。首先以公园为面, 尤其是在高密度中心区和老城区等城市热岛现象突出区域, 应充分利用城市边角地, 因地制宜考虑公园周边的坡度与地形起伏度因素, 形成公园绿地与建设用地交替布局的空间形态, 通过增加公园数量及面积形成区域冷源和冷岛扩散中心; 其次, 充分利用自然地形起伏, 结合周边建筑组合廊道和线性道路形成城市中心通风廊道, 加速空气流通; 山地建筑布局在因地制宜的基础上, 尽量呈规则组团布局, 通过绿地廊道串联各组团; 通过半遮挡建筑布局形式形成风廊以增加冷空气的流通路径, 将公园与建筑通风廊道穿插布置。最后, 以城市街道社区中的小型绿地和水体为点, 以自然地表与人工地表交叉布局的模式, 增加自然地表, 降低城市中下垫面不透水面积, 改善地表热辐射, 并通过建筑和道路风廊有效串联“点”, 形成有效的冷空气对流循

环“面—线—点”网络体系, 引导公园冷岛的扩散。

注: 文中图表均由作者绘制。

参考文献

- [1] SANTAMOURIS M, CARTALIS C, SYNNEFA A, et al. On the Impact of Urban Heat Island and Global Warming on the Powerdemand and Electricity Consumption of Buildings—a Review[J]. *Energy and Buildings*, 2015, 98: 119-124.
- [2] GUNAWARDENA KR, WELLS MJ, KERSHAW T. Utilising Green and Bluespace to Mitigate Urban Heat Island Intensity[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 584: 1040-1055.
- [3] SUN R, CHEN L. How can Urban Water Bodies be Designed for Climate Adaptation[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 105(1): 27-33.
- [4] BOWLER D E, BUYUNG-ALI L, KNIGHT T M, et al. Urban Greening to Cool Towns and Cities a Systematic Review of the Empirical Evidence[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 97(3): 147-155.
- [5] CARVALHO D, MARTINS H, MARTA-ALMEIDA M, et al. Urban Resilience to Future Urban Heat Waves under a Climate Change Scenario: A Case Study for Porto Urban Area (Portugal)[J]. *Urban Climate*, 2017, 19: 1-27.
- [6] MARTINS T A, ADOLPHE L, BONHOMME M, et al. Impact of Urban Cool Island Measures on Outdoor Climate and Pedestrian Comfort: Simulations for a New District of Toulouse[J]. *France. Sustainable Cities and Society*, 2016, 26: 9-26.
- [7] MCDONALD R, KROEGER T, BOUCHER T, et al. Planting Healthy Air: A Global Analysis of the Role of Urban Trees in Addressing Particulate Matter Pollution and Extreme Heat[J]. *The Nature Conservancy*, 2016.
- [8] GILBERT H, MANDEL B H, LEVINSON R. Keeping California Cool: Recent Cool Community Developments[J]. *Energy and Buildings*, 2016, 114: 20-26.
- [9] O'MALLEY C, PIROOZFAR P, FARR E R, et al. Urban Heat Island (uhi) Mitigating Strategies: A Case-based Comparative Analysis[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2015, 19: 222-235.
- [10] 赵芮, 申鑫杰, 田国行, 等. 郑州市公园绿地景观

特征对公园冷岛效应的影响[J]. *生态学报*, 2020, 40(09): 2886-2894.

- [11] 花利忠, 孙凤琴, 陈娇娜, 等. 基于Landsat-8影像的沿海城市公园冷岛效应——以厦门为例[J]. *生态学报*, 2020, 40(22): 8147-8157.
- [12] 李婷婷, 谷达华, 阎建忠, 等. 重庆主城区不同类型公园对周边环境的降温效应[J]. *生态科学*, 2018, 37(04): 138-146.
- [13] 石蕾洁, 赵牡丹. 城市公园夏季冷岛效应及其影响因素研究——以西安市中心城区为例[J]. *干旱区资源与环境*, 2020, 34(05): 154-161.
- [14] 覃志豪, 张明华, Arnon Karnieli等. 用陆地卫星TM6数据演算地表温度的单窗算法[J]. *地理学报*, 2001, 56(4): 456-466.
- [15] CAO X, ONISHI A, CHEN J, et al. Quantifying the Cool Island Intensity of Urban Parks Using ASTER and IKONOS Data[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 96(4): 224-231.
- [16] CHIBUIKE E M, IBUKUN A O, ABBAS A, et al. Assessment of Green Parks Cooling Effect on Abuja Urban Microclimate Using Geospatial Technique[J]. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2018, 11: 11-21.
- [17] 韩贵锋, 蔡智. 山地城市公园形态对其降温效应的影响[J]. *西部人居环境学刊*, 2016, 31(06): 61-68.
- [18] 王法辉. 基于GIS的数量方法与应用[M]. 北京: 商务印书馆, 2009.
- [19] 王珏晗, 周春山. 广州市商业型健身房空间分布及其影响因素[J]. *热带地理*, 2018, 38(1): 120-130.
- [20] 陈彦清, 曹永生, 吴彦澎等. 基于空间统计学分析农作物种质资源的空间分布特征[J]. *生物多样性*, 2017, 25(11): 1213-1222.