

城市公园的冷岛效应研究——以常州市为例

王新军^{1,2},冯星莹^{1,3},陈凯莉^{1,3},高吉喜^{4*} (1.常州工学院艺术与设计学院,江苏 常州 213022; 2.生态环境部南京环境科学研究所,江苏 南京 210042; 3.常州大学艺术学院,江苏 常州 213016; 4.生态环境部卫星环境应用中心,北京 100094)

摘要: 在长江三角洲地区快速城市化的常州市内研究公园组成与冷岛效应的量化关系.基于 Landsat 8TIRS 和天地图高分辨率遥感影像提取公园指标以及冷岛效应指标.使用辐射传输方程法反演研究区的地表温度,使用 ArcGIS 的缓冲区分析和分段回归的方法研究每个公园的地表温度、降温范围和降温幅度作为冷岛效应指标;提取公园的周长、面积,并计算融合指数作为公园组成指标,在天地图高清遥感影像中提取公园的绿地覆盖率、水体覆盖率、不透水面覆盖率以及乔木覆盖率作为公园地表覆盖指标.通过相关性分析和回归模型研究,发现公园的面积为 26hm²、周长阈值为 3600m,公园的面积和周长在阈值范围内能够发挥较强的降温效率,超过阈值则降温效率下降.公园的融合指数与冷岛效应呈线性相关关系,融合指数较小的公园能获得较大的降温幅度.公园的乔木覆盖率、水体覆盖率与公园内部的地表温度呈显著相关关系,不透水面覆盖率、绿地覆盖率与公园内部的地表温度相关性不显著.公园规划设计需要结合公园的面积、周长阈值,融合指数的数值以及乔木、水体的覆盖率,充分发挥公园的冷岛效应.

关键词: Landsat 8; 辐射传输方程; 冷岛效应; 公园规划设计; 公园组成

中图分类号: X171,X16,P463 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2021)09-4245-08

Study on the cooling effect of urban parks base on the case of Changzhou, Jiangsu, China. WANG Xin-jun^{1,2}, FENG Xing-ying^{1,3}, CHEN Kai-li^{1,3}, GAO Ji-xi^{4*} (1.School of Art and Design, Changzhou Institute of Technology, Changzhou, 213022, China; 2.Nanjing Institute of Environmental Science, Ministry of Ecology and Environment, Nanjing, 210042, China; 3.School of Art, Changzhou University, Changzhou 213016, China; 4.Ministry of Ecology and Environment Center for Satellite Application on Ecology and Environment, Beijing 100094, China). *China Environmental Science*, 2021,41(9): 4245~4252

Abstract: This research selected parks in Changzhou, a rapidly urbanizing city in the Yangtze River Delta, to study the relationship between the composition of parks and their cooling effect. The park composition indicators and cooling effect indicators were extracted from high-spatial-resolution images created by Landsat 8TIRS and Tianditu. Land surface temperatures of the researched area were retrieved by the radiation transfer equation, and buffer analysis of ArcGIS, piecewise regression were used to analyze cooling effect indicators of each surveyed park, including the land surface temperature, the temperature drop range and the temperature drop amplitude. The perimeter, area and integration index of the parks were measured as their composition indicators. Afterwards, park land cover indicators, namely, the green coverage, water coverage, impervious surface coverage, and tree coverage were extracted from high-definition remote sensing images of Tianditu. Correlation analysis and the regression model between the park indicators and the cooling effect revealed that the temperature drop amplitude was nonlinearly related to the area and perimeter of a park, and the threshold were 26hm² and 3600m respectively, which means that a park has a strong cooling effect with its area and perimeter within the threshold, while the cooling effect decreases with its area and perimeter exceeding the threshold. A second finding was that the integration index of a park had a linear correlation with the cooling rate, meaning greater cooling effect for parks with a lower integration index. The third finding was that the tree coverage and water coverage of a park were strongly correlated with the surface temperature inside the park, while the impervious surface coverage rate and green space coverage rate showed no significant correlation with the land surface temperature inside the park. Based on the three findings, it was concluded that to give full play to an urban park's cooling effect, planners and designers need give a thorough consideration of its area and perimeter thresholds, integration index value, and tree and water coverage.

Key words: Landsat 8; the radiation transfer equation; park planning and design; cooling effect; park composition

我国城镇化率由 2000 年的 36.2%增加到 2019 年的 60.6%^[1],快速城镇化不仅增加了城市内人口数量,而且改变了城市地表覆盖,使不透水面不断增加而自然植被持续减少^[2-3],进而改变了城市地表对太阳辐射的反射与吸收属性,使城市地表升温^[4].城市与郊区的温差被称为热岛效应^[5],热岛效应是 21 世

纪最重要的环境问题之一^[6],不仅加剧了城市内的大气污染^[7],而且增加能源、水的消耗,影响人体健

收稿日期: 2021-02-11

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC050660);常州市城管局科技项目(19-20JH13)

* 责任作者, 研究员, gjx@nies.org

康,引发心脏、肺部疾病^[8-10].本世纪全球仍处在变暖的趋势中,升温的幅度与人类活动密切相关,全世界应共同努力将升温控制在 1.5℃ 范围内^[11].全球变暖的大背景将强化城市热岛效应,因此研究如何减缓城市热岛效应成为全球范围的关注点.

国内外越来越多的研究表明城市绿地是缓解城市热岛效应应用最广泛的方法^[12-15].首先,植物的树冠可以阻挡太阳辐射进入下层空间,从而降低地表温度^[16];其次,通过蒸腾作用植物可以消耗大量的太阳辐射降低叶片温度^[14],进而降低周边环境的温度.例如,将公园内树冠覆盖率从 25% 增加到 40%,白天可以降低 0.5℃ 的环境温度^[17].城市公园被广泛用来研究城市绿地的降温功能,有的研究使用空气温度的变化来评价城市绿地的降温效果^[18-20];由于从卫星热红外波段反演得到的地表温度与空气温度高度正相关^[21],越来越多的研究使用地表温度来评价城市绿地的降温效果^[22-23],本研究也将使用地表温度来研究公园绿地的冷岛效应.城市公园绿地的面积、形状、绿地覆盖率、不透水面覆盖率、水体覆盖率是公园规划设计的重要内容,对城市绿地的降温效应也有重要的影响,有研究表明绿地覆盖率、水体覆盖率与降温幅度呈正相关关系,而不透水面覆盖率与降温幅度呈负相关关系^[19,24-26].城市绿地的面积与降温幅度呈非线性关系,如果绿地面积超过阈值,降温效应就会大幅降低.城市绿地面积阈值因城市而异,厦门的公园面积阈值约为 55hm²^[24],上海公园面积阈值约为 40hm²^[25],香港,雅加达,孟买和新加坡的城市绿地面积阈值约为 0.60~0.62hm²,高雄,吉隆坡和台南的城市绿地面积阈值约为 0.92~0.96hm²,温度、湿度都较高的低纬度地区的绿地面积阈值比较小^[27].城市绿地的周长与冷岛效应的量化研究还比较少,有研究发现冷岛效应会随城市绿地周长的增长而增强,同样存在阈值关系,在周长阈值范围内,绿地周长的增加能够大幅增强冷岛效应,当周长超过阈值时,冷岛效应增加的幅度放缓,长春市城市绿地周长的阈值为 2500m^[28].较为复杂的城市绿地形状与周边环境有较长的接触面能够增加绿地与周边环境的能量交换,可增强城市绿地的冷岛效应^[25];然而有一部分研究表明规则的城市绿地轮廓形状更能够增强冷岛强度^[19],由此可见城市绿地冷岛效应的研究还存在很多的不确定性,需要更多的研究.

不少研究已经从不同角度,不同城市研究了城市公园的冷岛效应,但是人口密度较大、城镇化率较高的城市还需要更多的研究,公园周长对冷岛效应的影响还需进一步探讨,以应对全球气候变化带来的挑战.本文以常州市公园绿地做为研究对象,研究目标包括:在城市绿地斑块的尺度上研究公园的面积、周长、融合指数与冷岛效应的量化关系;研究公园绿地的地表覆盖类型与冷岛效应的量化关系;城市公园规划设计中的应用.

1 研究区概况与研究对象

常州市(31°09'N--32°04'N,119°08'E--120°12'E)位于江苏省南部,地处长江下游南岸,太湖流域水网平原,为北亚热带湿润区域^[29].到 2019 年末,全市人口为 473.6 万人,人口密度约为 1079 人/km²,城镇化率 73.3%,城市绿地覆盖率约为 43%^[30].从 1952 年到 2006 年间统计的常州市夏季平均气温为 26.7℃^[31].本研究选择常州(包括溧阳市)城市中心范围内的 24 个公园绿地作为研究对象,公园面积 2.73hm²~166.7hm²,包含轮廓规则的公园和轮廓不规则的公园,组成结构有明显差异,图 1.

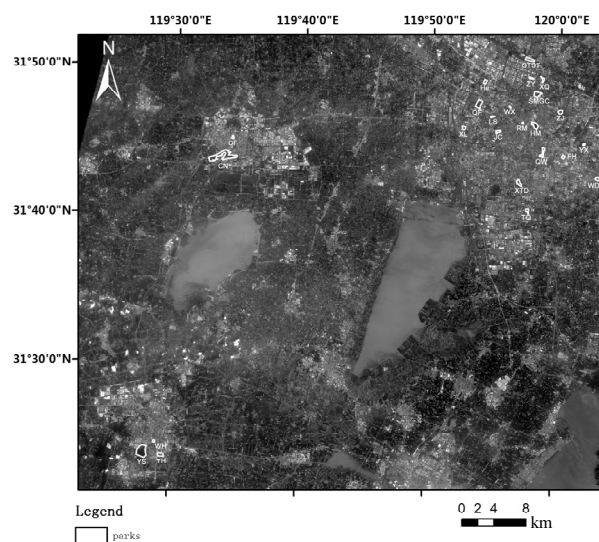


图 1 常州市 24 个公园位置及分布

Fig.1 The location of 24 parks in Changzhou

2 材料与方法

2.1 遥感数据源

选取 2019 年 8 月 21 日的 Landsat 8TIRS 遥感数据,条带号 119,列编号 38,云量覆盖接近 0,为影像

的解译提供了保证,研究区域无需拼合.该卫星过境时间为上午 10:20,经中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)查询常州市卫星过境当天 10:00 气温约为 33℃.

2.2 研究方法

2.2.1 公园指标的提取 选择面积、周长、融合指数作为公园组成指标,绿地覆盖率、树木覆盖率、水体覆盖率、不透水面覆盖率作为公园的地表覆盖指标.在 Arcmap 10.6 中提取各个公园的面积、周长,由于公园的面积越大,周长也就越长,因此使用公园周长与面积的比值作为公园的融合指数研究公园轮廓对冷岛效应的影响^[24,32].该指标可以反映公园与周边环境的接触面积,当公园面积相同时,融合指数越大,则城市公园和周边环境的接触面就越多^[33],反之亦然.

参考已有研究,将公园的地表覆盖类型分为 4 类:林地(乔木为主,其他植被少于 10%的绿地)、草地或灌木(草坪或灌木为主,其他植被少于 10%的绿地)、水体和不透水面(包含道路、广场和建筑等硬质景观)^[34].天地图提供了 0.6m 分辨率的高清遥感影像,使用天地图常州(<http://www.mapcz.com.cn/>)通过人工目视解译的方式提取 4 类公园的地表覆盖的信息,见表 1.

2.2.2 冷岛效应指标的计算方法 有研究对比了苏南太湖地区辐射传输方程法、单通道算法和分裂窗算法 3 种地表温度反演的方法,结果发现辐射传输方程法反演的地表温度数据最接近实测值,因此本研究也使用相同的方法进行地表温度的反演探讨公园绿地的冷岛效应^[22,25,35],反演结果如图 3 所示.选择公园的平均地表温度、降温幅度、降温范围三个指标来表示公园绿地的冷岛效应^[24].使用 Arcmap 10.6 提取 ENVI5.3 中反演的地表温度可计算出公园的平均地表温度.降温范围的计算需要将研究区的地表温度反演结果作为输入图层,首先在 ArcGIS 10.6 中以公园轮廓为基础建立间距为 15m,长度为 1005m 的缓冲区,把公园外部空间划分成 67 个间距为 15m 的环;然后在 Arcmap 10.6 中统计出每个环的平均温度,环与环之间的温差可以反映在公园外部地表温度的变化情况;最后在 Origin 9 中通过散点图与分段回归的方法确定缓冲区地表温度变化趋势的拐点位置,即公园绿地的降温范围,而拐点处的地

表温度与公园的平均地表温度的差值 ΔT 就是公园的降温幅度,即拐点温度与公园地表温度之差^[25].拐点位置的判断,见图 2,拐点位置(降温范围)为 465m,拐点位置的地表温度为 41.07℃,降温幅度=拐点温度-公园地表温度=4.05℃.

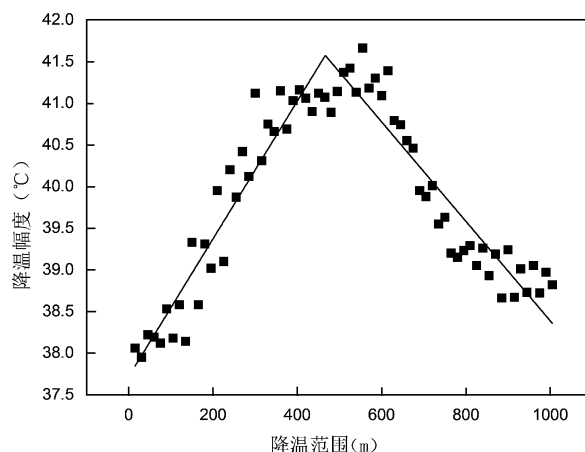


图 2 分段回归法计算西林公园的冷岛效应分析

Fig.2 The cooling effect of XL park calculated by piecewise regression

2.3 数据分析

为了研究城市公园的组成结构对冷岛效应影响,使用 SPSS 22 分析公园组成与地表覆盖与公园绿地的冷岛效应指标的相关性.根据相关性检验结果,构建拟合模型,研究二者之间的量化关系.

3 结果

3.1 公园的指标及其空间分布特征

24 个公园的面积中位数为 13.68(7.76, 27.48) hm^2 ,周长为 1563.05(1255.00,2722.31)m,面积和周长最小的公园为人民公园,面积为 2.73 hm^2 ,周长为 749.51m,最大的是金坛区城南公园面积 166.70 hm^2 ,周长 12069.54m.融合指数为 125.17 (93.03,176.25),最大的公园是人民公园,最小的是燕山公园.公园的水体覆盖率中位数为 23.53(16.76, 28.67)%,绿地覆盖率为 57.23(46.65,62.87)%,不透水面覆盖率为 19.26(16.55,28.70)%,乔木覆盖率为 45.37(39.73, 52.18)%.与其他绿地地表覆盖不同的是,所有的公园内都包含水体,而且大部分公园的水体面积大于不透水面;通过实地调研和高清卫星遥感影像分析发现,公园内的不透水面空间分布较为分散,而且乔木

覆盖率较大,靠近不透水面的树冠能够阻挡一部分不透水面的太阳辐射,比如布置在绿地中的道路或广场,受到乔木树冠的影响,减少了不透水面吸收的太阳辐射量.

3.2 公园指标与冷岛效应的相关性

公园的地表温度要低于城市中心区的平均温度,见图 3.公园地表温度的平均值为(36.90±

1.15)℃,地表温度最高的公园是文化广场(39.30℃),最低的是圩墩公园(34.90℃).降温幅度平均值为(3.54±0.89)℃,降温幅度最大的公园是圩墩公园(5.13℃),降温幅度最小的是文化广场(1.68℃).降温范围的中位数为 172.5(90.0,397.5)m,降温范围最大的公园是天琴公园(570m),最小的是毓秀园(39m),见表 1.

表 1 公园组成结构与冷岛效应指标
Table 1 The composition and cooling effect indicators of parks

公园	面积 (hm ²)	周长 (m)	融合指数	降温幅度 (℃)	降温范围 (m)	地表温度 (℃)	水体覆盖率 (%)	绿地覆盖率 (%)	不透水面覆 盖率(%)	乔木覆盖率 (%)
何园(He)	14.62	1547.24	105.83	3.86	285.00	36.32	38.50	40.60	20.90	40.05
青枫公园(QF)	50.09	3203.21	63.96	4.36	315.00	35.41	26.20	52.70	21.10	51.62
紫荆公园(ZJ)	20.98	1714.50	93.53	3.53	555.00	35.65	16.50	65.40	18.10	52.37
红梅公园(HM)	38.35	2967.11	77.50	4.63	135.00	35.52	24.17	57.50	18.33	55.77
芦墅公园(LS)	3.35	796.33	237.99	2.92	195.00	38.25	13.67	65.47	20.86	53.18
五星公园(WX)	8.31	1354.97	163.08	3.70	135.00	36.74	28.69	56.96	14.35	54.13
圩墩公园(WD)	15.11	1564.25	103.52	5.13	315.00	34.90	25.40	45.90	28.70	41.89
新天地公园(XTD)	25.69	2464.65	95.94	3.20	405.00	37.45	24.10	41.90	34.00	33.52
毓秀园(YX)	4.93	903.36	183.14	3.96	39.00	36.34	39.20	55.70	5.10	52.45
新区公园(XQ)	9.98	2184.22	180.64	3.15	375.00	36.79	17.60	53.70	28.70	44.30
人民公园(RM)	2.73	749.51	274.05	2.82	90.00	38.63	5.62	60.35	34.03	43.45
荆川公园(JC)	13.78	1829.50	132.76	4.52	90.00	37.53	19.00	63.30	17.70	46.71
城南公园(CN)	166.70	12069.54	72.40	4.47	120.00	35.19	40.15	43.67	16.17	39.62
燕山公园(YS)	135.93	4655.91	34.25	3.88	90.00	35.70	8.10	75.85	16.05	68.31
燕湖公园(YH)	28.08	2206.83	78.60	3.31	75.00	37.69	36.52	29.54	33.94	25.73
文化广场(WH)	7.57	1116.52	147.58	1.68	90.00	39.30	14.00	46.00	40.00	18.55
市民广场(SM)	42.56	2796.74	119.82	2.25	420.00	38.11	8.50	48.60	42.90	43.03
西林公园(XL)	13.68	1456.51	108.03	4.05	465.00	37.02	23.53	58.7	17.77	45.17
天琴公园(TQ)	13.31	1781.44	152.88	3.22	570.00	37.06	24.00	68.00	8.00	17.15
新区中央公园(ZY)	7.58	1362.34	233.24	2.03	180.00	38.24	23.53	58.7	17.77	29.67
春风公园(CF)	7.04	1320.10	183.35	2.81	165.00	37.28	34.10	54.75	11.15	39.21
凤凰公园(FH)	9.43	1233.30	130.51	2.99	75.00	37.02	17.83	62.22	19.95	41.83
高铁生态公园(GTST)	30.24	2808.20	92.86	3.51	450.00	36.91	18.34	63.09	18.57	45.57
蔷薇公园(QW)	24.69	3274.00	130.86	4.93	165.00	36.55	17.54	61.31	21.15	50.27

表 2 公园结构与冷岛效应 Spearman 相关性分析
Table 2 The Spearman correlation analysis of park composition and cooling effect

参数	周长	地表温度	降温幅度	降温范围	融合指数	水体覆盖率	绿地覆盖率	不透水面覆盖率	乔木覆盖率
面积	0.953**	-0.625**	0.611**	0.152	-0.960**	0.22	-0.151	0.029	0.148
周长		-0.603**	0.612**	0.21	-0.845**	0.157	-0.03	-0.051	0.176
地表温度			-0.779**	-0.119	0.613**	-0.435*	0.091	0.315	-0.424*
降温幅度				-0.028	-0.534**	0.389	0.003	-0.271	0.473*
降温范围					-0.114	-0.121	0.091	0.085	-0.082
融合指数						-0.208	0.207	-0.074	-0.149
水体覆盖率							-0.565**	-0.389	-0.207
绿地覆盖率								-0.448*	0.456*
不透水面覆盖 率									-0.261

注:** 相关性在0.01上显著,* 相关性在0.05上显著.

通过 SPSS 22 的 Kolmogorov-Smirnov 检验,公园的 10 个指标中有 5 个指标的数据呈非正态分布,分别是:面积、周长、降温范围、不透水面覆盖率、乔木覆盖率;另外 5 个呈正态分布,分别是:地表温度、降温幅度、公园的融合指数、水体覆盖率、绿地覆盖率.存在非正态分布的数据适合使用 Spearman 进行相关性分析^[36],结果发现地表温度与公园面积、周长呈显著负相关关系($P<0.01$),与水体覆盖率和乔木覆盖率呈显著的负相关关系($P<0.05$),与融合指数呈显著的正相关关系($P<0.01$),与绿地覆盖率、不透水覆盖率相关性不显著.降温幅度与面积、周长呈显著正相关关系($P<0.01$),与乔木覆盖率呈显著正相关关系($P<0.05$),与融合指数呈负相关关系($P<0.01$),与水体覆盖率、绿地覆盖率、不透水覆盖率相关性不显著.降温范围与公园组成结构相关性皆不显著,见表 2.

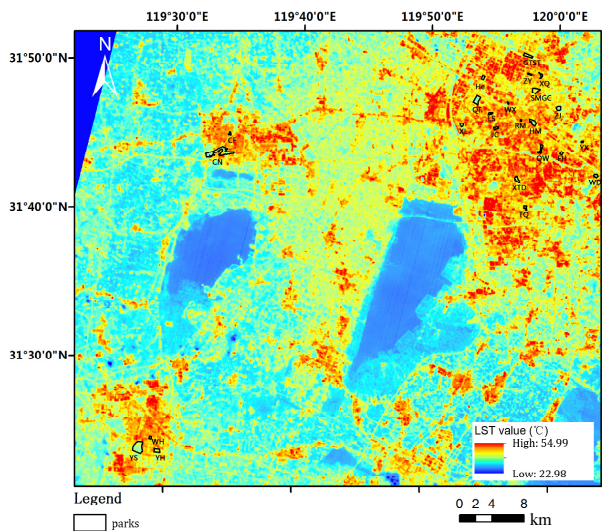


图3 研究区及 24 个公园与研究区域的地表温度分布
Fig.3 The land surface temperature of twenty four parks and research area

3.3 公园组成指标与冷岛效应的量化关系

基于相关性分析,构建公园面积、周长、融合指数与冷岛效应的拟合模型,研究公园组成与冷岛效应之间的量化关系.拟合模型的结果表明公园的地表温度、降温幅度与面积、周长呈指数函数关系,与融合指数呈线性关系(表 3).随着公园面积的增大,公园内部的地表温度增加的幅度逐步降低.表 3 中模型(1)能够解释 43%由公园面积对地表温度的变异,公园面积阈值为 26hm^2 ,对应的地表温度为 $36.52\text{ }^{\circ}\text{C}$.在阈值范围内时公园面积每增加 1hm^2 平均降温 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,在 $27\sim 167\text{hm}^2$ 之间时,平均降温 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$.模型(2)解释 39%周长对地表温度的变异,其阈值为 3600m ,周长阈值范围内时每增加 100m 平均降温 $0.12\text{ }^{\circ}\text{C}$,在 $3600\sim 12000\text{m}$ 之间,平均降温 $0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$;模型(3)解释了融合指数对公园地表温度的影响,融合指数每增大 10,公园地表温度增高 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

对于公园外部环境的温度,模型(4)解释 27%的由公园面积对外部环境降温幅度的变异,阈值为 26hm^2 .公园面积在阈值范围内时,公园面积每增加 1hm^2 降温幅度平均增加 $0.06\text{ }^{\circ}\text{C}$,在 $27\sim 167\text{hm}^2$ 之间时,平均降温 $0.006\text{ }^{\circ}\text{C}$.模型(5)解释 26%的由公园周长对外部环境降温幅度的变异.该模型的阈值为 2000m ,当公园周长小于 2000m 时,每增加 100m 的周长,降温幅度平均增加 $0.11\text{ }^{\circ}\text{C}$;当公园周长在 $2000\text{m}\sim 12000\text{m}$ 之间时,每增加 100m 的周长,降温幅度平均增加 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$.模型(6)解释 25%的融合指数对周边环境降温幅度的变异.公园融合指数每增加 10,公园的降温幅度减少 $0.08\text{ }^{\circ}\text{C}$.公园融合指数与降温幅度呈负相关关系.当公园面积保持不变时,公园的周长越长,其轮廓形状就越复杂,公园的周长越小,其轮廓形状就越简单;轮廓形状复杂的公园融合指数大,产生的降温幅度小;轮廓形状简单的公园融合指数小,公园的降温幅度就大,有利于公园形成较强的冷岛效应.

表 3 公园结构与冷岛效应拟合模型
Table 3 The models of park composition and cooling effect

序号	参数	拟合模型	R^2	P	模型拐点	拐点值($^{\circ}\text{C}$)
(1)	地表温度与面积	$Y = 38.9 - 0.73 \ln(X)$	0.43	0.000	26hm^2	36.52
(2)	地表温度与周长	$Y = 45.63 - 1.16 \ln(X)$	0.39	0.001	3600m	36.12
(3)	地表温度与融合指数	$Y = 35.28 + 0.01X$	0.39	0.001	—	—
(4)	降温幅度与面积	$Y = 2.30 + 0.46 \ln(X)$	0.27	0.009	26hm^2	3.80
(5)	降温幅度与周长	$Y = -2.08 + 0.75 \ln(X)$	0.26	0.010	2000m	3.62
(6)	降温幅度与融合指数	$Y = 4.55 - 0.008X$	0.25	0.012	—	—

3.4 公园地表覆盖与冷岛效应的量化关系

使用逐步回归的方法研究水体覆盖率、绿地覆盖率、不透水覆盖率和乔木覆盖率与冷岛效应之间的关系,以 P 值的大小来判断拟合模型.首先,地表温度的逐步回归模型移除了绿地覆盖率与不透水覆盖率,水体覆盖率、乔木覆盖率与地表温度拟合的模型 P 值最大, $Y = 40.77 - 0.06T - 0.06W$ ($R^2=0.50, P=0.001$),该模型能解释 50%的由公园地表覆盖对地表温度的影响其中 T 为乔木覆盖率, W 为水体覆盖率,公园内乔木对公园内地表温度的贡献与水体相等,保持乔木覆盖率不变,增加 10%的水体覆盖率或乔木覆盖率能降低公园内 0.6°C 的地表温度.

其次,以同样的方法研究降温幅度的逐步回归模型,同样移除了绿地覆盖率与不透水覆盖率, $Y = 0.69 + 0.05T + 0.04W$ ($R^2=0.44, P=0.002$),此模型能够解释 44%的由公园地表覆盖对降温幅度的影响,保持乔木覆盖率不变,增加公园内 10%的水体覆盖率可以增加 0.4°C 的降温幅度;保持水体覆盖率不变,增加公园内 10%乔木覆盖率可增加周边环境 0.5°C 的降温幅度,乔木对公园周边环境的降温幅度的影响要强于水体.

通过上述研究可知,公园的面积阈值为 26hm^2 , 周长地表温度阈值为 3600m ,降温幅度的阈值为 2000m ,因此当周长大于 3600m 时能够带来公园内最高效的地表温度的降温效果,较高效率的周边环境的降温幅度;地表覆盖中水体覆盖率和乔木覆盖率是产生冷岛效应重要指标,而绿地覆盖率、不透水面覆盖率在公园这类绿地中对冷岛效应的影响不大;小的融合指数有助于公园形成较强的冷岛效应.因此上述指标是城市公园规划设计中要考虑的重要内容,其量化关系有助于绿地规划设计和城市规划管理人员从公园规划设计角度提升其冷岛效应.

4 讨论

4.1 公园的组成对冷岛效应的影响

已有的研究表明公园的面积与冷岛效应呈正相关关系,城市绿地的冷岛效应会随着面积的增大而增强,在不同地区公园的面积阈值也不相同,在面积阈值范围内,绿地面积的增大会大幅增强冷岛效应,超过面积阈值时,冷岛效应增加的幅度放缓^[24-25,28,37].本研究也验证了公园面积与冷岛效应

存在阈值关系,且常州市公园的面积阈值为 26hm^2 ,在阈值范围内增加城市公园绿地的面积是增强城市绿地冷岛效应的重要策略.

目前城市绿地的周长与冷岛效应的量化研究受到的关注还不够,与已有的研究相似,本研究发现若要同时取得公园内和公园外最高效的冷岛效应,则常州市公园的周长的阈值应为 3600m ,大于长春市城市绿地周长的阈值 2500m ^[28].周长与公园的面积、公园的轮廓复杂程度都有关系,公园的轮廓形状与冷岛效应的相关性仍然存在不确定性,有研究表明与外环境接触面大的公园轮廓有助于形成冷岛效应^[25],也有研究表明与外环境接触面少的公园轮廓有助于形成冷岛效应^[38],因为较大的接触面会增加公园与外界环境进行能量交换的机会,而这样会减弱公园的冷岛效应^[39].本研究发现融合指数与降温幅度呈负相关关系,公园的与外部环境的接触面越小,越有利于公园形成较强的冷岛效应.将面积、周长和融合指数相结合可以发现,公园的周长和面积在阈值范围内、融合指数值越小越有助于高效发挥降温功能.

4.2 公园的地表覆盖与冷岛效应

公园的地表覆盖类型对冷岛效应的发挥有不同的影响.公园的水体覆盖率、乔木覆盖率都能够降低地表温度^[25],是重要的冷源,在本研究中也得到了验证,而且公园内树木覆盖率与水体覆盖率在降低园内地表温度上作用相同,但是树木对周边环境的降温效果要强于水体.有研究发现不透水面能够增加公园内部的地表温度,不透水面覆盖率越大,公园的地表温度越高^[24],本研究未发现不透水面覆盖率与地表温度有显著的相关关系.原因是本研究中的公园不透水面覆盖率较低,中位数为 $19.26(16.55, 28.70)\%$,而且空间分布较分散,受乔木的遮荫效果影响减少了太阳辐射量,比如公园中的道路、广场旁乔木的树冠阻拦了部分太阳辐射.同时公园中乔木与水体的降温效果也弱化了公园内不透水面的增温效应.本研究发现公园中的绿地覆盖率与地表温度相关性亦不显著,主要是由于草坪、灌木的降温效果远低于乔木^[18].

4.3 公园规划设计中的应用

公园是城市重要的绿地类型,在改善城市热环境,降低城市地表温度发挥重要的功能^[19,38].但是城

市土地资源有限,在公园的规划设计中应充分考虑公园面积、周长的阈值在冷岛效应方面的作用,以及融合指数对冷岛效应的影响.公园的规划设计应结合阈值范围合理控制公园的面积、周长以获得效率较高的降温效果;设计融合指数较小的公园形状,具有较强的冷岛效应.

在公园的设计中增加乔木覆盖率和水体覆盖率能够降低公园地表温度和降温幅度,因此应提高乔木覆盖率和水体覆盖率.虽然本研究未发现不透水面覆盖率与地表温度的存在相关关系,这是由于公园较为特殊的绿地空间分布形成的,但是大量的研究表明不透水面能够增加地表温度^[40-42],因此公园设计需要充分利用乔木树冠阻挡不透水面吸收太阳辐射.

5 结论

5.1 公园的面积、周长与冷岛效应存在阈值关系,常州地区的公园绿地面积阈值为 26hm^2 ,周长阈值为 3600m ,阈值范围内公园可产生高效的冷岛效应;超过阈值,公园绿地产生的冷岛效应的效率降低,即随着公园面积或周长的增加,与之相关的冷岛效应(降温幅度、地表温度)的变化量要小于阈值内的变化量;融合指数小的公园,能发挥较强的冷岛效应.

5.2 公园的乔木覆盖率和水体覆盖率既可以降低公园内的地表温度也可以增加周边环境的降温幅度,能够影响公园内外的环境温度,是产生冷岛效应的重要地表覆盖类型.而公园的绿地覆盖率、不透水面覆盖率与冷岛效应的相关性不显著.

参考文献:

- [1] 国家统计局. 至 2019 年末我国城镇化率为 60.60% [EB/OL]. <http://hf.eej.com/shichang/2020/0119/1270.html>. National bureau of statistic. Our country's urbanization rate was 60.60% by the end of 2019 [EB/OL]. <http://hf.eej.com/shichang/2020/0119/1270.html>.
- [2] 孙安昌,陈 涛,张叙霞,等.武汉市 1991~2013 年城市扩张与地表覆盖变化研究 [J]. 地理空间信息, 2016,14(12):33-36,47,7-8. Sun A C, Chen T, Zhang X X, et al. Research on urban expansion and land cover changes in Wuhan area from 1991 to 2013 base on MESMA [J]. Geospatial Information. 2016,14(12):33-36,47,7-8.
- [3] 赵国庆,蔡国印.2000~2010 年北京市地表覆盖变化分析 [J]. 地理信息世界, 2017,24(1):111-115. Zhao G Q, Cai G Y. Analysis of Land cover changes in Beijing from 2000 to 2010 [J]. Geomatics world. 2017,24(1):111-115.
- [4] 周 密,常 鸣,赖安琪,等.未来土地利用类型对珠江三角洲气象场的影响 [J]. 中国环境科学, 2017,37(8):2896-2904. Zhou M, Chang M, Lan A Q, et al. Impacts of future land use on meteorological conditions over the Pearl River Delta Region [J]. China Environmental Science, 2017,37(8):2896-2904.
- [5] 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.
- [6] Oke T R. City size and the urban heat island [J]. Atmospheric Environment, 1973,7(8):769-779.
- [7] Fu H, Chen J. Formation, features and controlling strategies of severe haze-fog pollutions in China [J]. Science of The Total Environment, 2017,578:121-138.
- [8] Yang X, Peng L L H, Jiang Z, et al. Impact of urban heat island on energy demand in buildings: Local climate zones in Nanjing [J]. Applied Energy, 2020,260:114279.
- [9] Santamouris M. Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change [J]. Energy and Buildings, 2020,207:109482.
- [10] Morris K I, Chan A, Morris K J K, et al. Impact of urbanization level on the interactions of urban area, the urban climate, and human thermal comfort [J]. Applied Geography, 2017,79:50-72.
- [11] IPCC. Impacts of 1.5°C of global warming on natural and human systems 2018 [EB/OL]. <https://www.ipcc.ch/sr15/download/>.
- [12] Grilo F, Pinho P, Aleixo C, et al. Using green to cool the grey: Modelling the cooling effect of green spaces with a high spatial resolution [J]. Science of The Total Environment, 2020,724:138182.
- [13] Lu J, Li Q, Zeng L, et al. A micro-climatic study on cooling effect of an urban park in a hot and humid climate [J]. Sustainable Cities and Society, 2017,32:513-522.
- [14] Moss J L, Doick K J, Smith S, et al. Influence of evaporative cooling by urban forests on cooling demand in cities [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2019,37:65-73.
- [15] 陈命男,张 浩,唐靖寅,等.上海城市地表热环境多时期遥感研究 [J]. 中国环境科学, 2011,31(7):1143-1151. Chen M N, Zhang H, Tang J Y, et al. Study on the thermal environment of land surface in Shanghai with multi-temporal remote sensing images [J]. China Environmental Science, 2011,31(7):1143-1151.
- [16] Dimoudi A, Nikolopoulou M. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits [J]. Energy and Buildings, 2003,35(1):69-76.
- [17] Ng E, Chen L, Wang Y, et al. A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong [J]. Building and Environment, 2012,47:256-271.
- [18] Richards D R, Fung T K, Belcher R N, et al. Differential air temperature cooling performance of urban vegetation types in the tropics [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2020,50:126651.
- [19] Feyisa G L, Dons K, Meilby H. Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa [J]. Landscape and Urban Planning, 2014,123:87-95.
- [20] 唐罗忠,李职奇,严春风,等.不同类型绿地对南京热岛效应的缓解作

- 用 [J]. 生态环境学报, 2009,18(1):23-28.
- Tang L Z, Li Z Q, Yan C F, et al. Mitigative effects of different vegetations on heat island effect in Nanjing [J]. Ecology and Environmental Science, 2009,18(1):23-28.
- [21] Ren Y, Deng L Y, Zuo S D, et al. Quantifying the influences of various ecological factors on land surface temperature of urban forests [J]. Environmental Pollution, 2016,216:519-529.
- [22] Ren Z, He X, Zheng H, et al. Estimation of the Relationship between Urban Park Characteristics and Park Cool Island Intensity by Remote Sensing Data and Field Measurement [J]. Forests, 2013,4(4).
- [23] Liu W, You H, Dou J. Urban-rural humidity and temperature differences in the Beijing area [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2009,96(3):201-207.
- [24] 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,(22):1-11.
- Hua L Z, Sun F Q, Chen J N, et al. Quantifying the cool-island effects of urban parks using Landsat-8 imagery in a coastal city [J]. Xiamen, China. Acta Ecologica Sinica, 2020,(22):1-11.
- [25] Du H, Cai W, Xu Y, et al. Quantifying the cool island effects of urban green spaces using remote sensing Data [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2017,27:24-31.
- [26] 雷金睿,陈宗铸,吴庭天,等.1989~2015 年海口城市热环境与景观格局的时空演变及其相互关系 [J]. 中国环境科学, 2019,39(4):1734-1743.
- Lei J R, Chen Z Z, Wu T T, et al. Spatio-temporal evolution and interrelationship between thermal environment and landscape patterns of Haikou City, 1989~2015 [J]. China Environmental Science, 2019, 39(4):1734-1743.
- [27] Yu Z, Guo X, Jørgensen G, et al. How can urban green spaces be planned for climate adaptation in subtropical cities? [J]. Ecological Indicators, 2017,82:152-162.
- [28] 任志彬.城市森林对城市热环境的多尺度调节作用研究——以长春市为例 [D]. 长春:中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2014.
- Ren Z B. Multi-scale effects of urban forest on urban thermal environment: A study in Changchun [D]. Changchun: North-East Institute of Geography and Agricultural Ecology, University of Chinese Academy of Science, 2014.
- [29] 郑景云,尹云鹤,李炳元.中国气候区划新方案 [J]. 地理学报, 2010, 65(1):3-12.
- Zheng J Y, Yin Y H, Li B Y. A new scheme for climate regionalization in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2010,65(1):3-12.
- [30] 常州市统计局.2019 年常州市国民经济和社会发展统计公报 [EB/OL]. http://tjj.changzhou.gov.cn/html/tjj/2020/OPOEMFCL_0316/16217.html.
- Changzhou bureau of statistics. 2019Changzhou national economic and social development statistical bulletin [EB/OL]. http://tjj.changzhou.gov.cn/html/tjj/2020/OPOEMFCL_0316/16217.html.
- [31] 董 芹,霍 焱,雷正翠,等.常州气候变暖特点及气候变暖对灾害天气影响 [C]//中国气象学会 2008 年年会气候变化分会场,北京:2008.
- Dong Q, Huo Y, Lei Z C, et al. Characteristics of climate warming in Changzhou and its impacts on disaster weather [C]//China meteorological society's 2008 annual conference on climate change. Beijing: 2008.
- [32] 栾庆祖,叶彩华,刘勇洪,等.城市绿地对周边热环境影响遥感研究——以北京为例 [J]. 生态环境学报, 2014,23(2):252-261.
- Luan Q Z, Ye C H, Liu Y H, et al. Effect of urban green land on thermal environment of surroundings based on remote sensing: A case study in Beijing, China [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014,23(2):252-261.
- [33] 张菲菲,张爱民.城市绿地融合度与城市空气质量的相关性分析 [C]//中国城市规划年会, 2017.
- Zhang F F, Zhang A M. Correlation analysis of urban green space integration and urban air quality [C]// Annual national planning conference 2017. Dongguan: China.
- [34] 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.
- Feng Y Y, Hu T G, Zhang L X. Impacts of structure characteristics on the thermal environment effect of city parks [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014,34(12):3179-3187.
- [35] 阙增辉,刘朝顺,李志军.基于 Landsat-8 热红外数据的太湖地区地表温度反演与热岛效应分析 [J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2016,(4):129-138,168.
- Kan Z H, Liu C S, Li Z J. Retrieval of land surface temperature based on Landsat-8 thermal infrared data and heat island effect analysis over the Taihu Lake region [J]. Journal of East China Normal University (Natural Science), 2016,(4):129-138,168.
- [36] Schober P, Boer C, Schwarte L A. Correlation coefficients: appropriate use and interpretation [J]. Anesthesia & Analgesia, 2018,126(5):1763-1768.
- [37] Fan H, Yu Z, Yang G, et al. How to cool hot-humid (Asian) cities with urban trees? An optimal landscape size perspective [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2019,265:338-348.
- [38] Qiu K, Jia B. The roles of landscape both inside the park and the surroundings in park cooling effect [J]. Sustainable Cities and Society, 2020,52:10.1016/j.scs.2019.101864.
- [39] Xu L, Yue W. A study on thermal environment effect of urban park landscape [J]. Acta Ecol Sinica, 2008,28(4):1702-1710.
- [40] Zhou W, Qian Y, Li X, et al. Relationships between land cover and the surface urban heat island: seasonal variability and effects of spatial and thematic resolution of land cover data on predicting land surface temperatures [J]. Landscape Ecology, 2014,29(1):153-167.
- [41] Sekertekin A, Zadbagher E. Simulation of future land surface temperature distribution and evaluating surface urban heat island based on impervious surface area [J]. Ecological Indicators, 2021, 122:10.1016/j.ecolind.2020.107230.
- [42] Morabito M, Crisci A, Guerri G, et al. Surface urban heat islands in Italian metropolitan cities: Tree cover and impervious surface influences [J]. Science of the Total Environment, 2021,751:10.1016/j.scitotenv.2020.142334.

作者简介: 王新军(1978-),男,河南虞城人,副教授,博士,主要从事城市绿地的生态功能研究.发表论文 40 余篇。