

城市公园降温效应的季节性差异研究

——以石家庄市为例

张俊艳^{1,2}, 林高山^{1,2}, 王华静², 杨存建^{1,2}

(1. 西南土地资源评价与监测教育部重点实验室, 四川 成都 610068; 2. 四川师范大学 地理与资源科学学院, 四川 成都 610101)

摘 要:为研究不同时间尺度下城市公园绿岛效应的演变过程 and 变化特征, 选取石家庄二环内区域 2014—2015 年 4 景不同季节的 Landsat8 TM 遥感影像数据, 利用定量遥感中的地温反演模型、ArcGIS 的缓冲区工具以及景观格局分析理论, 对研究区公园绿岛效应的季节演变特征与景观格局指数进行分析。结果表明: 1) 城市公园对周边热环境的降温范围和幅度有明显季节差异, 各个公园的季节差异大小各有不同; 2) 在夏季, 公园是城市绿岛的集中所在地, 其他季节则不明显; 3) 当内部草地和不透水面占比之和超过 50% 时, 公园在春、秋、冬季节的绿岛效应便会明显减弱, 超过 80% 时会成为城市热岛中心; 4) 当内部林地和水体占比超过 55% 时, 公园在四季均有明显降温效应。

关键词:地表温度; 城市公园; 降温效应; 季节差异

中图分类号: S731.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-7461(2019)01-0247-07

Seasonal Differences in the Cooling Effect of Urban Parks

——A Case Study of Shijiazhuang

ZHANG Jun-yan^{1,2}, LIN Gao-shan^{1,2}, WANG Hua-jing², YANG Cun-jian^{1,2}

(1. Key Laboratory of Land Resources Evaluation and Monitoring in Southwest Ministry of Education, Chengdu 610068, Sichuan, China;

2. Central Laboratory, Faculty of Geography and Resources Science, Sichuan Normal University, Chengdu 610101, Sichuan, China)

Abstract: In order to understand the evolution process and characteristics of city park green island effect at different time scales, Landsat8 TM remote sensing image data of Shijiazhuang in four seasons during 2014—2015 were selected. By applying earth temperature inversion technology of quantitative remote sensing, tool buffer of ArcGIS, and landscape pattern analysis theory, the seasonal evolution features and landscape pattern index of park green island effect in the study area were investigated. The results showed that 1) there were obvious seasonal differences in the temperature range and range of the urban parks on the surrounding thermal environment, and the seasonal differences in each park were different. 2) In the summer, city islands were concentrated in parks, it was not true in other seasons. 3) When the ratio of internal grass and impervious surface was more than 50%, the green island effect of the parks significantly reduced in all the seasons except for summer, when the ratio was over 80%, city parks became the city heat island center. 4) When the woodland and water body accounted for more than 55%, the parks had significant cooling effect in the four seasons.

Key words: surface temperature inversion; cooling effect; urban parks; seasonal difference

城市建筑以及人类活动导致热量在城区空间范围内聚集的现象称为城市热岛效应(UHI)^[1]。城市化进程的加快导致城市热岛效应也随之加剧, 城市公园作为城市生态系统与景观的重要组成部分, 除

了为市民提供休闲娱乐场地,更重要是它的生态价值^[2]。公园能够在缓解城市热环境中起降温、增湿的作用,具有明显的绿岛效应^[3-5]。

近年来,国内外学者围绕城市公园的降温效应展开了大量研究。如 R. A. Spronken-Smith^[6]等指出拥有灌溉绿地和高大乔木的公园对城市热岛具有较强的缓解作用。J. Nichol^[7]通过对香港城市公园的地温变化的昼夜观测以及 Z. B. Ren^[8]等对长春不同季节的地温研究都表明,公园的降温效应具有时间尺度上的差异。国内学者首先从公园斑块面积上对其降温效果进行探讨,张新平^[9]等在对国内 6 个世园公园的降温效应对比研究中发现,世园公园夏季降温距离、冷岛强度与总面积、水体面积、绿地面积、边界长度和景观形状指数呈正相关,与不透水面面积、SHEI 呈负相关。苏泳娴^[10]等、冯悦怡^[11]等的研究发现:公园降温效应与水体、林地面积呈正相关,并且进一步从景观格局角度探究发现,绿地斑块越复杂,降温效应越明显;硬质地面分布越分散,绿岛效应越突出。

以上都表明城市公园在城市生态系统中具有明显的绿岛效应,但大部分都集中于对某地区的瞬时地温进行分析研究,而在对城市公园降温效应的季

节性差异方面的研究较少。因此,本研究立足于城市公园在城市生态系统中所发挥的绿岛生态效应,以河北省石家庄市为例,选取二环内 9 个公园为对象,通过对不同季节的地表温度反演,进一步研究城市公园在城市生态系统环境中所起到的降温效应影响范围与降温幅度的季相差异,并探索其影响因素,从而更好地反映出合理规划城市公园的景观格局对于城市生态系统健康有序发展的重要性。

1 研究区概况

选取河北省石家庄市二环以内的城市片区作为研究的背景区域。石家庄地处华北平原腹地,位于 114°25′—114°34′E、37°59′—38°05′N,属温带季风气候,夏季高温多雨,冬季温和少雨,年降水量 401.1~752.0 mm。随着石家庄城市化进程的快速推进,城市建设用地在整个城市空间土地利用中的占比不断攀升,城市热岛效应将严重影响到该城市的人居环境,威胁到居民的生存与发展^[12]。

为了准确分析城市公园对其周边热环境的降温效益,在研究对象中剔除了周边有水体环绕或对对象外围邻近地域植被覆盖度较高的公园,最终选取了石家庄二环内区域的 9 个公园(图 1)。

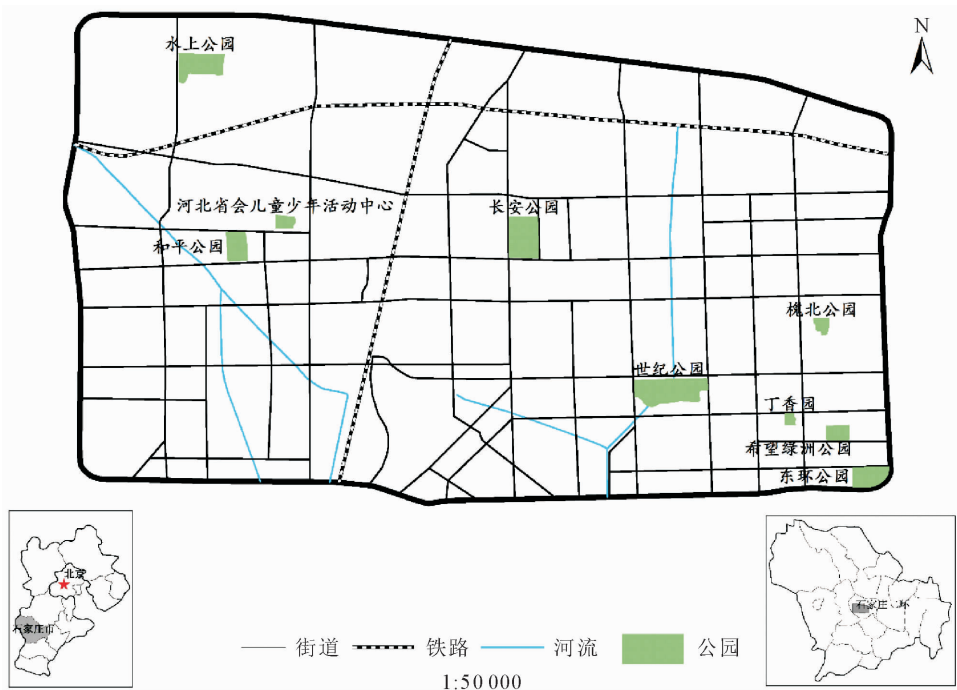


图 1 石家庄市公园位置分布

Fig. 1 The distribution of garden in Sijiazhuang

2 材料与方法

2.1 数据来源

采用研究区的 Landsat8 遥感影像作为基础数据,条带号 124,行列号 31,获取自中国科学院计算

机网络信息中心地理空间数据云平台。选用影像成像日期分别为 2014 年 12 月 16 日(冬)、2015 年 3 月 6 日(春)、2015 年 7 月 12 日(夏)、2015 年 10 月 16 日(秋)。成像时天气状况良好,云量<5%,数据质量好。各公园下垫面数据由 google earth 影像直

接人工目视解译获取。借助 ENVI5.1 与 Arc-Map10.1 等空间数据分析平台以及相关统计分析软件 SPSS17.0 等进行数据的处理与分析。遥感数据的预处理包括数据读取、辐射定标、大气校正、几何校正、区域裁剪等。

2.2 研究方法

2.2.1 地表温度反演 地表温度是地面温度的表征,会受到不同区域的下垫面性质以及气象气候条件等因素的影响,是监测和反应城市热岛效应的核心指标之一。选用辐射传输方程法对研究区地表温度进行反演,其基本思路为:首先,利用与卫星获取数据时间同步的大气数据来估计大气对地表热辐射的影响,然后把这部分大气影响从卫星观测到的热辐射总量中去除,即减去上行和下行辐射,保留地表热红外辐射亮度值,从而得到地表热辐射强度。最后把这一热辐射强度转化为相应的地表温度。

1)植被覆盖度公式:
$$VFC = (NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}) \quad (1)$$
式中,NDVI 为归一化差异植被指数。依据研究区 NDVI 值统计结果, $NDVI_{max} = 0.409\ 08$, $NDVI_{min} = 0.900\ 875$ 。

物体的比辐射率是自然界物体向外辐射电磁波能力的刻画。根据覃志豪^[13]的研究,将研究区地表覆盖划分为水体、城镇和自然表面 3 种类型。水体像元的比辐射率赋值为 0.995,自然表面和城镇像元的比辐射率估算则分别根据下式计算:

$$\begin{aligned} \epsilon_{surface} &= 0.962\ 5 + 0.061\ 4\ VFC - 0.046\ 1\ VFC^2 \quad (2) \\ \epsilon_{building} &= 0.958\ 9 + 0.086\ VFC - 0.067\ 1\ VFC^2 \quad (3) \end{aligned}$$

式中, $\epsilon_{surface}$ 和 $\epsilon_{building}$ 分别代表自然表面像元和城镇像元的比辐射率。

2)计算辐射亮度值。卫星传感器接收到的热红外辐射亮度值 L_λ 由 3 部分组成(上行、地表、下行):大气向上辐射亮度 L_\uparrow ;地面的真实辐射亮度经过大气层之后到达卫星传感器的能量;大气向下辐射到达地面后反射的能量。卫星传感器接收到的热红外辐射亮度值的表达式可写为(辐射传输方程):

$$L_\lambda = [\epsilon \cdot B(TS) + (1 - \epsilon)L_\downarrow] \tau + L_\uparrow \quad (4)$$

这里, ϵ 为地表辐射率, TS 为地表真实温度, $B(TS)$ 为普朗克定律推导得到的黑体在 TS 的热辐射亮度, τ 为大气在热红外波段的透过率。则温度为 T 的黑体在热红外波段的辐射亮度 $B(TS)$ 为:

$$B(TS) = [L_\lambda - L_\uparrow - \tau \cdot (1 - \epsilon)L_\downarrow] / \tau \cdot \epsilon \quad (5)$$

在 NASA 官方网站 ([http://atmcorr.gsfc.](http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/)

[nasa.gov/](http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/))中输入成像时间以及中心经纬度,可获得上式中所需要的参数。

3)反演地表温度。在获取温度为 TS 的黑体在热红外波段的辐射亮度后,根据普朗克公式的反函数,求得地表真实温度 TS :

$$TS = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{B(TS)} + 1\right)} \quad (6)$$

式中, K_1 、 K_2 为 Landsat8 TIRS 的热红外波段 (Band10) 的标定参数,其值分别为 $K_1 = 774.89\ W \cdot (m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1})$, $K_2 = 1\ 321.081\ K$ (绝对温度)。

2.2.2 缓冲区分析 利用 ArcMap10.1 的缓冲区分析工具,以公园为中心建立缓冲半径为 30 m 的面状多环缓冲区,缓冲最终范围以各公园外围温度无明显变化区域为界。其后,将各个公园及其缓冲区与地表温度栅格数据进行叠加分析,提取对应空间位置的地表温度值。

2.2.3 绿岛景观等级划分 借鉴孙飒梅^[14]等提出的城市热岛的划分方法,用相对代表温度分割出绿岛的景观等级,用于反映研究区内不同季节的绿岛演变状态。计算公式如下:

$$T_R = (T_i - T_m) / T_m \quad (7)$$

式中, T_R 是相对地表温度, T_i 是城市第 i 个像元的地表温度, T_m 是研究区的平均地温。最后,根据前人的研究经验以及研究区的实际情况,对 T_R 进行阈值分割(表 1)。

表 1 城市绿岛景观等级划分标准	
Table 1 Classification standard of urban green landscape	
相对地表温度/℃	绿岛景观斑块等级
<-0.2	极强
-0.2~-0.15	很强
-0.15~-0.10	强
-0.10~-0.05	中等
-0.10~0	弱
>0	无

3 结果与分析

3.1 公园季相地温统计

3.1.1 公园季相平均地温统计分析 通过遥感反演获取的地表温度数据与公园空间位置的叠加统计,得到各个公园的内部平均地温(图 2)。各公园地表温度的季节性变化特征显著,且在同一季节内各公园温度差异较小。平均地温比较:夏季>秋季>春季>冬季,各公园平均地温在夏秋两季均低于研究区地温平均值,在冬春两季与研究区平均地温相差不大。

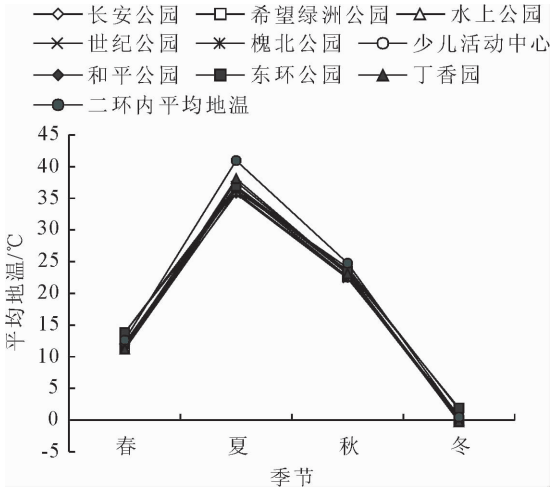


图 2 公园季相平均地温

Fig. 2 Seasonal average temperature of parks

3.1.2 公园季相降温范围和降温幅度分析 从降温范围和降温幅度的均值上比较,都是夏季最佳,秋季次之,冬春两季最弱且差距小。从图 3 和与图 4 来看,无论是降温范围还是降温幅度,夏秋两季都明显高于冬春两季。其中,希望公园、世纪公园、槐北公园的冬春两季以及东环公园的春季、秋季和冬季的降温范围和降温幅度为负数,说明此时其内部温度高于周边环境,并且作为高温中心向四周辐射。如此看来,城市公园并不是在四季都作为低温中心存在。不同公园的降温效应会表现出不同的季节差异。

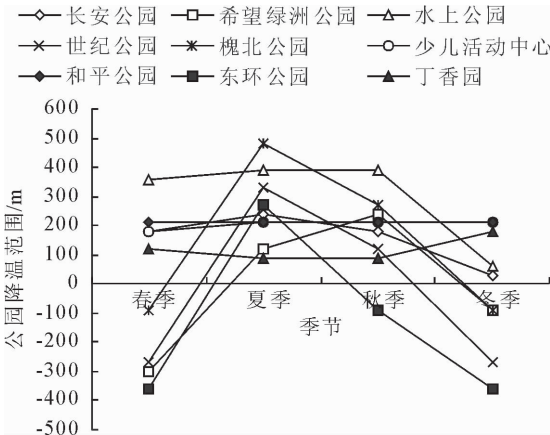


图 3 公园季相降温范围

Fig. 3 Seasonal cooling scope of the parks

根据公园每个季节所表现的不同降温效果,按照季节名称对不同公园进行绿岛分类。第 1 类:四季绿岛,即 4 个季节整体存在绿岛效应,对周围热环境有降温作用;第 2 类:夏秋绿岛,只在夏季和秋季存在绿岛效应,其他季节对周边环境没有降温作用;第 3 类:夏季绿岛,只有夏季存在降温效应的公园(表 2)。

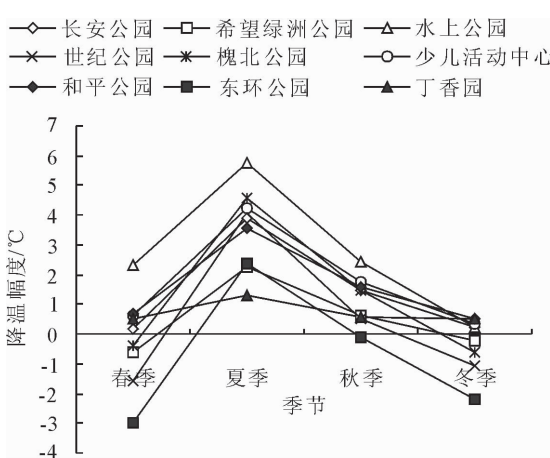


图 4 公园季相降温幅度

Fig. 4 Seasonal temperature decrease of the parks

表 2 公园绿岛分类

Table 2 Green island classification of parks

绿岛类型	公园名称
四季绿岛	长安公园, 水上公园, 少儿活动中心, 和平公园, 丁香园
夏秋绿岛	希望绿洲公园, 世纪公园, 槐北公园
夏季绿岛	东环公园

作为四季绿岛,这些公园降温范围均值与降温幅度均值的关系模拟曲线为三次多项式。关系式为 $y = -69.229x^3 + 355.59x^2 - 451.27x + 286.21$, $R^2 = 0.9631$ (图 5),这与肖婕颖^[15]等的研究结果一致。而非四季绿岛的希望绿洲公园、世纪公园、槐北公园和东环公园 4 个公园,因其降温效果的季节差异较大,在这里作为特例分析。从图 6 可见,夏秋绿岛和夏季绿岛的降温范围均值与降温幅度均值的关系模拟曲线为二次多项式,其关系式为 $y = 57.624x^2 + 110.42x - 85.479$, $R^2 = 0.9992$ 。东环公园的降温范围与降温幅度都为负,说明就全年而言,东环公园在城市中是作为热岛存在。由图 5 和图 6 共同说明无论城市公园在何时显现降温效应,其降温范围与幅度都呈显著正相关。大致表现为全年降温范围越广,其对周边环境的降温幅度越大。反之,全年增温范围越广,对周边环境的增温幅度也越大。

3.2 绿岛景观格局季节演变的空间分布特征

根据表 1 的等级划分标准,对石家庄二环内区域的 4 个季节分别进行了城市绿岛景观等级划分(图 7)。从整体上看,夏季和秋季的强绿岛景观大体都分布在公园所在地,而冬春两季的强绿岛景观分布较为相似,大致分散在建筑较稀疏且有高大乔木覆盖的高档居民小区和大型医院。研究区内绿岛效应最弱的区域分布在两条十字交叉的铁路沿线周

低,对周边热环境的降温效应越强。但是,每种绿地类型的绿岛效应有所不同,一般表现为乔木>灌木>草坪^[17]。我国北方地区草地覆盖具有明显的季节差异,总体表现为春夏季旺盛、秋冬季稀疏。原本有植被覆盖的区域可能因为季节变化成为裸地,继而不再有绿岛效应。因此,对于降温效应的季节性差异研究来说,草地和不透水面将作为 2 个反作用因素来考虑。北方城市公园的林地植被类型以落叶乔木为主,已有的研究针对夏季而言,其基本规律为林地占比越大,公园降温效应越强。但落叶乔木在夏季和冬季的生长状态具有显著差别,其降温效益必然有所差异。水体因其比热容较大,自身温度变化较周边环境较小。因此,对城市公园降温效应的季节差异探究还需考虑水体的调节作用。

将各个公园下垫面组成的栅格数据导入 Frag-Stats4.2,得到每个公园各个地类的百分比(图 8),草地与不透水面的占比与公园整体降温幅度呈显著负相关, $R^2=0.720\ 1$ 。说明草地和不透水面比例越大,公园对周边环境的降温辐射越弱。值得注意的是,“夏秋绿岛”即希望绿洲公园、世纪公园、槐北公园这 3 个公园的草地与不透水面占比之和都>50%,而“夏季绿岛”即东环公园达到 100%。由此可以说明,草地和不透水面的面积占比一旦超过公园总面积的 1/2,在春、秋、冬季,此类公园的绿岛效应便会明显减弱,甚至成为城市热岛中心。如东环公园 2015 年内整体降温幅度为-0.7℃,说明其在时间尺度上呈现出热岛特征,对周边环境起增温作用。东环公园主要由草坪绿地和水泥道路面构成,夏季植被旺盛,有降温增湿的作用。其他季节草地稀疏或枯萎,降温增湿作用减弱。尤其是在冬季,因植被稀疏、地表裸露而增温形成强热岛中心。而林地和水体的占比与公园冬季降温幅度呈显著正相关, $R^2=0.881\ 8$ (图 9)。说明林地和水体在城市公园中的面积比重越大,在冬季的降温效应越强。反之,降温效应越弱,或者无降温效应。冬季是城市公园降温效应最弱的季节,但仍然有部分公园呈现出显著的降温作用,如长安公园、少儿活动中心、和平公园、水上公园以及丁香园,而此类公园的林地和水体的占比均>55%。其余公园的林地和水体占比之和<50%,在冬季的降温幅度为负,即在冬季呈热岛特征。由此可以说明,为确保城市公园在冬季保持绿岛效应,林地与水体面积占比在整体面积 1/2 以上最佳。

4 结论与讨论

基于 Landsat8 TM 遥感影像、高分辨率 Google

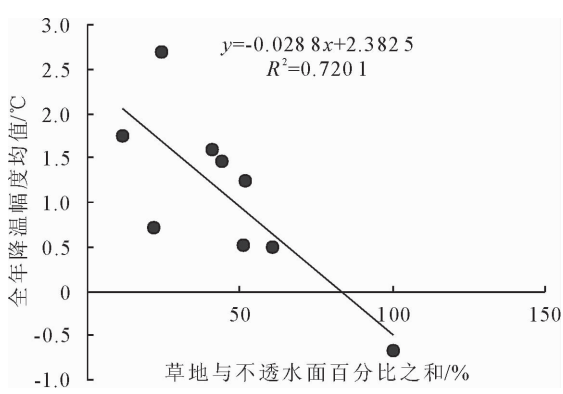


图 8 草地与不透水面百分比之和与四季降温幅度均值的拟合曲线图

Fig. 8 Fitting curves between sum of percentages of lawn and impermeable surface and mean temperature of temperature decrease

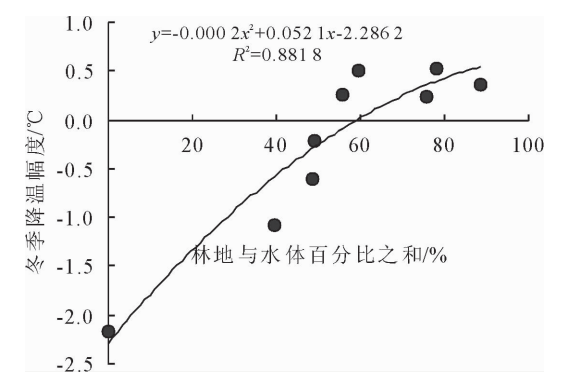


图 9 林地与水体百分比之和与冬季降温幅度的拟合曲线图

Fig. 9 Fitting curves of the percentage of forest land to water body and cooling rate in winter

影像,利用定量遥感的地温反演技术和 GIS 空间分析、数理统计方法,通过研究不同季节下城市公园降温效应的差异以及其中的变化机理,旨在为指导城市公园规划与建设提供参考和理论依据。整体而言,大多数城市公园在城市热环境中显现出绿岛效应,其全年降温范围均值与降温幅度均值呈现显著的正相关关系,与王海涛^[20]等的研究结论相似。城市绿岛景观分布具有明显季节差异,公园在夏季表现为强绿岛景观,属于“城市冷岛”中心,其他季节有所减弱,如城市公园在冬季成为热岛中心。通过对公园内部下垫面组成结构的差异性探讨发现,公园内部草地和不透水面占比超过 50%时,公园在春、秋、冬季的绿岛效应便会明显减弱,当此比例>80%时,公园就全年而言在城市中以热岛中心存在。林地与水体百分比之和与冬季降温幅度的拟合分析进一步验证下垫面组成结构会造成公园降温效应的差异,研究区内四季都具有明显降温效应的公园均有此共同特点,即林地与水体百分比之和超过自身公园总面积的 1/2。

有研究表明,不透水面由于改变公园地表的潜热和显热通量,从而使地表增温,影响城市公园绿岛效应的发挥^[19];北方城市草地的生长状态季节性差异较大,直接影响了公园降温效应的季节性变化趋势;北方城市绿地以乔木为主,因其植被覆盖状态季节差异较小,为公园的降温效应发挥着重要作用。冯晓刚^[18]等的研究发现,公园水体面积 $\geq 30\%$ 时,在夏季的平均降温范围和幅度均较高。而本研究针对公园在全年范围的整体的降温效果,重点关注各个下垫面的面积组合特征。但公园降温效果不仅与下垫面面积组合有关,王海涛^[20]等的研究表明,下垫面之间的空间结构、均匀度、聚集度等特征与其降温效果也有密切联系。因此,下垫面景观指数特征、植物群落组成及变化、人类活动以及周边环境中的人员状况及其变化等因素,将成为城市公园降温效应的季节性差异原因探索的后续研究重点。

参考文献：

[1] 肖荣波,欧阳志云,李伟峰,等. 城市热岛的生态环境效应[J]. 生态学报,2005,25(8):2055-2060.

[2] 叶萌,宋于洋,田晓鸽. 新疆库勒孔雀公园景观格局与生态服务功能动态分析[J]. 西北林学院学报,2017,32(3):259-264. YE M, SONG Y Y, TIAN X G. Dynamic analysis of landscape pattern and ecological service function of the peacock park in Korla, Xinjiang[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017,32(3):259-264. (in Chinese)

[3] BOELER D E, PULLIN A S, 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, 97:147-155. (in Chinese)

[4] 马雪梅,张友静,黄浩. 城市热场与绿地景观相关性定量分析[J]. 国土资源遥感,2005,16(3):10-13.

[5] 李延明,郭佳,冯久莹. 城市绿色空间及对城市热岛效应的影响[J]. 城市环境与城市生态,2004,17(1):1-4. LI Y M, GUO J, FENG J Y. Urban green space and its effect on urban heat island effect[J]. Urban Environment and Urban Ecology, 2004,17(1):1-4. (in Chinese)

[6] SPRONKEN-SMITH R A, OKE T R. The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climate[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998,19:2085-2104.

[7] NICHOL J. Remote sensing of urban heat islands by day and night[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2005,71:613-621.

[8] REN Z B, HE X Y, ZHENG H F, *et al.* Estimation of the relationship between urban park characteristics and park cool island intensity by remote sensing data and field measurement[J]. Forests, 2013,4:868-886.

[9] 张新平,张芳芳,王得祥,等. 基于遥感指标的 6 个世园公园热

环境效应对比分析[J]. 西北林学院学报,2016,31(6):19-25. ZHANG X P, ZHANG F F, WANG D X, *et al.* Comparative analysis on thermal environment effects of six international horticultural exhibition parks based on remote sensing indices in China[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016,31(6):19-25. (in Chinese)

[10] 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,2011,31(23):312-315.

[11] 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.

[12] 薛志成. 城市热岛效应威胁人类健康[J]. 安全与健康,2002(13):15-16.

[13] 覃志豪. 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.

[14] 孙飒梅,卢昌义. 遥感监测城市热岛强度及其作为生态监测指标的探讨[J]. 厦门大学学报:自然科学版,2002,41(1):66-70. SUN S M, LU C Y. Study on monitoring intensity of urban heat island and taking it as an indicator for urban ecosystem by remote sensing[J]. Journal of Xiamen University: Natural Science, 2002,41(1):66-70. (in Chinese)

[15] 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.

[16] 李倩,吴英,毛双双. 不同地表覆盖类型对城市地表热环境的调节[J]. 西北林学院学报,2017,32(3):198-204,210. LI Q, WU Y, MAO S S. Regulation function of different surface cover types to urban surface thermal environment[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017,32(3):198-204,210. (in Chinese)

[17] 孔繁花,尹海伟,刘金勇,等. 城市绿地降温效应研究进展与展望[J]. 自然资源学报,2013,28(1):171-181. KONG F H, YIN H W, LIU J Y, *et al.* A review of research on the urban green space cooling effect[J]. Journal of Natural Resources, 2013,28(1):171-181. (in Chinese)

[18] 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. FENG X G, SHI H. Research on the cooling effect of Xi'an parks in summer based on remote sensing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012,32(23):7355-7363. (in Chinese)

[19] 姚远,陈曦,钱静. 城市地表热环境研究进展[J]. 生态学报,2018,38(3):1134-1147. YAO Y, CHEN X, QIAN J. Research progress on the thermal environment of the urban surface[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018,38(3):1134-1147. (in Chinese)

[20] 王海涛,董雅,张昊雁. 公园绿地降温效应及相关性分析——以天津市为例[J]. 干旱区资源与环境,2017,31(6):83-89. WANG H T, DONG Y, ZHANG H Y. Cooling effect and correlation analysis of parks green space: a case study in Tianjin[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017,31(6):83-89. (in Chinese)