◎ 山地人居环境研究

DOI: 10.13791/j.cnki.hsfwest.20160611
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.

山地城市公园形态对其降温效应的影响

Impact of Mountain Urban Park Form on Cooling Effect

韩贵锋　蔡　智　HAN Guifeng, CAI Zhi

摘　要　为揭示山地城市公园对城市热岛的减缓机制，以重庆市主城区内10个公园为例，使用卫星遥感数据和部分实测数据获得地表温度和近地面气温，分别从内部景观特征和外部空间形态两个方面研究了公园的降温效应。研究结果表明：在公园内部景观要素方面，公园面积、宽度、形状指数是影响公园降温效应的主要因素，多个小型公园比同面积大型公园具有更好的降温效应；在公园外部空间形态方面，自然地形起伏与建筑空间形态是影响公园降温效应的主要因素，少量正对公园的通风廊道及规则布局的建筑形态可以有效提升公园的降温范围，山地型公园比盆地型公园具有更好的降温效应。在规划实践中，应该综合考虑公园面积、布局等要素，以发挥公园最佳的降温效用。

关键词　城市公园；城市热岛；降温效应；山地城市；公园形态

Abstract: In order to study the mechanism that mountain urban park mitigate urban heat island effect, 10 parks in main city of Chongqing were taken as examples, remote sensing data collected by Landsat and measured data were used to analyze cooling effect from landscape feature inside the parks and building form around the parks respectively. The results show that: (1) park area, width and landscape shape index (LSI) are the main factors which obviously influence the cooling effect of urban park, and small area parks have better cooling effect than a large urban park with the same area as the total area of small parks. (2) Terrain and building space form also have a great impact on urban park cooling effect, ventilation corridor and geometry building layout can effectively promote the cooling effect of urban park, and mountain park has a better cooling effect than basin. In order to make the best cooling effect of urban park, area, layout and their combination should be considered comprehensively in urban planning.

Keywords: Urban Park; Urban Heat Island; Cooling Effect; Mountain City; Park Form

0　引　言

随着中国城市化进程的推进，在未来不久，越来越多的人口将在城市居住。人口和能源等要素在城市区域的集中，极大地改变了城市原有空间形态及物质环境，使得城市生态环境问题凸显，成为影响城市人居环境质量的重要因素之一，而其中最为常见的是城市热岛现象。城市热岛现象的存在，不仅改变了城市局部小气候[1]，而且影响了城市区域动植物的生理特征[2]，破坏了原有生态系统的平衡，加大了能源消耗及环境污染[3-4]。更为严重的是，随着城市热岛现象的加剧，全球气候变暖趋势加速[5]，导致近年来极端气候现象频发，已严重威胁到人们的生命安全[6]，并造成了大量的财产损失[7]。因而国内外学者对城市热岛现象的关注程度日益上升，并就城市热岛的形成机理、影响因素、热岛模拟和减缓措施等方面进行过大量的研究，并一致认为城市热岛受众多因素影响，诸如人口、土地使用方式改变而导致热量在城市集中所产生的综合结果[8]。绿地、水体作为城市的主要生态要素，可以有效调节并改善局部小气候，缓解城市热岛效应[9-10]。相对于城市其他用地，城市公园大面积的绿地与水体更为集中，在满足人们日常娱乐休闲的基础上，如何有效利用城市公园缓解城市热岛现象成为

中图分类号　P463.22+1
文献标识码　A
文 章 编 号　2095-6304 (2016) 06-0061-08

* 国家自然科学基金资助项目 (41001364)

作者简介
韩贵锋：重庆大学建筑城规学院，山地城市建设与新技术教育部重点实验室，副教授，hangf@cqu.edu.cn
蔡　智：重庆大学建筑城规学院，硕士研究生

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

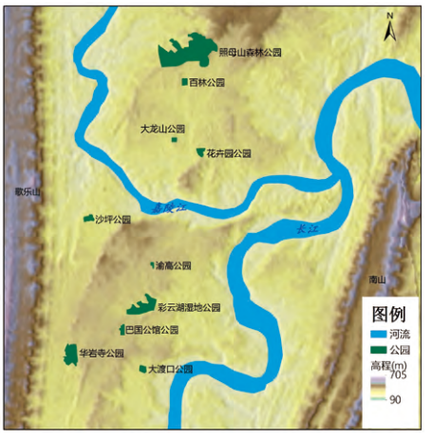


图1　研究区的公园分布

Fig.1　the location of parks in study area

城市生态环境研究的主要热点之一[11-12]。城市热岛现象是一个自然和人工要素复合的产物，因此，就公园缓解城市热岛现象而言，需要综合考虑公园内部景观要素与外部空间形态的影响。虽然，现已有学者使用多种手段就城市公园降温机制进行了大量研究[13-14]，但大多侧重于公园内部景观要素对降温效应的影响，而对公园外部空间形态与降温效应之间的关系研究甚少。山地城市由于其地形起伏变化大、建设强度高的特点，使得山地城市公园内外空间形态更为复杂多变，对公园降温效应的影响要素更多，当前对山地公园的降温效应的相关研究鲜有报道[15]。重庆是山地城市的典型代表，主城区地形起伏大、人口密集、建设强度相当高，城市热岛现象十分显著[16]，是探究山地城市热岛及其减缓的理想实验场。本文以重庆市主城区10个公园为例，综合使用卫星遥感数据和部分实测数据，从公园内部景观要素和公园外部空间形态两个方面，剖析影响山地城市公园降温效应的主要因素，以便揭示其对热岛效应的减缓机制，为公园规划布局提供理论支持，最大化发挥公园生态环境效益，改善人居环境质量。

1　数据与方法

1.1　研究区

重庆市主城区处于东经106.43° ~ 106.60°，北纬29.45° ~29.63°之间，属于亚热带季风湿润气候，歌乐山与南山遥相对望，嘉陵江与长江穿城而过，整体地势西高东低（图1）。主城区面积为5 472.68 km^2，常住人口为834.82万[17]。城市建筑密度高，人口众多，加之两山环绕、两江交汇的特殊地形，使得城市热岛效应十分显著。历年统计数据表明，重庆市热岛效应的增幅为0.036° C/年，夏季气温在35 ° C以上的天数达到了15~25天，最高气温达到44° C[18]，是名副其实的“火炉”。如何在炎热的夏季里充分发挥公园降温效应，是一个十分迫切的现实问题。为尽量避免外围绿地水体对公园降温效应的干扰，本文选取远离两江，公园内外空间异质性较大，且边界较为明确的10个公园作为研究样本（图1）。

1.2　数据来源与处理

使用的数据包括卫星遥感数据、谷歌影像数据、部分实测数据、公园及周边地形图数据等。所有数据在初步规整后，统一纳入GIS数据库，使用ArcGIS进行数据提取与空间分析工作，结果导出至SPSS中进行统计分析，研究各特征指数与公园降温效应之间的数量关系。

1.2.1　温度数据

温度数据来源包括遥感影像反演地表温度和现场实测两部分。其中，遥感影像采用2016年7月10日11：27AM（北京时间）的Landsat8卫星数据，从地理空间数据云网站下载（http://www.gscloud.cn），轨道号为p128，行号为r39，当天晴朗无云，影像质量好。在反演温度前，首先借助ENVI5.1，对遥感数据进行几何纠正、工作区裁剪、辐射校正等工作。使用第4波段和第5波段提取归一化植被指数（NDVI），再使用第10波段，运用大气校正法反演地表温度（land surface temperature, LST），具体方法可参见文献[19]。由于遥感卫星具有重访周期较长、过境时间短、温度数据单一的缺点，为弥补遥感影像反演的地表温度在多时段、高精度方面的不足，使用部分公园实测数据进行补充。具体数据包括各测点的地表温度、空气温度、空气湿度等，为保证数据的精度与准确性，公园内部布点不少于7个，尽量在公园内均匀分布，公园外部点沿主要通风廊道，每50 m布置一个，部分区域根据实情有选择性的增加其布点间隔。测量方法为步行流动观测法，测量时间从早上9点开始，下午5点结束，每1.5个小时作为一个周期，单天记录5个周期，每次测点数据30 s纪录一次，记录3次，并取平均值作为测点单次实测值。

1.2.2　景观特征提取

使用谷歌地球（Google Earth）影像，结合现场调研和人工目视解译方法，将公园下垫面划分为林地、水体、草地、硬质下垫面（含建筑）四种类型。使用Fragstats4.2计算公园形状指数（landscape shape index, LSI），计算公式为LSI= $C/2\sqrt{\pi s}$ ，其中C为斑块周长，S为斑块面积。当LSI=1时，表明该公园为圆形，LSI值越大，说明公园形状越破碎而不规则。

参考已有的研究[11]，综合考虑山地公园的特点，沿公园边界往外设置1.5倍公园宽度缓冲区。由于Landsat8第10波段的原始空间分辨率为100 m，为与其他波段的空间分辨率吻合，经过分发处理后的空间分辨率为30 m，导致反演后的LST像元与NDVI像元之间存在微偏移现象，因此在尽可能满足准确与精度的条件下，将缓冲区划分为60 m×60 m的格网。统计每个格网内的平均LST值、平均NDVI值、建筑密度值、距公园距离L值等（图2）。由于近地表温度显著

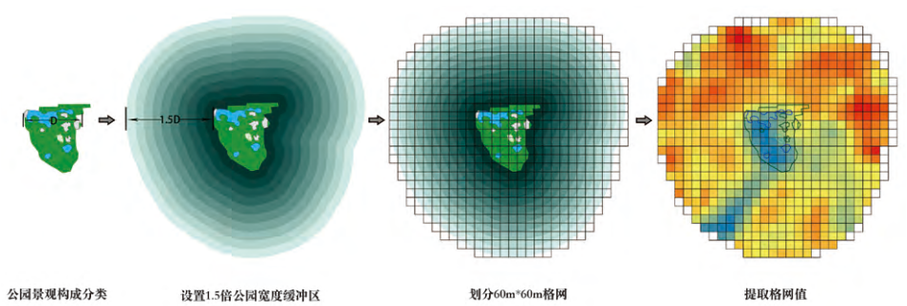


图2　数据提取过程

Fig.2　the process of data extraction

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表1　公园景观特征

Tab.1　the landscape properties of urban park

公园名称	林地面积比（%）	水体面积比（%）	草地面积比（%）	硬质下垫面比（%）	总面积 S/hm^2	公园宽度D /m	景观形状指数 LSI	平均温度 T_{mean}（^{0}C）	降温幅度 ΔT（^{0}C）	降温范围 L_{max}/m	降温效应 Lmax/D	公园景观构成
渝高公园	82.5	6.5	1.7	9.3	4.48	200	1.32	35.95	4.73	210	1.05	
大龙山公园	85.0	0.0	0	15	6.69	245	1.16	36.12	1.79	117	0.48	
巴国公馆公园	69.0	14.6	2	14.4	10.40	270	1.35	37.30	1.36	310	1.15	
花卉园公园	80.1	13.5	2.1	6.4	13.33	400	1.23	34.71	6.33	338	0.85	
百林公园	66.2	19.5	4.6	9.7	13.84	300	1.14	34.64	6.98	229	0.76	
沙坪公园	74.7	8.4	6.9	1	15.83	450	1.3	34.82	3.00	53	0.12	
大渡口公园	34.4	16.9	0	48.7	21.32	350	1.08	34.02	5.50	208	0.59	
华岩寺公园	65.3	13.8	1.4	19.5	63.43	650	1.38	35.72	6.69	405	0.62	
彩云湖湿地公园	65.0	20.5	4	10.5	72.15	350	1.74	33.71	3.49	349	1	
照母山森林公园	90.7	2.9	4.6	1.8	314.95	1100	1.87	31.59	7.53	590	0.54	

受下垫面类型影响，为尽量减少格网内建筑、绿地等要素对温度的影响，结合谷歌地球影像数据，通过人工目视解译对比，将NDVI>0.3（绿地）、建筑密度>0.1（建筑）的混合格网予以剔除。10个公园的数据提取结果如表1。

2　结果与分析

2.1　公园降温效应

随着距离增加，公园外部温度逐渐升高，变化趋于平缓，说明公园对附近区域确实有一定的降温效应（图3）。但是，当公园外部距离的继续增加，其温度呈现出略微下降的趋势。这一方面由于山地城市公园绿地点式分布的特征，当公园外部距离达到一定值后，其热环境可能受到附近多个公园绿地的影响；其次，由于靠近公园区域具有良好的自然景观，人为建设强度大，人为热释放量随公园距离的增加而稍有下降。对10个公园的温度和距离进行曲线拟合分析发现，温度和距离之间的最优拟合函数为三次函数（表2），这与冯悦怡[14]、苏泳娴[20]等人对平原城市公园的研究结果一致。通过计算三次函数拐点，即可确定公园外部温度趋于平缓时的距离值，即公园的降温影响范围Lmax，进而求得距公园Lmax处的温度Tb，将Tb与公园内部平均温度Tmean相减即得到公园的降温幅度ΔT。

从整体来看，除龙头寺公园外，其他公园均有呈现出稳定的降温效应，但降温幅度（1.36~7.53 ℃）和降温范围（53~590 m）差异显著（表1）。尽管在整体趋势上，面积更大的公园表现出更强的降温效应，其降温范围和降温幅度更大，但在使用公园降温范围（L）/公园宽度（D）作为评价公园降温效应的一个参考指标时发现（表1），公园降温效应与公园面积并没有表现出很强的相关关系，降温效应最好的为巴国公馆公园（1.15倍公园宽度），降温效应最差的为沙坪公园（0.12倍公园宽度）。这表明，公园的降温效应并非只受公园面积等单要素的影响，而是公园内外多种要素协同作用的综合表现。

2.2　公园形态及景观构成对降温效应影响

2.2.1　公园形态对降温效应影响

选取表征公园形态的主要参数（面积S、宽度D、形状指数LSI）与公园热环境指数（平均温度Tmean、降温范围Lmax）进行相关性分析。结果发现：一、公园平均温度（Tmean）与公园总面积（S）、公园宽度（D）、公园形状指数（LSI）之间的相性系数分别为-0.775**（P<0.01）、-

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

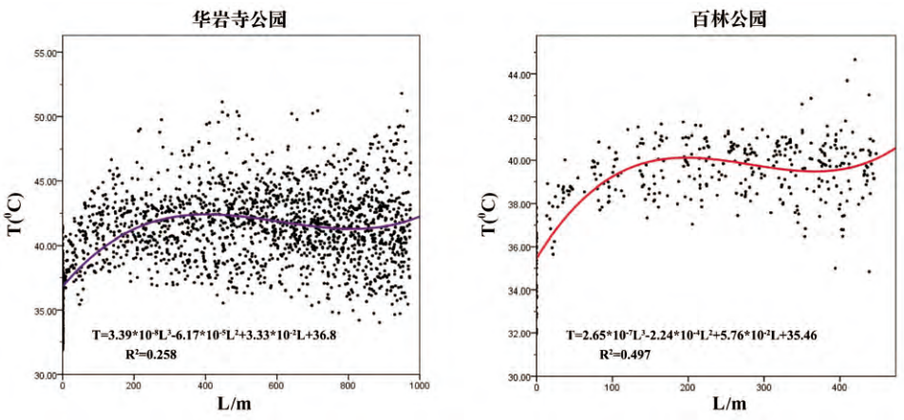


图3　部分公园外部温度与距离拟合曲线

Fig.3　the fitting curve of urban park between outside temperature and distance

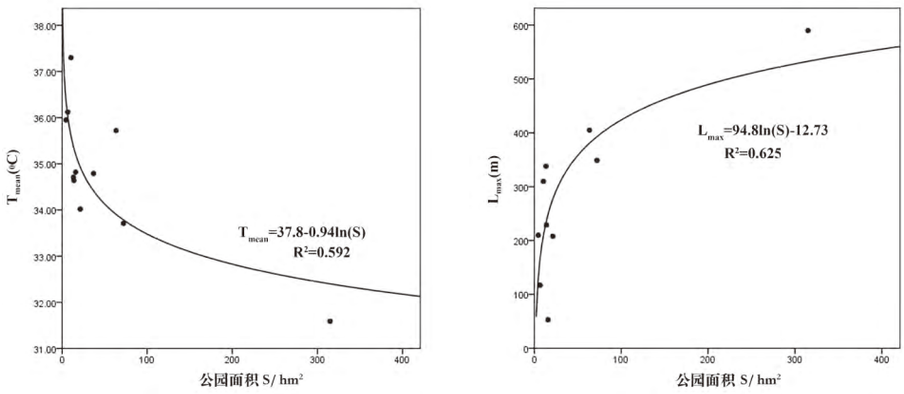


图4　公园面积与内部平均温度、最大降温范围拟合函数

Fig.4　the fitting function between urban park area and mean temperature, maximum distance

表2　公园外部温度与距离拟合函数

Tab.2　the fitting function of urban park between outside temperature and distance

公园名称	公园外部温度（T）与距离（L）最优拟合函数	R^2	显著性	拐点距离 L_{max}/m
渝高公园	$T = 33.32 + 0.11 * L - 5.4*10^{-4} L^2 + 8.75*10^{-7} L^3$	0.21	0	210
大龙山公园	$T = 36.23 + 0.05 * L - 3.49*10^{-4} L^2 + 6.64*10^{-7} L^3$	0.125	0	117
巴国公馆公园	$T = 38.04 + 0.04 * L - 2.65*10^{-4} L^2 + 4.16*10^{-7} L^3$	0.085	0	310
花卉园公园	$T = 35.68 + 0.02 * L - 5.22*10^{-5} * L^2 + 4.03*10^{-8} L^3$	0.211	0	338
百林公园	$T = 35.37 + 0.06 * L - 2.3*10^{-4} * L^2 + 2.73*10^{-7} L^3$	0.497	0	229
沙坪公园	$T = 36.35 + 0.02 * L - 6.49*10^{-5} * L^2 + 6.63*10^{-8} L^3$	0.075	0	53
大渡口公园	$T = 34.85 + 0.04 * L - 1.23*10^{-4} * L^2 + 1.16*10^{-7} L^3$	0.231	0	208
华岩寺公园	$T = 36.80 + 0.033 * L - 6.17*10^{-5} * L^2 + 3.38*10^{-8} L^3$	0.258	0	405
彩云湖湿地公园	$T = 34.17 + 0.039 * L - 1.27*10^{-4} * L^2 + 1.33*10^{-7} L^3$	0.399	0	349
照母山森林公园	$T = 32.96 + 0.023 * L - 2.69*10^{-4} * L^2 + 9.22*10^{-9} L^3$	0.362	0	590

0.709*（P<0.05）、0.629 （P=0.095）。二、公园降温范围与公园总面积、公园宽度、公园形状指数之间的相关性系数分别为0.794**（P<0.01）、0.753*（P<0.05）、0.368（P=0.37）。相关系数说明，公园面积及宽度越大，公园内部平均温度越低，公园的降温范围越大，即公园的降温效应越显著；公园形状越复杂，公园内部平均温度越高。

事实上，面积更大的公园拥有更多的绿地或水体，所能容纳与吸收的热量也更大，表现出更强的降温效应。而形状复杂的公园具有更长的公园边界，公园与外界更大的接触面积，为公园内外冷热空气流通交换提供了便利，公园内部难以维持较低的温度，从而使得公园内部平均温度偏高。然而形状指数只是衡量公园形状变化的一个参数，并不能决定公园内部主要降温因子（绿地、水体）的总量，同时形状指数并不能较好反映公园内凹外凸等各种形态变化，导致了公园形状指数与公园内部平均温度之间表现出较强的正相关关系，而与公园降温范围之间的相关性不强。在公园规划设计中，应该考虑这一特性，针对公园的主要功能及使用对象，选择适宜的公园形状，满足不同的需求。比如，以休憩型为主的公园宜选用规整形状，以维持内部较高的舒适度，而生态类公园绿地等宜选用不规整形状布局，以发挥公园绿地的最佳降温效应。

曲线拟合发现（图4），公园面积（S）和公园平均温度（Tmean）之间的最优拟合函数为Tmean=37.8−0.94*ln（S）（R^2=0.592，P=0.006<0.01），公园面积（S）和公园降温范围（L_{max}）之间的最优拟合函数为L_{max}=94.8ln（S）−12.73（R^2=0.625，P=0.006<0.01）。说明公园的降温效应是随着公园面积的增大而逐渐增加，但单位公园面积上的降温效应却是逐渐降低。为简化计算说明，以10 hm^2和100 hm^2的圆形公园为例，当公园面积在10 hm^2时，其降温效应为20.6 m/hm^2，公园外部降温面积为17.3 hm^2。而当公园面积扩大10倍，达到100 hm^2时，对应的降温效应则下降到4.24 m/hm^2，公园外部降温面积仅扩大3.3倍，为56.5 hm^2。因此，就公园的降温效应而言，考虑到公园建设投入与其降温效应产出，设置多个小型公园比同面积的大型

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

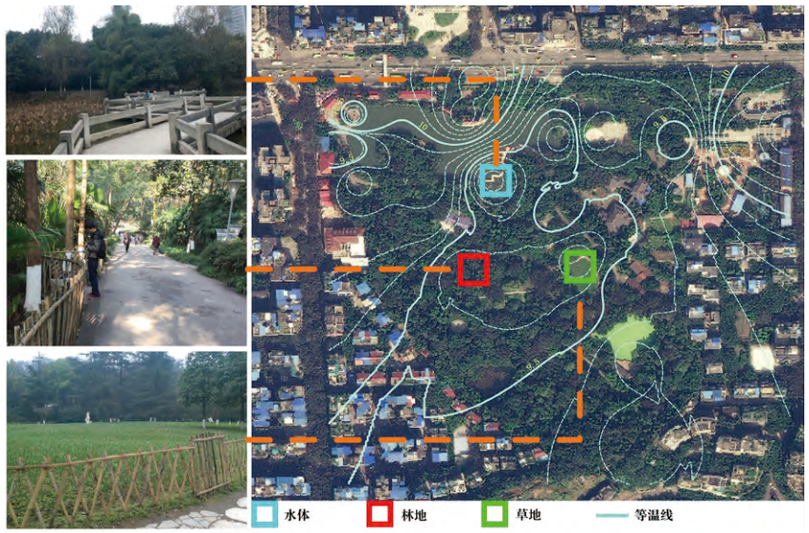


图5　花卉园公园内部测点样本

Fig.5　the sample measure points in Huahuiyuan Park

公园更有效。

2.2.2　公园景观构成对降温效应影响

公园是由绿地、水体、硬质下垫面等多要素构成的混合体，而绿地和水体则是公园的两大主要构成要素，也是缓解热岛效应的有效因子[18,21]。由于本次研究的公园样本中，草地面积所占比较少，绿地主要由林地构成。对林地面积、水体面积、硬质下垫面面积和公园平均温度、降温范围等之间进行相关性分析发现：一、公园内部平均温度Tmean与林地面积、水体面积、硬质下垫面面积之间的相关性系数分别为-0.757**（P<0.01）、-0.555（P=0.087）、-0.316（P=0.344）。二、公园降温范围与林地面积、水体面积、硬质下垫面面积之间的相关性系数分别为0.774**（P<0.01）、0.648*（P<0.05）、0.409（P=0.244）。相关系数说明，公园的降温效应主要依赖于林地和水体，而林地是影响公园降温效应的主要因子。这与人们的常识相悖，理论上水体温度低于其他地表温度，而且水体区域空间开阔，更有利于空气对流和交换，其降温效应应该大于林地。

为此，进一步分析绿地、水体对公园热环境的影响机制，以花卉园公园为例，使用现场实测数据（2016年1月29日），通过GIS空间插值方法，获得局部尺度上的空气温、湿度分布（图5）。结果表明，公园内部空气温度与湿度之间表现出较强的负相关关系，并且与植被分布具有较好的一致性，而空气的温、湿度与水体分布并没有较好的吻合关系。分别选取位于公园内部水体、草地、林地三处实测点数据进行分析，结果发现，在地表温度变化上（图6），水体温度变化最为平缓，相较于树荫下的林地，草地由于直接接受太阳辐射，其地表温度呈现显著的先增后减趋势。在空气温度变化上（图6），三处实测点的空气温度差异较小，只有在下午15:00左右其差异达到最大值（1.1 ℃），空气温度最高为水体测点处（10.6 ℃），最低为草地测点处（9.5 ℃）。在湿度变化上（图7），虽然三处测点均呈现先减后增趋势，并且林地>水体>草地，但在下午15:00过后，草地的湿度迅速回升并超过林地和水体。这表明，虽然水体由于其较大的比热容，可以吸收大量的热量，并通过蒸发作用将热量释放出去，但其降温增湿效应有限。绿地由于较大的叶面积指数，强烈的蒸腾作用加之丰富的植被空间层次，使得其降温增湿效应显著高于水体。

2.3　公园外部空间形态对降温效应影响

重庆属于典型的山地城市，高层高密度的建筑加之剧烈的地形起伏变化，使得地表空间形态更为复杂。公园主要通过空气流通来实现对附近区域的降温增湿效果，公园外部自然地形起伏、人工建筑空间形态所产生的廊道或风墙[22-23]，在一定程度上加速或阻碍局部范围内的空气流动，从而影响公园的降温效应。

2.3.1　自然地表形态对降温效应影响

通过对10个公园的现场踏勘，公园及

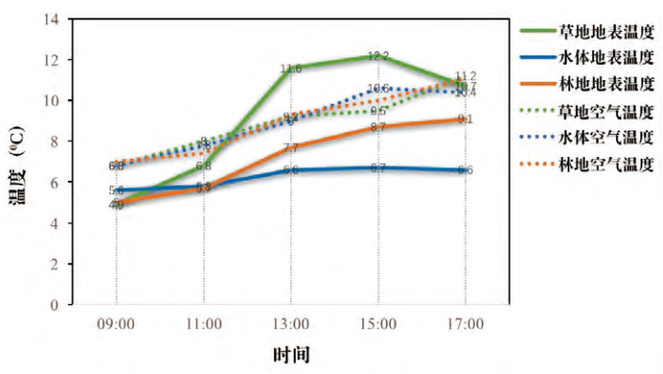


图6　测点地表温度及空气温度变化

Fig.6　the change of land surface temperature and air temperature

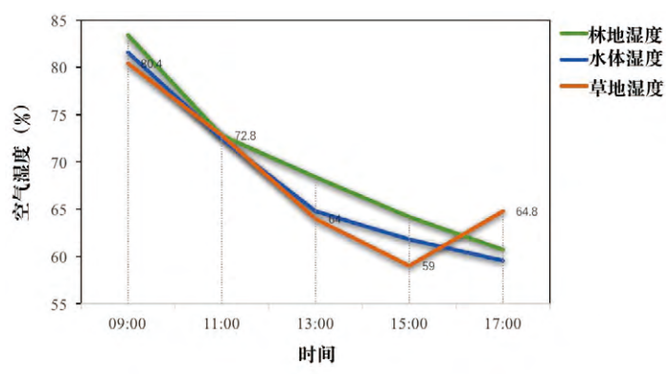


图7　测点空气湿度变化

Fig.7　the change of air humidity

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表3　公园类型

Tab.3　the type of urban park

公园类型	类型特征	公园名称	公园布局示意图
盆地型	地形起伏剧烈，公园内外高差大，道路或建筑位于周边较高处，中间低洼处为公园区域	彩云湖湿地公园	
平地型	地形起伏平缓，公园内外地形高差较小	渝高公园、巴国公馆、百林公园、花卉园、大渡口公园、沙坪公园	
山地型	地形复杂，公园内外高差大，道路或建筑位于公园周边较低处，中间山丘地段为公园区域	照母山森林公园、大龙山公园、华岩寺公园	

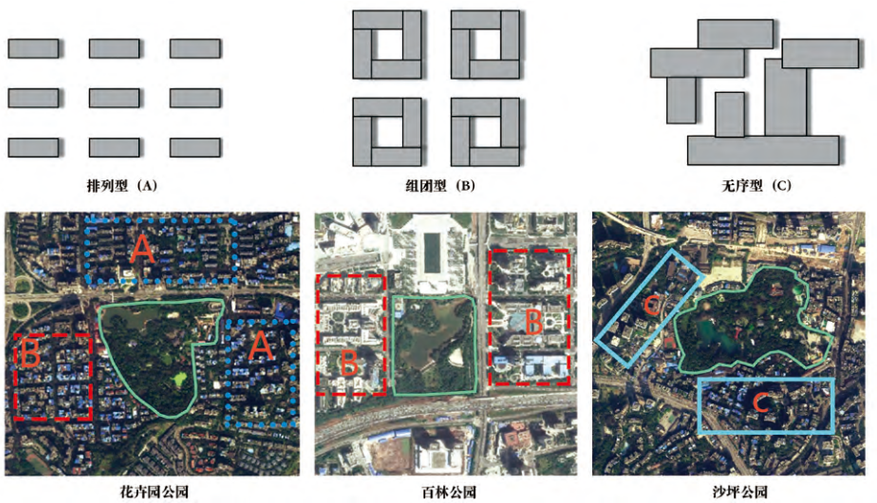


图8　公园周边建筑布局形态

Fig.8　the layout of building around urban park

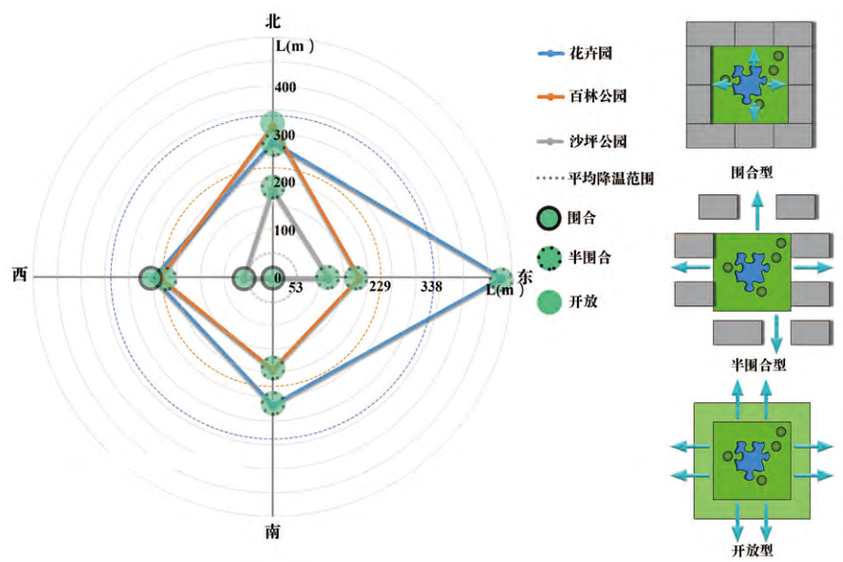


图9　公园周边建筑群与公园围合关系及降温效应分析

Fig.9　the relationship between urban park and its surrounding building

其周边的自然地表形态可以归类划分为盆地型、平地型、山地型三类（表3）。为了分析自然地表形态对公园降温效应的影响，首先提取并计算每个格网内的LST、高程、坡度、坡向值等，使用SPSS对各参数进行相关性系数分析。结果发现LST与地表高程、坡度、坡向等之间均没有显著的相关关系，这说明，由高程、坡度、坡向等影响的建设强度（人为热）或太阳辐射量（自然热）之间的差异较为微弱。

为进一步分析自然地表形态与公园降温效应之间的关系，以面积较大且地形起伏变化较大的彩云湖公园（盆地型）、华岩寺公园（山地型）为例，以公园边界为起点，分别向几个主要的地表形态变化方向作提取线，提取所经过格网内的LST值、L值、高程值，使用三次函数求拐点的方式求取公园在不同地表形态方向上的最大降温范围。结果发现，彩云湖湿地公园在垂直山脊方向的最大降温范围为87 m，在平行山脊的峡谷方向上最大降温范围为136 m；而华岩寺公园位于低洼谷地与平地交界处，地形复杂，华岩寺公园在平地方向上的最大降温范围为384 m，在谷地方向上的最大降温范围为609 m。这表明，地形起伏变化确实在一定程度上影响公园的降温范围，公园外部地形上升并与公园呈围合之势时，山脊影响并阻碍了公园内外空气流通交换，迫使公园内部冷空气向地形相对较低的峡谷方向流动，从而在整体上缩减了公园降温影响范围；公园外部地形下降使得公园呈开敞之势时，不仅有利于公园内外空气流通交换，而且与冷空气流动方向一致，从而使公园降温影响范围更广。

2.3.2　公园周边建筑空间形态对降温效应影响

公园周边建筑空间形态是影响公园降温效应的另一重要因子，尤其是在山地城市用地紧张的情况下，高层高密度建筑所形成的建筑“风墙”对公园的热环境效应影响更为显著。结合Google Earth影像及现场踏勘，发现公园周边建筑不仅由于其本身围合方式（排列型、组团型、无序型）的差异导致空间形态的分异（图8），而且整体建筑群的布局方式也与公园之间产生了不同的空间围合关系（围合、半围合、开放）（图9）。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

以公园周边建筑围合及空间形态较为典型的花卉园、百林公园和沙坪公园为例，以公园边界为起点，分别沿东、南、西、北四个方向作温度提取线，提取所经过的每个格网内LST值、L值、建筑密度值。使用三次函数求拐点的方式求取公园在不同方向上的最大降温范围。

花卉园在东面方向上，建筑呈排列型布局并且与公园形成半围合之势，建筑与绿地相互穿插交织，形成若干通风廊道，在此方向上的影响范围最远（480 m）。在南面（249 m）和西面（266 m）方向上，山峦及建筑布局的多样变化，均不同程度的阻碍了公园内部空气往外流通，公园影响范围较弱。而在公园北面的方向上，建筑布局较为规整，并且平行于公园边界排列，与公园之间的空间围合感较强，但有一条正对公园的通风廊道，公园冷空气可以有效流通并穿越，公园在此方向上的降温范围次之（284 m）。

百林公园周边建筑布局规整，呈显著组团式布局，在东（181 m）、南（192 m） 两个方向上各有一条城市主干道、城市快速道路横穿而过，大量汽车经过释放的热量，极大影响了公园的降温效应。西面仅有一条城市支路，车流量较少，且有一条垂直于公园的支路，在此方向上的降温影响范围有所提升（235 m）。北面方向为广场开放空间，公园降温影响范围最远（318 m）。

沙坪公园为典型围合型公园，周边建筑大多无序布局排列，空间形态散乱。在公园东面方向，虽然建筑围合程度较高，但相对开敞的公园主入口为空气流通提供了便利，在此方向上的降温影响范围为118 m。在公园南面方向上，建筑紧密穿插，建筑“风墙”效应较强，没有稳定的降温效应。公园西面，建筑密度虽然有所降低，但高、低层建筑此起彼伏，只有微弱的降温效应（53 m）。在公园北面方向上，建筑密度显著降低，并且有较宽的通风廊道，降温影响范围最大（186 m）。

由此可知，在公园外部空间上，通风廊道可以有效提升公园的降温范围，但在高密度城区内，由道路或绿地形成的通风廊道有限，公园降温范围更多的是受建筑空间形态的影响。相比于无序布局建筑所形成的“风墙”，规则布局的建筑更有利于空气流通，从而使得公园降温影响范围更远。

3 结 论

从公园内部景观特征上看，公园的降温效应主要受公园面积和宽度的影响，公园的最大降温影响范围大约是1倍公园宽度。虽然公园降温效应随公园面积的增大而逐渐增加，但是面积越大的公园其单位面积上的降温效应越低，多个小型公园比同面积的一个大公园具有更好的降温效应。形状简单的公园能较好维持内部温度，适用于休憩型公园规划设计，而形状复杂的公园具有较好的降温效应，适用于生态型公园规划设计；绿地的降温效应显著高于水体。从公园外部空间形态上看，由自然地形起伏形成的峡谷或山脊，加速或阻碍空气流通，从而影响公园的降温范围，山地型公园比盆地型公园具有更好的降温效应；公园周边建筑围合及空间形态显著影响公园降温范围，少量正对公园的通风廊道及规则布局的建筑形态可以有效提升公园降温范围。

山地城市在进行公园规划时，应充分利用地形优势，形成公园绿地与建设用地相互穿插、分散布局城市空间形态。同时针对公园绿地的使用对象及功能对公园绿地面积、形态进行优化，休憩型公园绿地集中规则布局，生态型公园绿地多样分散布置。山地建筑在因地就势的前提下，建筑群尽量呈规则组团布局，通过绿地廊道串联各组团，以最大化发挥公园绿地的降温生态效应，缓解城市热岛效应。

参考文献：

[1] 王宝鉴, 宋连春, 张强, 等. 石羊河流域水资源对气候变暖的响应及对生态环境的影响[J]. 地球科学进展, 2007, 22(07): 730-737.

[2] 王静, 常青, 柳冬良. 早春草本植物开花物候期对城市化进程的响应——以北京市为例[J]. 生态学报, 2014, 34(22): 6701-6710.

[3] 肖荣波, 欧阳志云, 李云峰, 等. 城市热岛的生态环境效应[J]. 生态学报, 2005, 25(08): 2055-2060.

[4] WILSON B. Urban form and residential electricity consumption: Evidence from Illinois, USA[J]. Landscape and Urban Planning, 2013, 115(07): 62-71.

[5] CORBURN J. Cities, Climate change and urban heat Island mitigation: localising global environmental science[J]. Urban Studies, 2009, 46(02): 413-427.

[6] FOUILLET A, REY G, LAURENT F, *et al*. Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France[J]. International Archives of Occupational and Environmental Health, 2006, 80(01): 16-24.

[7] 杨续超, 陈葆德, 胡可嘉. 城市化对极端高温事件影响研究进展[J]. 地理科学进展, 2015, 34(10): 1219-1228.

[8] 埃维特·埃雷尔, 戴维·珀尔穆特, 特里·威廉森. 城市小气候——建筑之间的空间设计[M]. 叶齐茂, 倪晓晖, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.

[9] 郭伟, 申屠雅瑾, 邓巍, 等. 城市绿地对小气候影响的研究进展[J]. 生态环境, 2008(06): 2520-2524.

[10] GOBER P, BRAZEL A, QUAY R, *et al*. Using watered landscapes to manipulate urban heat island effects: how much water will it take to cool Phoenix?[J]. Journal of the American Planning Association, 2009, 76(01): 109-121.

[11] CHANG C R, LI M H, CHANG S D. A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks[J]. Landscape and Urban Planning, 2007, 80(04): 386-395.

[12] FEYISA G L, DONS K, MELBY H. Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa[J]. Landscape and Urban Planning. 2014, 123(02): 87-95.

[13] 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(04): 224-231.

[14] 冯悦怡, 胡潭高, 张力小. 城市公园景观空

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

间结构对其热环境效应的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3179-3187.
[15] 杨永川, 齐猛, 杨柯, 等. 重庆都市区人工湖的热湿效应研究[J]. 西部人居环境学刊, 2015, 30(03): 77-81.
[16] 韩贵锋, 叶林, 孙忠伟. 山地城市坡向对地表温度的影响——以重庆市主城区为例[J]. 生态学报, 2014, 34(14): 4017-4024.
[17] 国家统计局. 重庆市统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
[18] LI C, YU C W. Mitigation of urban heat development by cool island effect of green space and water body[J]. Lecture Notes in Electrical Engineering, 2014(261): 551-561.
[19] 邓书斌, 陈秋锦, 杜会建, 等. ENVI遥感图像处理方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2014: 422-424.
[20] 苏泳娴, 黄光庆, 陈修治, 等. 广州市城区公园对周边环境的降温效应[J]. 生态学报, 2010, 30(18): 4905-4918.
[21] 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(03): 147-155.
[22] HATHWAY E A, SHARPLES S. The interaction of rivers and urban form in mitigating the Urban Heat Island effect: A UK case study[J]. Building and Environment, 2012, 58(12): 14-22.
[23] WONG M S, NICHOL J E, NG E. A study of the "wall effect" caused by proliferation of high-rise buildings using GIS techniques[J]. Landscape and Urban Planning, 2011, 102(04): 245-253.

图表来源：

图1-9: 作者绘制

表1-2: 作者绘制

收稿日期: 2016-11-22

（编辑: 刘志勇）

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net