

基于遥感数据的银川市城市公园对城市热环境降温效应分析

张晓东, 赵银鑫, 马风华, 刘乃静, 张勇, 褚小东, 吴文忠

(宁夏回族自治区地质调查院, 宁夏 银川 750021)

摘要: [目的] 研究宁夏回族自治区银川市城市公园对城市热环境降温效应的影响, 为改善城市热环境措施的制定提供科学依据。[方法] 基于 Landsat 8 数据反演了银川市城区 17 个公园的地表温度, 利用景观格局和缓冲区分析方法, 探讨城市公园斑块特征和景观空间结构特征对城市内部热环境的响应规律, 定量分析城市公园对周边环境降温效应的辐射范围和变化幅度, 研究典型公园水域景观的热环境效应。[结果] ①银川市公园景观斑块特征差异较为显著且对其内部温度影响明显, 其内部温度与面积、周长呈显著负相关, 而与周长面积比呈显著正相关。②公园内部温度与公园景观构成、斑块形态特征和景观空间分布特征关系密切, 降温效应与绿地和水面面积显著负相关, 与公园景观形状指数、绿地景观形状指数、不透水面形状指数以及水体聚集度指数显著负相关。③17 个公园景观对周边热环境降温效果较为显著, 拟合结果显示最大降温影响距离主要分布在 200—300 m 之间, 总体上对 100 m 区域范围内降温效果最为明显。④面状水域能够有效降低水域周边地表温度, 比线状水域对城市热岛效应具有更好的降温效果。[结论] 在城市公园规划和设计时, 应综合权衡公园斑块和景观空间结构特征对其降温效果的影响, 适当增加公园和绿地斑块边界形状的复杂度, 进而更好地改善城市热环境。

关键词: 城市公园; 热环境效应; 地表温度; 遥感; 银川市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2021)05-0338-10

中图分类号: P461, TP79

文献参数: 张晓东, 赵银鑫, 马风华, 等. 基于遥感数据的银川市城市公园对城市热环境降温效应分析[J]. 水土保持通报, 2021, 41(5): 338-347. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.05.043; Zhang Xiaodong, Zhao Yinxin, Ma Fenghua, et al. Analysis on cooling effect of urban parks on urban thermal environment in Yinchuan City based on remote sensing [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(5): 338-347.

Analysis on Cooling Effect of Urban Parks on Urban Thermal Environment in Yinchuan City Based on Remote Sensing

Zhang Xiaodong, Zhao Yinxin, Ma Fenghua, Liu Naijing, Zhang Yong, Chu Xiaodong, Wu Wenzhong
(Ningxia Geological Survey Institute, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: [Objective] The cooling effect of city parks on the urban thermal environment in Yinchuan City, Ningxia Hui Autonomous Region was studied in order to provide guidance for policy-making to improve cooling of the urban thermal environment. [Methods] Land surface temperature (LST) was retrieved from Landsat 8 remote sensing data, and 17 city parks in Yinchuan City were selected to determine the influence of spatial characteristics of the parks' patch characteristics and landscape spatial structure on the internal thermal environment of the city. The cooling effect distance of city parks to the surrounding thermal environment was analyzed, and its affecting extent was quantified. Further research on the thermal environment effect of a typical urban park water area landscape was carried out using landscape pattern and the buffer analysis method. [Results] ① The landscape patch characteristics were significantly different, and the impact on the internal temperature of the park was significant. The internal temperature was significantly negatively correlated with area and

收稿日期: 2020-12-29

修回日期: 2021-05-31

资助项目: 宁夏回族自治区自然科学基金项目“基于遥感的银川市城区热环境时空格局形成机制及其与地表参数响应关系研究”(2020AAC03444); 宁夏回族自治区财政厅财政专项“银川都市圈城市地质调查项目”(宁财(预)发[2017]320号)

第一作者: 张晓东(1980—), 男(汉族), 宁夏回族自治区固原市人, 博士, 高级工程师, 主要从事环境遥感应用研究工作。Email: 33131692@qq.com。

perimeter, but significantly positively correlated with perimeter area ratio. ② The internal temperature of the park was closely related to landscape composition, patch morphology, and landscape spatial distribution. The cooling effect was negatively correlated with the area of green space, waterbody, landscape shape index, green landscape shape index, impervious surface shape index, and water aggregation index. ③ The cooling effect of the 17 park landscapes on the surrounding thermal environment was significant, with the maximum cooling distance mainly distributed between 200 m and 300 m. The cooling effect was most obvious within 100 m. ④ Water patches could effectively reduce LST around the water area, and had a better cooling effect on the urban heat island effect than linear water. [Conclusion] During the planning and design of city parks, designers should comprehensively weigh the impact of park patches and landscape spatial structure characteristics on their cooling effects, focus on the area of park green spaces and water bodies, and try to appropriately increase the complexity of boundary shapes of parks and water patches in order to better improve the cooling effect of the urban thermal environment.

Keywords: city park; thermal environment effect; land surface temperature (LST); remote sensing; Yinchuan City

快速的城市化进程虽然极大地提高了人类生活质量,但在该过程中城市景观类型和格局改变剧烈,不透水面积大幅增加,对区域生物多样性、生态系统和气候变化造成了很大影响,导致了城市热岛、大气污染和生态失衡等诸多城市化环境问题^[1-3]。其中,城市热环境问题不仅影响人体舒适度,而且对城市的可持续发展提出了挑战,已成为城市生态环境问题的重要内容之一^[4]。

城市公园作为城市重要的绿色景观,不仅是居民休憩娱乐的场所,而且在改善城市生态环境质量、调节城市微气候、净化空气、缓解城市热岛效应等方面发挥着重要作用^[5]。研究表明^[6-8]城市公园中的绿地和水体景观具有降温增湿和调节局部小气候的生态功能,能有效降低地表温度,是缓解城市热岛效应的重要途径之一。

近年来,学者们对城市公园的热环境效应开展了大量的研究工作,主要利用遥感技术并引入景观生态学方法定量分析公园的景观结构、空间分布特征、绿地垂直结构以及绿地和水体比例等因子对其降温效果的影响,而公园降温范围则采用缓冲区法进行定量分析,定量确定公园对周边温度的影响大小和范围^[9-12]。

银川市作为宁夏回族自治区首府,处于快速城市化进程中,城市热岛效应显著^[13-14],缓解银川市城市热岛效应已成为银川市城市建设中亟待解决的问题,而该地区城市公园景观的热环境效应研究未见报道。因此,本文基于 Landsat 8 遥感影像反演银川市城区地表温度,选取银川市城区 17 个公园为研究对象,拟通过景观格局分析和缓冲区分析方法,定量研究银川城市公园空间景观结构特征与城市热环境效应的响应关系,以为未来银川市城市公园建设和城市生态环境规划提供相关决策依据。

1 研究区概况

银川市作为西北地区重要的中心城市和中蒙俄、新亚欧大陆桥经济走廊核心城市,是西北城市化发展较为迅速的城市之一,气候属温带大陆性气候,总辐射量 5 443.3~6 692.28 MJ/(m²·a),全年日照总数 2 800~3 000 h,年平均气温为 8.5 °C,最热的 7 月月平均气温约 23.9 °C,月平均最高气温 29.9 °C,多年平均降水量约 250 mm。近年来快速发展的经济使城市不透水面积持续增加,热岛影响范围不断扩大,城市热岛效应愈发显著。

研究银川市城区公园绿地的降温效应,掌握其对城市热岛效应减缓的变化规律,对改善城市热环境具有重要意义。本文选取银川市城区内的如意湖公园、阅海公园、宁大湖公园、西夏公园、解放公园、森林公园、凤凰公园、典农河滨水景观公园、海宝公园、中山公园、宝湖公园、七十二连湖、植物园、丽景湖公园、章子湖公园、三沙源中央公园、鸣翠湖国家湿地公园这 17 个公园作为研究对象。各个公园的基本信息见表 1。

2 研究方法

2.1 数据源及预处理

本研究主要使用的遥感数据源为 2017 年 9 月 6 日 11 时 31 分 06 秒的 Landsat 8 (OLI 和 TIRS) 和 2017 年 6 月 16 日的 GF2 遥感影像数据。其中 Landsat 8 用于反演地表温度,轨道号为 129/33,影像质量良好,无云和条带,地面特征清晰;GF2 用于城市公园信息提取。以上数据在 ENVI 5.0 中对其完成了几何校正、重采样、图像裁剪等预处理,几何校

正均方根误差(RMSE)控制在 0.5 像元内。此外,选取地理空间数据云提供的与 Landsat 8 数据相同日

期的 MODIS 地表温度 8 d 合成产品作为地表温度反演精度验证数据。

表 1 银川市城区内 17 个公园基本信息

公园编号	地理坐标		面积/m ²	周长/m	公园平均温度/°C	500 m 范围内平均温度/°C	水体比例/%
	经度 E	纬度 N					
1	106°21'10"	38°34'10"	1 005 088.48	19 501.34	29.29	33.72	69.51
2	106°12'23"	38°31'50"	16 233 860.11	204 951.39	26.21	29.26	66.77
3	106°08'19"	38°29'48"	223 958.78	6 531.79	31.27	35.82	36.70
4	106°06'57"	38°29'20"	136 270.98	4 887.96	32.09	36.69	11.87
5	106°08'47"	38°29'01"	98 976.69	4 268.33	32.77	38.61	19.15
6	106°12'03"	38°28'46"	746 091.22	23 048.98	29.18	32.91	47.28
7	106°13'07"	38°29'40"	1 079 804.86	25 255.05	29.77	31.05	21.11
8	106°12'39"	38°28'05"	2 069 493.37	73 634.43	29.02	33.10	43.94
9	106°16'39"	38°29'33"	1 940 922.54	38 515.31	29.40	32.33	37.51
10	106°15'45"	38°28'33"	419 080.03	10 019.72	29.07	34.20	14.47
11	106°15'08"	38°27'02"	940 848.58	20 247.75	27.89	31.68	45.41
12	106°15'14"	38°25'51"	4 405 921.28	81 554.03	29.75	33.44	45.56
13	106°10'22"	38°25'13"	660 135.64	16 568.89	29.81	34.42	9.55
14	106°18'01"	38°27'49"	201 428.88	5 776.41	30.62	34.75	32.82
15	106°18'45"	38°25'25"	935 612.04	10 420.86	27.22	32.41	80.46
16	106°12'48"	38°23'04"	736 231.43	22 339.85	29.28	35.29	50.28
17	106°22'08"	38°23'15"	4 250 296.27	32 761.75	25.82	27.53	86.42

注:公园编号 1 为如意湖公园,2 为阅海公园,3 为宁大湖公园,4 为西夏公园,5 为解放公园,6 为森林公园,7 为凤凰公园,8 为典农河滨水景观公园,9 为海宝公园,10 为中山公园,11 为宝湖公园,12 为七十二连湖,13 为植物园,14 为丽景湖公园,15 为章子湖公园,16 为三沙源中央公园,17 为鸣翠湖国家湿地公园。

2.2 地表温度反演

本文采用辐射传输方程法分别对 Landsat 8 的热红外波段进行反演。热红外波段数据经辐射定标后,可根据 Planck 辐射函数计算得到地表亮度温度,然后参考 Barsi 等^[15]对 Landsat 8 波段 10 利用辐射传输方程反演地表温度,主要反演参数如下:透射率 τ_{10} 为 0.91,大气向上、向下辐射亮度分别为 0.68, 1.19 W/(m² · sr · μm),地表比辐射率采用 NDVI 阈值法获取,其计算公式为:

$$L_{10} = \text{gain} \cdot \text{DN} + \text{bias} \quad (1)$$

$$T_s = \frac{C_1}{C_2 \left\{ \frac{\lambda_{10}^5 \left[(L_{10} - I_{10}^{\uparrow} - \tau_{10} (1 - \epsilon_{10}) I_{10}^{\downarrow}) \right]}{\tau_{10} \epsilon_{10}} + 1 \right\}} \quad (2)$$

式中: L_{10} 为热红外波段辐射亮度值, DN 为影像灰度值, gain 和 bias 为热红外波段的增益与偏置,分别取值 0.000 334, 0.1; T_s 为地表温度; C_1, C_2 为常数,

分别取值为 14 387.7 μm/K 和 1.19×10^8 W/(μm⁴ · m² · sr), λ_{10} 取 10.9 μm, ϵ_{10} 为 TIRS10 波段的地表比辐射率, τ_{10} 为大气在 TIRS10 波段的透过率, I_{10}^{\uparrow} 和 I_{10}^{\downarrow} 分别为大气向上辐射亮度和大气向下辐射亮度。

2.3 景观格局指数选取与计算

城市公园景观的空间结构特征与其空间布局是影响公园“冷岛效应”的重要因素^[11]。本文参考冯悦怡等^[1]和阮俊杰^[3]的研究成果和方法,结合银川市城市公园景观的特点,采用目视解译法将研究区城市公园内部土地覆盖类型划分为绿地(草地和林地)、水体和不透水面 3 大类型,从景观构成、斑块形态特征和空间布局特征 3 个方面选取公园景观面积、形状指数、聚集度等 10 个公园景观特征指标(表 2),基于 Fragstats 4.2 平台定量描述公园景观镶嵌体空间特征,探讨公园结构与其降温效应的关系,各个指标的意义及具体测定和计算方法参阅 Fragstats 4.2 用户指南及郇建国^[16]的研究。

表 2 银川市城市公园景观特征指标选择

项 目	空间景观特征指标
景观构成	绿地面积 A_G , 水体面积 A_w , 不透水面面积比例 P_B
斑块形态特征	公园景观形状指数 LSI, 绿地景观形状指数 LSI_G , 水体景观形状指数 LSI_w , 不透水面景观形状指数 LSI_B
空间布局特征	绿地聚集度 AI_G , 水体聚集度 AI_w , 不透水面聚集度 AI_B

2.4 缓冲区分析

缓冲区分析是在空间地理要素(点、线、面)周围根据缓冲半径建立而形成的具有一定宽度范围缓冲区(圆形、平行条带多边形或面状多边形),是解决空间实体的邻近度问题常用的空间分析工具之一,该方法可分析空间实体在周围的影响区域^[17],广泛应用于交通、资源管理、城市规划等领域。从数学角度看,缓冲区是给定空间对象或集合后获得的他们的邻域,邻域的大小由邻域的半径或缓冲区建立条件来决定。因此,对于一个给定的对象 A ,它的缓冲区可以定义为:

$$P = [x | d(x, A) \leq r] \quad (3)$$

式中: P 为缓冲区; A 为地理要素; d 一般是欧式距离,也可以是其他距离,其中 r 为邻域半径或缓冲半径区建立的条件。

2.5 公园对周边降温模型

研究表明,公园对周边热环境的降温效应到一定范围之后会逐渐减缓,地表温度的变化趋于平稳,此时公园的“冷岛”效应也逐渐消失^[1,18-19]。本文采用苏泳娴等^[18]的研究模型,利用三次多项式拟合公园边界点温差(ΔT)和距离(L)之间的关系,确定研究区 17 个公园对周边热环境的降温范围和幅度,其模型表达如下:

$$\Delta T(L) = \begin{cases} aL^3 + bL^2 + cL & (0 \leq L \leq L_{\max}) \\ \Delta T_{\max} & (L > L_{\max}) \end{cases} \quad (4)$$

$$L_{\max} = (-b - \sqrt{b^2 - 3ac}) / 3a \quad (5)$$

$$\Delta T_{\max} = \frac{2b^3 + (2b^2 - 6ac)\sqrt{b^2 - 3ac} - 9abc}{27a^2} \quad (6)$$

式中: a, b, c 分别为三次多项式中三次项、二次项和一次项的拟合系数; L_{\max} 和 ΔT_{\max} 分别为公园对周边影响的最大距离和最大温差。

3 结果与分析

3.1 公园热环境效应的整体空间分布特征

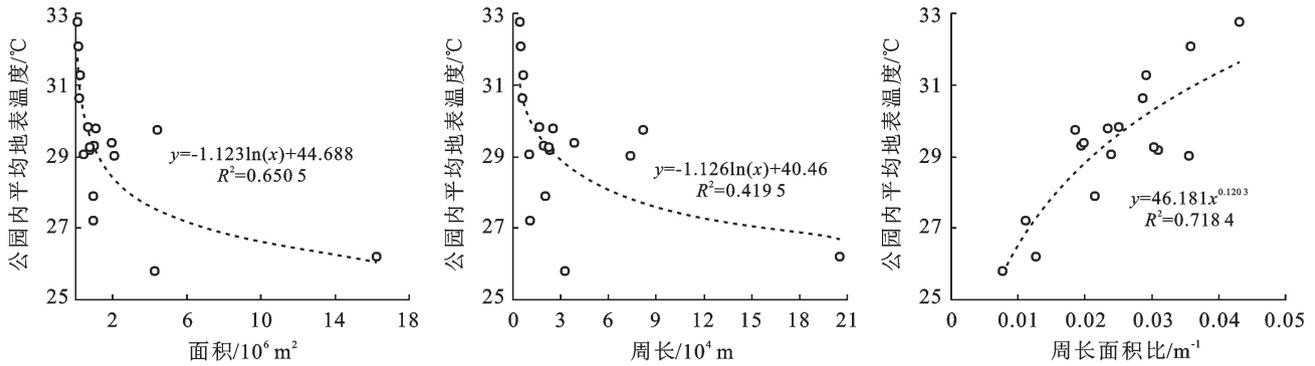
利用公式(1)~(2)反演得到研究区 2017 年的地表温度,采用张晓东等^[20]的方法利用 MODIS 地表温度产品对反演的地表温度进行验证。验证结果显示, Landsat 8 反演得到的地表温度和 MODIS 地表温度产品的相关系数为 0.73,结合 2017 年 9 月平均气温约 20.3 °C,表明反演的地表温度可以较好的满足本研究的需求。将城市公园和地表温度进行空间叠置分析并对公园的温度进行统计,发现公园内部平均温度为 29.32 °C,而公园 500 m 缓冲区范围内平均温度约为 33.37 °C,城市公园“冷岛”效应显著,且公园内

部平均温度在空间上表现出一定的空间分布规律,即离城市热岛中心近的公园平均温度明显高于远离城市中心的公园,如章子湖公园和鸣翠湖国家湿地公园距城市中心较远,受热岛效应影响也随之减小,公园温度也相对较低,尤其是鸣翠湖在 17 个公园中温度最低仅为 25.82 °C。由此可见,空间位置是影响公园热环境效应的重要因素之一。

3.2 公园斑块特征及热环境效应

公园景观斑块的空间格局特征直接影响其周边热环境变化程度,是城市公园规划和设计的重要内容之一,其与生态学过程的关系是景观生态学研究的一个核心问题^[21-22]。为定量研究银川市城市公园斑块空间格局对周围热环境的影响效应,本研究以 GF2 遥感影像为基础,提取研究区 17 个主要公园信息,引入景观斑块面积、周长和周长面积比 3 个斑块特征指标,并对其进行统计。结果显示,银川市主要公园 3 个斑块特征指标差异明显,整体斑块特征差异较为显著,其中阅海公园的面积和周长均为最大,解放公园的面积和周长均为最小,从边界复杂性来看,解放公园的周长面积比最大,而鸣翠湖国家湿地公园的最小。

将公园景观斑块与城市热环境进行叠加分析,并分别采用多种函数(线性、对数、指数、乘幂等)对 3 个斑块特征指标与地表温度进行拟合(图 1)。结果表明,公园景观内部温度与斑块面积、周长均呈显著负相关且对数函数拟合效果最好,相关系数分别为 -0.806 5 和 -0.647 7;而与斑块周长面积比呈显著正相关且幂函数拟合效果最好,相关系数为 0.854 2。具体来看,斑块面积较大的阅海公园和鸣翠湖国家湿地公园温度较低,分别为 26.21 °C 和 25.82 °C;而面积较小的宁大湖公园、丽景湖公园、西夏公园以及解放公园温度均高于 30 °C;阅海公园、七十二连湖和典农河滨水景观公园的斑块周长较大,对应公园温度分别为 26.21 °C, 29.75 °C 和 29.02 °C,而周长较小的西夏公园以及解放公园温度达到了 32 °C 以上;斑块周长面积比较小的鸣翠湖国家湿地公园、章子湖公园和阅海公园的内部温度分别为 25.82 °C, 27.22 °C 和 26.21 °C,而解放公园和西夏公园的斑块周长面积比较大,对应温度分别为 32.77 °C 和 32.09 °C。综上所述,公园景观的内部温度与斑块面积和周长呈显著负相关,公共温度随公园面积和周长斑块的增加而降低,且随着面积和周长的增加,公园内部温度下降趋势趋于缓和;而与斑块周长面积比呈显著正相关,其温度随着周长面积比的增加而增加。



注:回归方程均通过 1% 的显著性检验。

图 1 银川市城市公园景观斑块面积、周长和周长面积比与公园内平均温度关系

3.3 公园景观特征对公园内部热环境的影响

研究表明,公园内部景观构成是公园内部温度重要的影响因素。对 17 个公园内部的绿地、水体和不透水面地表温度的统计结果显示,3 种地表覆盖类型的地表平均温度分别为 29.95 °C, 27.53 °C 和 31.95 °C, 水体温度最低而不透水面温度最高。为进一步探讨公园景观构成与地表温度的关系,将 17 个公园内部平均温度与所选的 10 个公园景观特征指标进行拟合分析(表 3),结果显示:公园内部平均温度与绿地面积和水面面积显著负相关且呈对数变化关系(图 2a, 2b),

而与不透水面面积比例相关性并不明显(图 2c)。此外,统计 17 个公园绿地、水体和不透水面的比例,结果表明当水体面积比例超过 50%,不透水面面积比例低于 17% 时,公园内部平均温度均低于 30 °C,如阅海公园和鸣翠湖国家湿地公园,说明公园绿地和水面面积越大,不透水面面积越小,对公园的降温效果越好。进一步分析可以发现,当绿地和水面面积相对较小时,公园内部温度对二者的变化较为敏感,但随着绿地和水面面积不断增大,公园内部温度下降趋势逐渐减缓。

表 3 银川市城市公园空间结构特征与其平均温度相关系数

项目	景观构成			斑块形态特征			空间布局特征			
	A_G	A_w	P_B	LSI	LSI_G	LSI_w	LSI_B	AI_G	AI_w	AI_B
相关系数	-0.575*	-0.605*	0.463	-0.719**	-0.565*	-0.284	-0.507*	0.200	-0.691**	-0.052

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

从斑块形态特征来看,公园平均温度与公园景观形状指数、绿地景观形状指数和不透水面形状指数显著相关且呈指数负相关关系(图 2d, 2e, 2g),与水体景观形状指数相关性不显著(图 2f),表明公园和绿地形状越复杂,对公园的降温效果越明显,而水体的形状则对公园的热环境变化影响并不明显。因此,增加公园斑块和绿地斑块形状的复杂程度能够一定程度上提高公园的降温效果。景观空间分布特征表明,水体聚集度指数与公园温度呈显著相关的指数负相关关系(图 2i),聚集度指数越高,水体分布越集中,公园平均温度越低;而绿地和透水面聚集度指数与公园温度相关性并不显著(图 2g 和图 2j)。由此可见,公园内部扩大绿地和水面面积,适当增加公园、绿地和透水面的复杂度,设置集中成片的水体有助于降低其温度。

3.4 公园的降温影响范围和幅度

为定量确定公园的降温影响范围和幅度,以 50 m 为缓冲半径对 17 个公园构建缓冲区,并以缓冲环离

公园的距离(L)为自变量,以缓冲环内温差(ΔT)为因变量,采用三次多项式对各个公园进行拟合分析,建立公园降温影响范围和幅度模型,利用公式(5)和公式(6)计算出各公园对周边降温影响的最大温差不影响最大距离(表 4, 图 3)。研究结果表明:① 17 个公园的拟合三次多项式拟合程度较高, R^2 均大于 0.8;② 公园周边温度在到达最大影响距离之前,均呈上升趋势,随后温度逐渐趋于稳定,虽然仍在较小范围内波动,但该波动是由于周边地表覆盖类型变化等其他因素导致,整体上依然可以认为是近似于代表常数的水平直线^[18-19];③ 所选公园的最大降温影响距离主要分布在 200—300 m 范围,其中典农河滨水景观公园和西夏公园的最大降温影响距离相对较小,均小于 200 m,而凤凰公园的最大降温影响范围最大,约为 385.02 m;从最大温差来看,章子湖公园最大,约为 7.58 °C,而鸣翠湖国家湿地公园最小,仅为 3.38 °C。整体来看,公园对内部及周边 100 m 区域范围内降温效果最为明显。

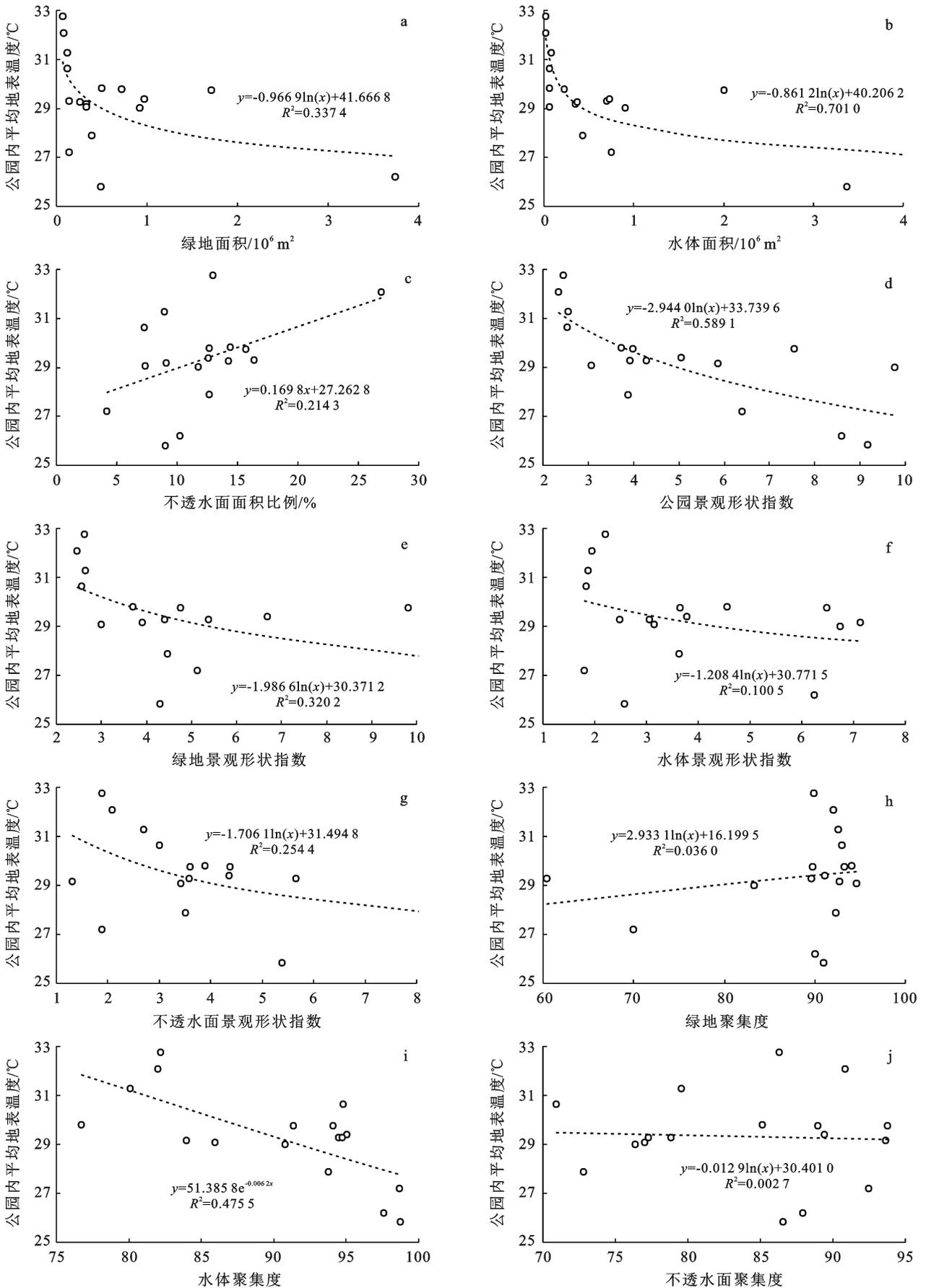
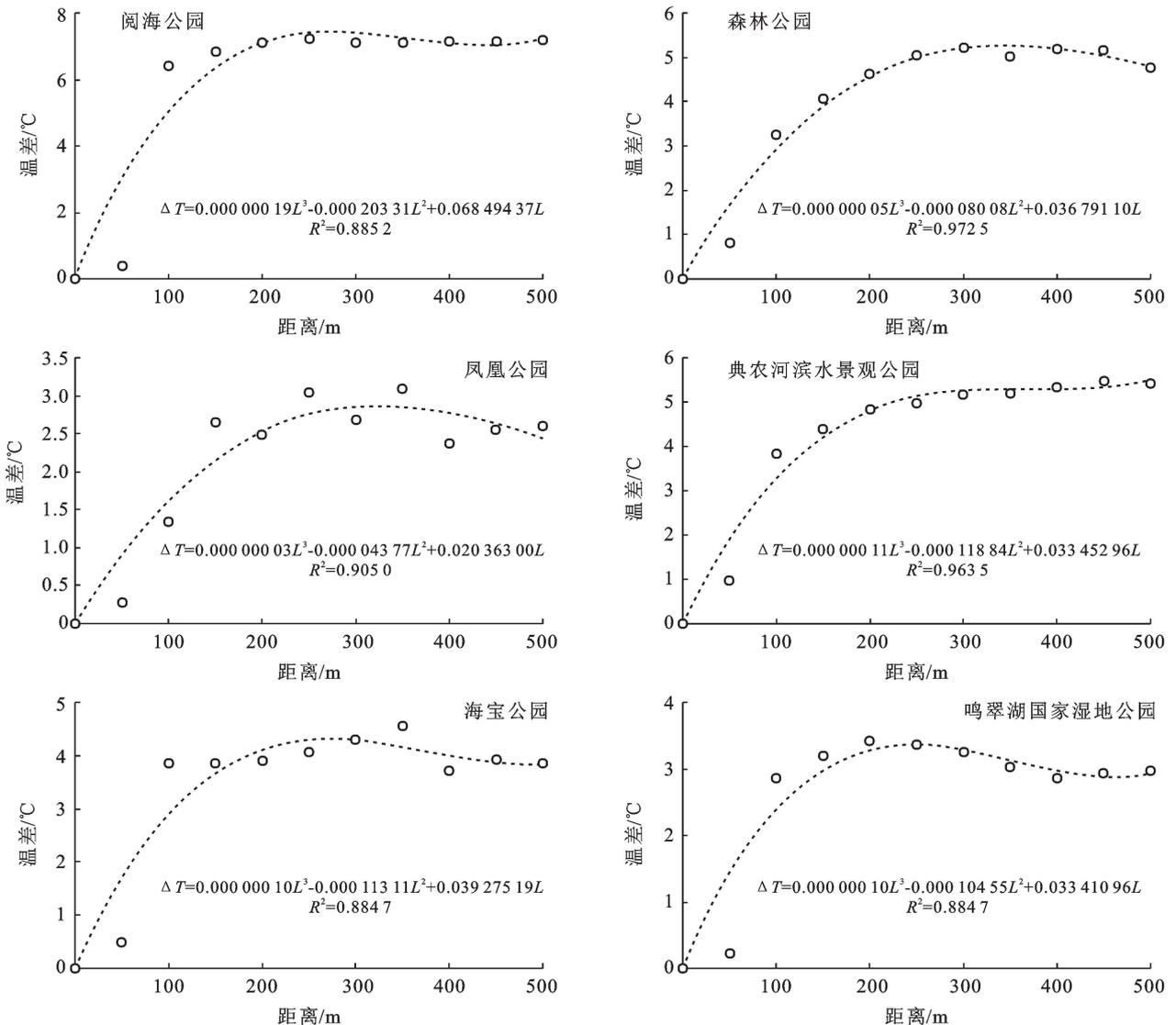


图 2 银川市城市公园景观特征指标与公园内平均温度关系

表 4 银川市城市公园周边温差(ΔT)与距离(L)三次多项式拟合结果

序号	公园名称	拟合三次多项式	R^2	L_{\max}	ΔT_{\max}
1	如意湖公园	$\Delta T=0.000\ 000\ 24\ L^3-0.000\ 226\ 45\ L^2+0.065\ 360\ 27\ L$	0.860 1	224.29	5.98
2	阅海公园	$\Delta T=0.000\ 000\ 19\ L^3-0.000\ 203\ 31\ L^2+0.068\ 494\ 37\ L$	0.885 2	272.67	7.41
3	宁大湖公园	$\Delta T=0.000\ 000\ 25\ L^3-0.000\ 234\ 37\ L^2+0.065\ 438\ 67\ L$	0.889 2	210.51	5.72
4	西夏公园	$\Delta T=0.000\ 000\ 23\ L^3-0.000\ 216\ 97\ L^2+0.058\ 883\ 48\ L$	0.936 8	198.09	4.94
5	解放公园	$\Delta T=0.000\ 000\ 13\ L^3-0.000\ 122\ 35\ L^2+0.035\ 409\ 63\ L$	0.880 4	226.40	3.25
6	森林公园	$\Delta T=0.000\ 000\ 05\ L^3-0.000\ 080\ 08\ L^2+0.036\ 791\ 10\ L$	0.972 5	334.52	5.22
7	凤凰公园	$\Delta T=0.000\ 000\ 03\ L^3-0.000\ 043\ 77\ L^2+0.020\ 363\ 00\ L$	0.905 0	385.02	3.06
8	典农河滨水景观公园	$\Delta T=0.000\ 000\ 11\ L^3-0.000\ 118\ 84\ L^2+0.033\ 452\ 96\ L$	0.963 5	191.85	2.82
9	海宝公园	$\Delta T=0.000\ 000\ 10\ L^3-0.000\ 113\ 11\ L^2+0.039\ 275\ 19\ L$	0.884 7	271.03	4.33
10	中山公园	$\Delta T=0.000\ 000\ 21\ L^3-0.000\ 215\ 55\ L^2+0.067\ 510\ 39\ L$	0.914 5	242.63	6.69
11	宝湖公园	$\Delta T=0.000\ 000\ 14\ L^3-0.000\ 154\ 15\ L^2+0.051\ 712\ 84\ L$	0.904 8	259.41	5.49
12	七十二连湖	$\Delta T=0.000\ 000\ 20\ L^3-0.000\ 204\ 58\ L^2+0.061\ 625\ 89\ L$	0.868 0	224.57	5.79
13	植物园	$\Delta T=0.000\ 000\ 20\ L^3-0.000\ 209\ 30\ L^2+0.064\ 453\ 92\ L$	0.990 6	229.41	6.19
14	丽景湖公园	$\Delta T=0.000\ 000\ 21\ L^3-0.000\ 200\ 21\ L^2+0.056\ 834\ 20\ L$	0.903 1	213.97	5.05
15	章子湖公园	$\Delta T=0.000\ 000\ 25\ L^3-0.000\ 258\ 49\ L^2+0.079\ 196\ 12\ L$	0.897 7	229.80	7.58
16	三沙源中央公园	$\Delta T=0.000\ 000\ 22\ L^3-0.000\ 231\ 30\ L^2+0.074\ 355\ 60\ L$	0.931 3	249.67	7.57
17	鸣翠湖国家湿地公园	$\Delta T=0.000\ 000\ 10\ L^3-0.000\ 104\ 55\ L^2+0.033\ 410\ 96\ L$	0.884 7	248.09	3.38
平均值	—	—	—	247.76	5.32

注: L_{\max} 与 ΔT_{\max} 分别为公园对周边影响的最大距离和最大温差。

图 3 银川市城市内部分公园 ΔT 与 L 曲线拟合特征

3.5 典型公园水域景观热环境效应

水域景观作为城市公园的重要组成部分,因其具有较大的热惯性和热容量值、较低的热传导和热辐射率,能有效缓解城市热岛效应,不同程度地降低水域周边地表温度,是城市热环境中的“冷岛”^[23]。本文选取研究区内面积较大的阅海公园、海宝公园、七十二连湖、鸣翠湖国家湿地公园的 4 个面状水域景观以及典农河滨水景观公园和唐徕渠 2 个线状水域景观为研究对象,对水域斑块对应的地表温度进行空间统计分析,探讨不同景观类型水域对其周围热环境缓解程度。

表 5 银川市城市典型公园水域斑块特征与对应温度

景观类型	水域位置	面积/m ²	周长/m	周长面积比/m ⁻¹	水域平均温度/°C	500 m 范围内平均温度/°C
面状	阅海公园	10 839 259.83	68 070.61	0.006 3	24.17	28.98
	海宝公园	728 059.09	10 194.97	0.014 0	26.31	31.88
	七十二连湖	2 007 364.98	29 250.37	0.014 6	26.65	33.21
	鸣翠湖国家湿地公园	3 673 082.09	15 391.77	0.004 2	25.35	27.27
线状	典农河滨水景观公园	1 011 621.04	23 989.77	0.023 7	29.19	32.97
	唐徕渠	1 022 637.05	69 810.65	0.068 3	31.88	34.01

为进一步研究面状水域景观随水体距离增加周围热环境的变化情况,以 50 m 为半径利用缓冲区分析法构建水体外围 6 个缓冲区,并基于 GF2 数据目视解译缓冲区内的绿地、水体和不透水面 3 类土地覆盖状况,统计 6 个缓冲环内不透水面面积比例(图 4,表 6)。结果显示,随着缓冲区半径的增加,各个缓冲区内不透水面面积比例不断增加,对应的地表平均温度整体呈上升趋势。如阅海公园水域,其水体温度约为 24.17 °C,缓冲区 1 内植被覆盖面积达 79.12%,不透水面面积比例仅为 6.1%,该区域内地表平均温度为 25.22 °C,随着缓冲距离的增加,缓冲区 2 至缓冲区 5 内不透水面比例从 34.68% 上升到 43.14%,对应

3.5.1 典型面状水域的热环境效应分析 由表 5 可知,面状水域景观面积、形态和空间位置虽然各不相同,但水域平均温度却相差不大,说明当面状水域面积达到一定水平,水体的辐射温度会保持相对稳定。对 4 个景观水域做半径为 500 m 的缓冲区,统计该区域内的平均温度,发现水域的平均温度均明显低于对应景观水域缓冲区范围内的平均温度。如市区的阅海公园,其水体温度比所在区域 500 m 范围内的平均温度低了约 6.31 °C,而鸣翠湖国家湿地公园虽地处郊区,其水体也比其所在缓冲区区域低 2.95 °C。

区域的地表温度也升高了 2.58 °C,而缓冲区 6 内不透水面面积比例较缓冲区 5 有所下降,对应区域内地表平均温度也略有降低。此外,对比 4 个公园的水域及缓冲区温度可以发现,鸣翠湖国家湿地公园的缓冲区温度明显低于其他 3 个公园,从缓冲区 2 到缓冲区 6,地表温度最大差值仅为 0.76 °C,究其原因主要为阅海公园、海宝公园和七十二连湖位于城区,而鸣翠湖国家湿地公园地处郊区,周边不透水面较少,植被覆盖度高,缓冲区内地表温度相对稳定,水体对临近区域热环境的缓解作用明显。由此可见,面状水域能够有效降低水域周边地表温度,水域面积、所处位置和周围区域的下垫面类型是降温效果的重要影响因素。

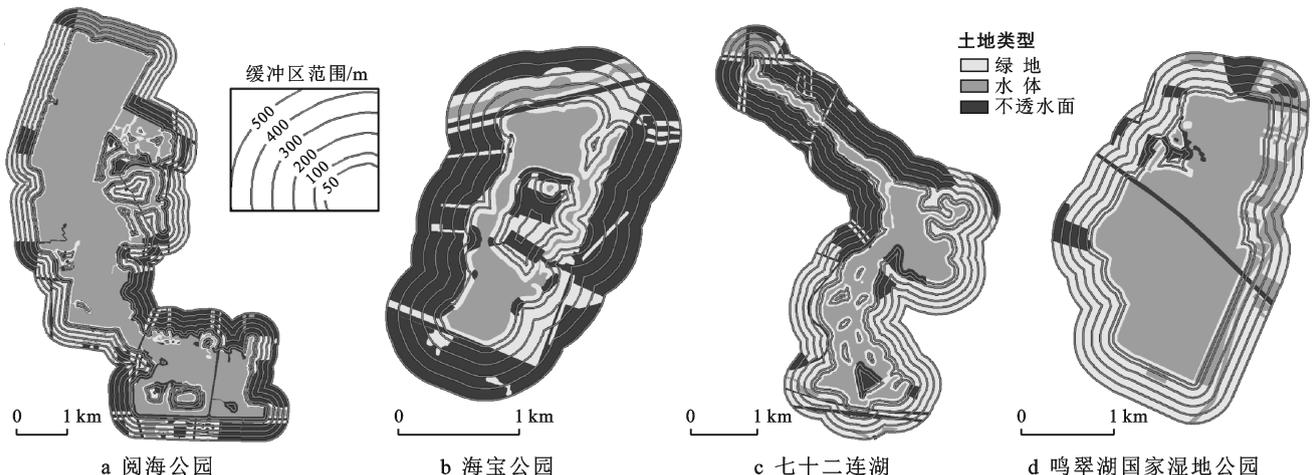


图 4 银川市典型公园水域缓冲区地表覆盖结构空间分布

表 6 银川市城区典型公园水域缓冲区不透水面比例及均温

缓冲区编号	缓冲区范围/m	阅海公园		海宝公园		七十二连湖		鸣翠湖国家湿地公园	
		不透水面比例/%	温度/℃	不透水面比例/%	温度/℃	不透水面比例/%	温度/℃	不透水面比例/%	温度/℃
1	0~50	6.10	25.22	8.10	27.94	6.10	28.42	3.82	25.68
2	50~100	34.68	31.04	42.32	31.79	34.68	33.86	13.99	28.13
3	100~200	36.69	32.23	59.19	32.77	36.69	35.33	10.80	28.64
4	200~300	41.70	32.81	62.78	33.08	41.70	35.25	10.16	28.89
5	300~400	43.14	33.62	78.45	33.65	43.14	35.23	9.85	28.74
6	400~500	38.84	33.39	89.11	34.22	38.84	35.14	12.88	28.81

3.5.2 典型线状水域的热环境效应分析 线状水域作为生态景观廊道的重要表现形式之一,是物质、信息和能量传播的重要通道,能有效调节城市热岛中心和外围热量交换,对改善城市热环境也具有重要意义。对典农河和唐徕渠 2 条河流廊道构建 0—50 m 缓冲区(1),50—100 m 缓冲区(2)2 个缓冲区,通过空间统计分析得到其缓冲区内的地表温度(表 7)。结果显示,典农河虽处城市热岛中心,但由于其河面相对较宽,水面平均温度比唐徕渠低约 2.7℃,水面温度标准差比唐徕渠小 0.75,表明典农河河流廊道内部温度相对较为稳定,变化较小。从缓冲区热环境变化来看,典农河缓冲区 1 和缓冲区 2 范围内的平均地表温度分别比唐徕渠相应区域分别低 2.07℃和 1.09℃,唐徕渠虽流经整个研究区,但其宽度仅为 24 m,对周边的降温效果并不明显。

综合对比分析表 5—7 发现,面状水域的水域温度明显低于线状水域廊道,虽然典农河和唐徕渠水域面积远大于海宝公园,但其平均温度仍高于后者,阅海公园、七十二连湖和鸣翠湖国家湿地公园的水域温度更是低于线状水域的温度,且面状水域缓冲区 1 内的地表平均温度明显低于线状水域。由此可见,面状水域比线状水域对城市热岛效应具有更好的降温效果。

表 7 银川市城区典型河流水域缓冲区内热环境温度统计

水域位置	统计区	环境温度/℃			
		最大值	最小值	平均值	标准差
典农河滨水景观公园	河面	31.96	27.47	29.18	1.04
	0—50 m	35.82	26.04	30.16	1.97
	50—100 m	38.23	27.27	32.01	2.26
唐徕渠	河面	32.25	27.41	31.88	1.79
	0—50 m	38.85	27.31	32.23	2.09
	50—100 m	40.59	26.75	33.1	2.51

4 讨论与结论

4.1 讨论

城市化的快速推进导致城市人口不断增长,城区

土地利用类型发生剧烈变化,从而使城市热环境发生了很大变化。城市热环境的降温效应受植被覆盖度、植物群落组成、水域面积、周边环境中的热源状况、人类活动等多种因素影响,而城市公园作为城市降温的重要方式之一,对维持城市温度的稳定,提升城市人居舒适程度具有重要作用。本研究得出公园内部温度与面积、周长呈显著负相关,而与周长面积比呈显著正相关的结论,表明公园的热环境与其面积、周长和形状息息相关,与徐丽华等^[7]对上海市城市公园景观热环境效应的研究结果较为一致。公园空间结构特征表明,公园内部温度与绿地面积(A_G)和水体面积(A_w)显著负相关, A_G 和 A_w 面积越大,公园内冷岛效应越明显,然而随着二者的不断增大,公园内温度的下降趋势趋于缓和;此外,降温效应与公园景观形状指数(LSI),绿地景观形状指数(LSI_G),水体景观形状指数(LSI_B)以及水体聚集度(AI_w)显著负相关,公园内部扩大绿地和水体面积,适当增加公园、绿地和不透水面的复杂度,设置集中成片的水体有助于降低其温度。本文进一步综合分析了公园对周边降温影响范围和幅度,公园外温度随着距离增加而不断上升,然后逐渐趋于平稳,温度与距离的变化趋势利用三次多项式拟合具有较好的拟合度,最大降温影响距离主要分布在 200—300 m 之间,公园对内部及周边 100 m 区域范围内降温效果最为明显。

需要说明的是,研究中采用的 Landsat 8 遥感数据,由于热红外波段分辨率相对较低,且地表温度对城市地表覆盖物极为敏感,与气温有一定差异,对地表温度反演结果精度有一定影响,后续的研究中应充分利用气象数据对其校正;此外,所选的 17 个代表性公园数量略显偏少,在以后的进一步研究中应增加公园样本数量以便获得更加精确的结果。

4.2 结论

本文以银川市城区 17 个公园为研究对象,基于 Landsat 8 数据反演银川市城区的地表温度,利用景观格局和缓冲区分析方法,掌握公园热环境效应的整体空间分布特征,重点分析了城市公园斑块特征和景

观空间结构特征对其内部热环境的影响以及公园对周边降温影响范围和幅度,初步探讨了典型公园水域景观热环境效应。

(1) 17 个公园景观整体斑块特征差异较为显著,公园内部温度与面积、周长呈显著负相关,而与周长面积比呈显著正相关。

(2) 公园内部温度与公园景观构成关系密切,降温效应与绿地和水体面积显著负相关;斑块形态特征和景观空间分布特征也是其重要的影响因素,公园“冷岛”效应与公园景观形状指数、绿地景观形状指数、不透水面形状指数以及水体聚集度指数显著负相关。

(3) 17 个公园景观对周边热环境降温效果较为明显,建立公园周边降温影响范围和幅度模型,拟合结果显示,公园周边温度随距离的增加而升高并趋于稳定,所选公园最大降温影响距离主要分布在 200—300 m 之间,总体上公园对内部及周边 100 m 区域范围内降温效果最为明显。降温温差章子湖公园最大,约为 7.58 °C,而鸣翠湖国家湿地公园最小,仅为 3.38 °C。

(4) 面状水域能够有效降低水域周边地表温度,水域面积、所处位置和水域周围区域的下垫面类型是降温效果的重要影响因素,面状水域比线状水域对城市热岛效应具有更好的降温效果。

城市公园由草地、林地、河流以及湖泊等要素组成,不仅仅是休闲和游憩的场所,而且已成为缓解城市热岛效应的重要途径之一,景观构成、斑块形态和景观空间分布特征是影响城市公园降温效果的重要因素。因此,在城市公园规划和设计时,应对其综合权衡并重点考虑公园绿地和水体的面积,适当增加公园、绿地和不透水面的复杂度以及水体的聚集度,将有助于更好的发挥城市公园对城市热环境的降温效应。

[参 考 文 献]

- [1] 冯悦怡,胡潭高,张力小.城市公园景观空间结构对其热环境效应的影响[J].生态学报,2014,34(12):3179-3187.
- [2] 庞新坤,孙然好.城市公园景观秋冬季动态热效应[J].生态学报,2015,35(12):4196-4202.
- [3] 阮俊杰.城市公园对夏季热环境的影响:以上海市中心城区为例[J].生态环境学报,2016,25(10):1663-1670.
- [4] Mahmoud A H A. Analysis of the microclimatic and human comfort conditions in an urban park in hot and arid regions [J]. Building and Environment, 2011,46(12): 2641-2656.
- [5] 周媛,石铁矛,胡远满,等.基于 GIS 与多目标区位配置模型的沈阳市公园选址[J].应用生态学报,2011,22(12): 3307-3314.
- [6] Oliveira S, Andrade H, Vaz T. The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon [J]. Building and Environment, 2011,46(11):2186-2194.
- [7] 徐丽华,岳文泽.城市公园景观的热环境效应[J].生态学报,2008,28(4):1702-1710.
- [8] 苏泳娴,黄光庆,陈修治,等.城市绿地的生态环境效应研究进展[J].生态学报,2011,31(23):302-315.
- [9] 肖捷颖,季娜,李星,等.城市公园降温效应分析:以石家庄市为例[J].干旱区资源与环境,2015,29(2):75-79.
- [10] 甘爽,杨艳丽,孙艳玲,等.城市公园对城市热环境的降温效应:以天津市为例[J].天津师范大学学报(自然科学版),2016,36(4): 33-38.
- [11] 葛亚宁.北京城市空间结构对其热环境效应的影响研究[D].北京:北京林业大学,2016.
- [12] 王帅帅,陈颖彪,千庆兰,等.城市公园对城市热岛的影响及三维分析:以广州市主城区为例[J].生态环境学报,2014,23(11): 1792-1798.
- [13] 吕荣芳,王浩,王鹏龙,等.近 25 a 银川市城市化进程中热力景观格局演变分析[J].干旱区研究,2016,33(4): 860-868.
- [14] 孙鹏,韩沐汶,白林波,等.基于 Landsat TM/ETM 的银川市热岛效应时空变化研究[J].水土保持研究,2014, 21(1):290-293.
- [15] Barsi J, Schott J, Hook S, et al. Landsat-8 thermal infrared sensor (TIRS) vicarious radiometric calibration [J]. Remote Sensing, 2014,6(11): 11607-11626.
- [16] 邬建国.景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M].北京:高等教育出版社,2007.
- [17] 仲佳,于慧,刘邵权.张家口市排污工业点源空间分布格局[J].自然资源学报,2020,35(6): 1402-1415.
- [18] 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.
- [19] 冯晓刚,石辉.基于遥感的夏季西安城市公园“冷效应”研究[J].生态学报,2012,32(23):7355-7363.
- [20] 张晓东,赵银鑫,武丹,等.基于遥感的银川市建成区城市扩展及其热环境变化分析[J].干旱区地理,2020,43(5):1278-1288.
- [21] 贾刘强,邱建.基于遥感的城市绿地斑块热环境效应研究:以成都市为例[J].中国园林,2009,25(12):97-101.
- [22] 孟丹,李小娟,宫辉力,等.北京地区热力景观格局及典型城市景观的热环境效应[J].生态学报,2010,30(13): 3491-3500.
- [23] 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.