

夏热冬冷地区城市绿地“冷”岛效应年周期变化^{*}

Cyclic Changes of the Cold Island Effect of Urban Green Space in Regions with Hot Summers and Cold Winters

李峻峰¹, 陆峥妍², 甄蒙³

LI Junfeng, LU Zhengyan, ZHEN Meng



开放科学(资源服务)

标识码(OSID)

【本文引用格式】李峻峰, 陆峥妍, 甄蒙. 夏热冬冷地区城市绿地“冷”岛效应年周期变化[J]. 南方建筑, 2022(9): 87–95.

LI Junfeng, LU Zhengyan, ZHEN Meng. Cyclic Changes of the Cold Island Effect of Urban Green Space in Regions with Hot Summers and Cold Winters[J]. South Architecture, 2022(9): 87–95.

摘要 基于 Landsat 系列卫星影像, 采用大气校正法对夏热冬冷地区典型代表城市合肥市 2010 ~ 2021 年不同季节同一时刻共计 60 幅遥感影像进行地表温度反演, 分析绿地冷岛效应长时间尺度周期性变化特征。结果表明: (1) 绿地冷岛效应存在较显著的年周期变化特征; (2) 其特征表现为绿地冷岛强度的季节化差异, 各季节冷岛强度变化依次为夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季; (3) 研究发现绿地并非全年均呈现降温效应, 部分季节出现“增温”效应。研究结果既对长时间尺度绿地冷岛效应理论研究进行补充, 也为城市热环境改善、节能减排及城市景观优化提供建议。

关键词 绿地冷岛效应; 地温反演; 长时间尺度; 年周期性变化特征; 绿地“增温”效应

*** 基金项目** 国家自然科学基金青年基金资助项目(51808440); 基于“呼吸式居住区”的空间形态与竖向风环境耦合机理研究。

中图分类号 TU986 **文献标志码** A

DOI 10.3969/j.issn.1000-0232.2022.09.011

文章编号 1000-0232(2022)09-0087-09

作者简介 ¹ 副教授, 电子邮箱: june4ni@126.com; ² 硕士研究生; ³ 西安交通大学人居环境与建筑工程学院, 副教授; ^{1&2} 合肥工业大学建筑与艺术学院

ABSTRACT Research on temporal changes of thermal effects in green spaces in the context of global warming was explored in this study. The long-term variation laws of thermal effects in green spaces were slightly different from short-term variation laws. Generally speaking, research on the short-term thermal effects of green spaces only capture changes in thermal effects of a single category. It is relatively difficult to master the overall variation laws of green space effects. However, comparison of spatial-temporal distribution changes of thermal effects of green spaces in large-scaled cities and urban agglomerations over years is conducive to exploring long-term variations of energy consumption in outdoor thermal environments.

Recently, scholars have conducted numerous studies on the temporal variation characteristics of cold island effects in green spaces. Previous temporal scales mainly include instantaneous time points, finite time slices,

and short years. Some scholars studied instantaneous variations of the cold island effect at specific times. Some scholars chose limited time slices to study the seasonal variation of the cold island effect. Although current studies on temporal variation characteristics of the cold island effect in green spaces at instantaneous time points, limited time slices, or temporary years can display variation intuitively, they cannot summarize variation laws comprehensively and cannot fully reflect stability.

A total of 60 remote-sensing images from different seasons taken between 2010~2021 were utilized in this study. Several frames of remote-sensing images in Hefei City, a typical representative city with hot summers and cold winters, were chosen for surface temperature inversion using the atmospheric correction method. Long-term periodic variation characteristics of the cold island effect in green spaces were analyzed. Results demonstrated that (1) the cold island effect of green spaces has relatively significant annual periodic variation characteristics; (2) Such characteristics manifested as seasonal differences of cold island intensity of green spaces: summer > autumn > spring > winter; (3) This study discovered that green spaces do not offer a cooling effect throughout a year, but have a warming effect in some seasons.

However, this study has some limitations. (1) Since remote-sensing image data was lacking, the periodic variation characteristics of the cold island effect in green spaces were not obvious; (2) This study didn't compare fitting differences of several time functional models and lacks law summarization; (3) This study chose single research samples, but didn't consider different shape indexes or other types of green spaces. Future studies should integrate these elements.

Research conclusions supplement theoretical studies on the long-term cold island effect of green spaces, but also provide suggestions to improve urban thermal environments, save energy, reduce emissions, and optimize urban landscapes.

KEY WORDS cold island effect in green spaces; surface temperature inversion; long-term scale; annual variation characteristics; "warming" effect of green spaces

引言

全球变暖一直是当前国际社会广泛热议的话题之一。研究显示,全球变暖对区域气候带来影响,20世纪以来,截止到2020年,全球地表平均温度上升 1.2°C ,是本世纪以来最暖的年份^[1]。与此同时,城市化进程的加快带来土地利用模式与城市表面能量平衡改变,导致城市热岛效应加剧,严重危害城市可居住性。因此,如何缓解城市热岛效应成为现今研究重点。冷岛效应最早出现在沙漠绿洲,即不论昼夜夏季绿洲上方不同高度层空气温度均低于周围环境温度,绿洲相较于周围环境成为独立“冷岛”^[2]。绿地自身具有蒸散作用、植物光合作用以及遮阳作用^[3],对缓解城市热岛尤为为重要,也是当下研究热点。

近年来,国内外学者围绕绿地冷岛效应在不同时间尺度上变化特征进行大量研究,既往关于绿地冷岛强度时间尺度上的研究主要包括瞬时时间点、有限时间片段及短暂的年时间尺度。一些学者选取特定时间点研究冷岛效应瞬时变化情况,Janet^[4]基于遥感影像对比香港西部新城区不同土地类型昼夜冷岛强度变化,闫伟姣^[5]、高玉福^[6]等也通过实测总结不同森林植被结构冷岛效应昼夜变化规律。另一些学者则截选有限的时间片段研究冷岛效应季节性差异,Chang^[7]和Hamada^[8]结合遥感反演与实测纵横对比冷岛效应在不同季节的变化特征。但少有学者进行年时间尺度研究,Yu^[9]等研究2000~2018年北京市五环内水体冷岛强度年际变化情况,Zhou^[2]等研究黑河盆地绿洲冷岛效应季节性变化影响因素。

不论是瞬时时间点,还是有限的时间片段亦或是短暂的年时间尺度,当前绿地冷岛效应时间尺度变化特征研究虽能直观展现变化的现象性,仍不能全面概括变化的规律性,稳定性也更不足以体现。虽有文献提及冷岛效应也可能存在周期性变化特征^[8-10],拟合统计模型验证冷岛降温范围与幅度^[8],但研究结果仅停留在预测层面。

文章对2010~2021年不同季节共计60幅遥感影像,采用遥感反演获得地表温度,并归纳时间与冷岛强度之间关系,研究结果表明长时间尺度绿地冷岛效应存在较显著周期性变化。研究也发现部分绿地季节出现“增温”效应。该研究既总结了绿地冷岛效应年周期变化规律,同时也对绿地规划设计提供参考。

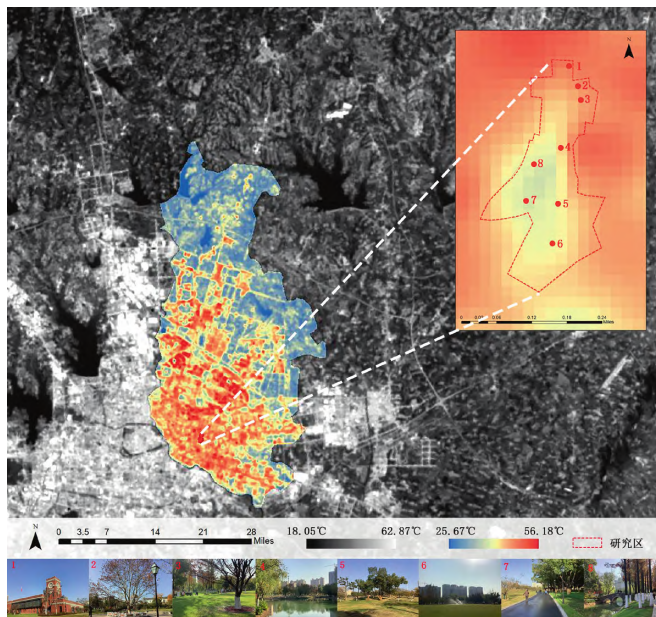


图1 研究区概况

1 研究区概况

夏热冬冷地区因其气候独特,汇集南方湿热与北方寒冷的气候特征,且稳定性好,因而是研究建筑室内外风热环境能耗模拟的良好对象^[11]。进行冷岛效应研究时,研究对象尺度和下垫面类型对研究结果有一定程度影响,而公园绿地是中尺度城市绿地冷岛效应研究的良好载体,面积尺度适宜,下垫面类型丰富,水体与绿地占比合理^[9, 10],且相关研究证实面积在10ha以上的公园绿地可有效发挥绿地冷岛效应^[9]。因此,本文选取夏热冬冷地区典型代表城市合肥市的花冲公园(图1)为对象($117^{\circ} 19' 49.18'' \text{ E}$, $31^{\circ} 51' 48.66'' \text{ N}$)。

花冲公园总面积约15ha,绿地面积约12ha,水体面积较小约为1ha。绿地内植被种类丰富,以乔木为主,灌草为辅,苗木总数约3220余株,落叶大乔木数量约占65.4%,常绿树种类虽少但数量多。该研究对象大小尺度相对适中^[9]且植被丰富。通过初步研究发现,该绿地周围热岛效应较显著(图2),绿地周边120m范围建筑占比高达85%且均为老旧住区。对

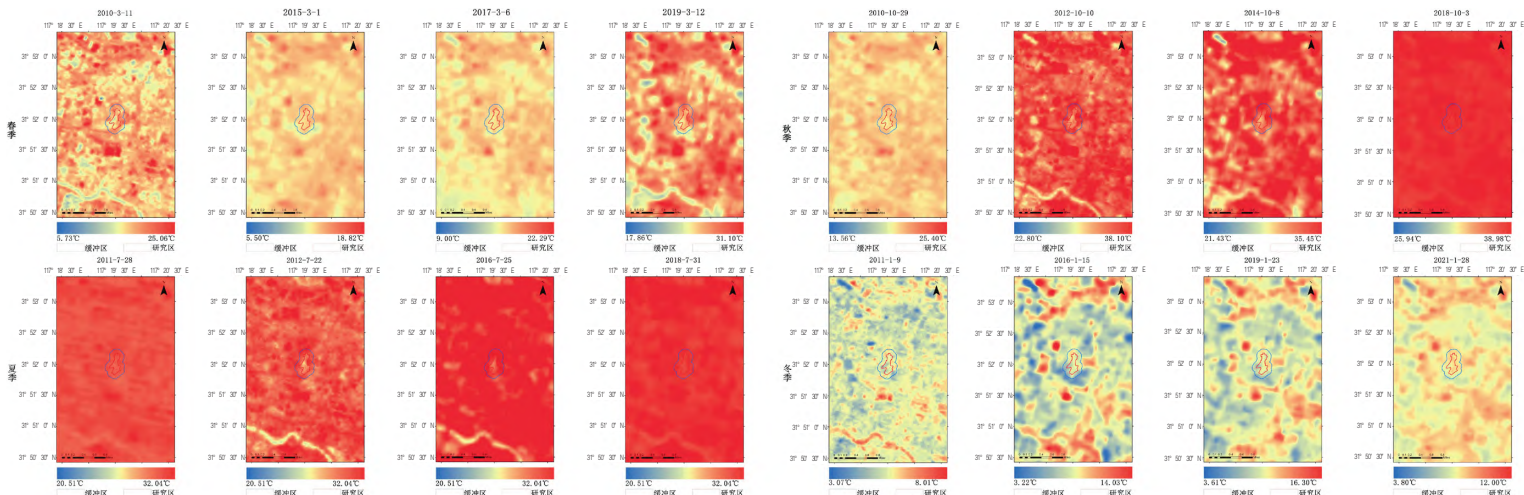


图2 2010 ~ 2021年不同年份相同季节研究区1200m范围热岛强度变化对比

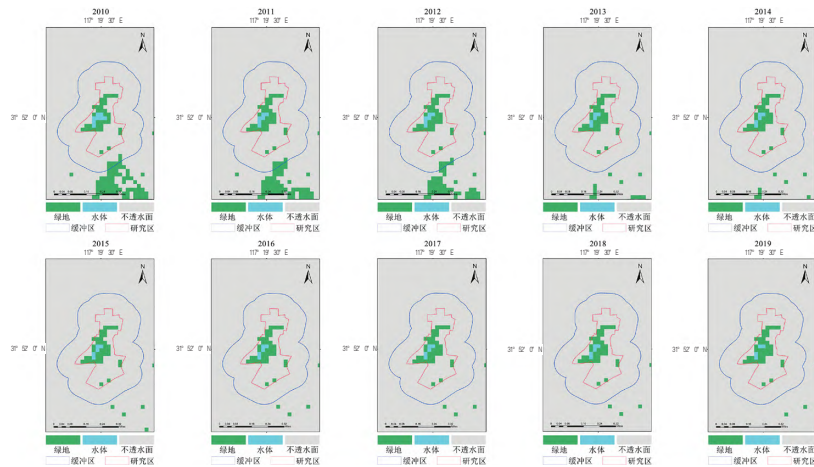
图3 2010 ~ 2019 年研究区土地利用类型变化^[12]

图4 研究选取的遥感影像季节分布图

图5 研究框架图示

比 2010~2019 年研究区土地利用类型变化图^[12] (图 3), 可见 10 年间公园内部及周边土地利用类型较为稳定, 地类稳定在绿地、水体与不透水表面三种类型, 但 10 年间绿地与水体面积逐步减少。除此之外, 研究区遥感影像资料完善且数量较充足, 不同历史时期卫星航片资料也易获取。因此, 该绿地是研究夏热冬冷地区城市绿地冷岛效应的典型代表绿地, 对相同尺度下同类型公园的冷岛效应研究具有借鉴意义。

2 研究方法

2.1 数据来源与处理

采用 2010 ~ 2021 年 Landsat 系列卫星遥感影像数据 (表 1), 并用大气校正法^[13] 对研究区进行地温反演。所有遥感影像数据均来源于地理空间云网站^[14]。各季节遥感影像图数目分布情况如图 4, 方块代表该月份至少存在一副 Landsat 卫星影像, 横轴代表年份, 纵轴代表月份。经统计, 各季节影像数量为春季 18 幅、夏季 11 幅、秋季 17 幅、冬季 14 幅, 各季节影像图数目较平均。整体研究思路如图 5 所示。

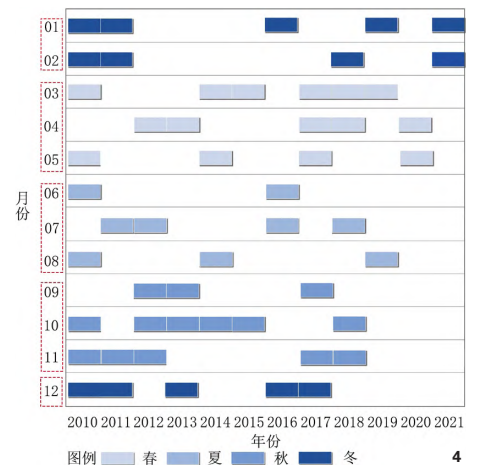
2.2 遥感影像反演

因影像反演法相较辐射传输方法、单窗算法和单通道算法反演过程更为简便, 操作容易, 并且结果与单窗算法和单通道算法较为接近^[15], 因此文章采用影像反演法对遥感影像进行处理, 具体步骤主要参照林平等^[16] 提出的 Landsat 卫星大气校正法进行反演计算:

(1) 辐射定标^[16], 式中 L_{λ} 为波段 λ 的大气顶部光谱辐射值, M_L 和 A_L 都是调整因子, Q_{cal} 为 16 位量化的 DN 值:

$$L_{\lambda} = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

(2) 大气校正^[16]: 主要参考学者李海峰^[17] 提出的 COST 模型进行大气校正;



图例 春 夏 秋 冬

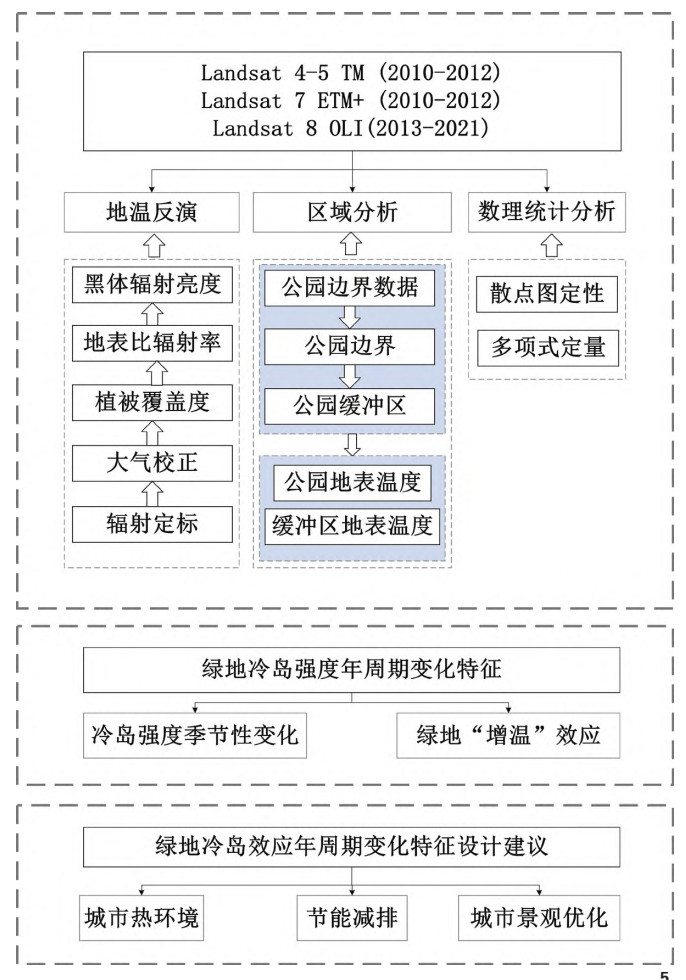


表 1 部分卫星遥感数据来源

成像时间 (年/月/日)	2011/2/2	2012/11/11	2015/10/11
卫星传感器类型	Landsat 4-5 TM	Landsat 7 ETM+	Landsat 8 OLI_TIRS
空间分辨率 (m)	30		
中心经纬度 (°)	NaN		
条带号	121		
行编号	38		
影像拍摄时间	02:33:29	02:39:26	02:43:33
云量 (%)	0.05	0.1	0.1

(3) 植被覆盖度计算^[16], 其中 NDVI 为归一化植被指数, 取 NDVIV=0.70 和 NDVIS=0.00, 且有当某个像元的 NDVI > 0.70 时, $F_V=1$, 当 NDVI < 0.00, $F_V=0$:

$$F_V = (NDVI - NDVIS) / (NDVIV - NDVIS) \quad (2)$$

(4) 地表比辐射率计算^[16], 其中 $\epsilon_{\text{surface}}$ 和 $\epsilon_{\text{building}}$ 分别代表自然表面像元和建筑像元的比辐射率:

$$\epsilon_{\text{surface}} = 0.9625 + 0.0614F_V - 0.0461F_{V2} \quad (3)$$

$$\epsilon_{\text{building}} = 0.9589 + 0.086F_V - 0.0671F_{V2} \quad (4)$$

(5) 黑体辐射亮度^[17], 其中 L_λ 为热辐射强度, 可以根据红外波段 DN 值进行计算, ϵ 为地表比辐射率:

$$L_\lambda = [\epsilon \times B(T_s) + (1 - \epsilon) L_{\downarrow}] \times \tau + L_{\uparrow} \quad (5)$$

$B(T_s)$ 为用 Planck 函数表示黑体热辐射强度, 其中 T_s 是地表温度 LST (K), τ 为大气透过率, L_{\uparrow} 和 L_{\downarrow} 分别是大气上行辐射和大气下行热辐射强度^[16], 地表温度 (TS) 在红外波段的黑体辐射亮度为^[16]:

$$B(T_s) = [L_\lambda - L_{\uparrow} - \tau \times (1 - \epsilon) L_{\downarrow}] / \tau \times \epsilon \quad (6)$$

(6) 反演地表温度^[16], 依据普朗克公式进行反函数处理, 求得地表真实温度 T_s :

$$T_s = K_2 / \ln(K_1 / B(T_s) + 1) \quad (7)$$

其中对于 Landsat 4-5 TM, $K_1 = 607.76W / (m^{-2} \times sr^{-1} \times \mu m^{-1})$, $K_2 = 1260.56k$, 对于 Landsat 7 ETM+, $K_1 = 666.09W / (m^{-2} \times sr^{-1} \times \mu m^{-1})$, $K_2 = 1282.71k$, 对于 Landsat 8 OLI_TIRS, $K_1 = 774.8853W / (m^{-2} \times sr^{-1} \times \mu m^{-1})$, $K_2 = 1321.0789k$.

2.3 绿地冷岛强度计算

中尺度绿地冷岛强度计算多采用缓冲区, 用缓冲区范围内平均温度与研究地范围内平均温度差值代表冷岛强度值, 计算公式如下^[18]:

$$CII = T_o - T_i \quad (8)$$

其中 T_o 是指距研究区绿地 500m 范围缓冲区内的平均温度, 多以不透水下垫面为参考地, T_i 则是指研究地内平均温

度。本文研究区绿地为中尺度, 因而采用此计算方法, 计算公式为:

$$\Delta T = T_{\text{buffer}} - T_{\text{in}} \quad (9)$$

其中 ΔT 代表冷岛强度, T_{buffer} 代表缓冲区内平均地表温度, T_{in} 代表研究区内平均地表温度。

2.4 数理统计与分析

常见的用于定量研究长时间尺度城市室外环境热效应周期性变化数理统计模型有: 多项式函数、小波变换^[1]、年度温度周期模型 (ATC)^[2] 及其他类型时间序列函数等。文章参照同类型城市绿地热效应定量分析研究, 结合绿地降温机制规律, 最终选择多项式函数作为定量描述冷岛效应年周期变化的模型, 并将研究结果与同类型研究结果对比分析。

2.5 遥感反演结果数据提取与处理

文章采用 Arc GIS 处理得到的遥感反演数据。在高德开放平台获取研究区范围经纬度 POI 数据, 加工成研究区边界点集。在 Arc GIS 数据管理中采用“点集转线^[3]”, 再对获得的边界线进行“要素转面”最终获得研究区公园绿地边界。采用邻域分析, 创建缓冲区^[4], 结合区域分析“以表格显示分区统计^[5]”, 提取研究区与缓冲区内平均地表温度值, 进而获取研究所需数据。

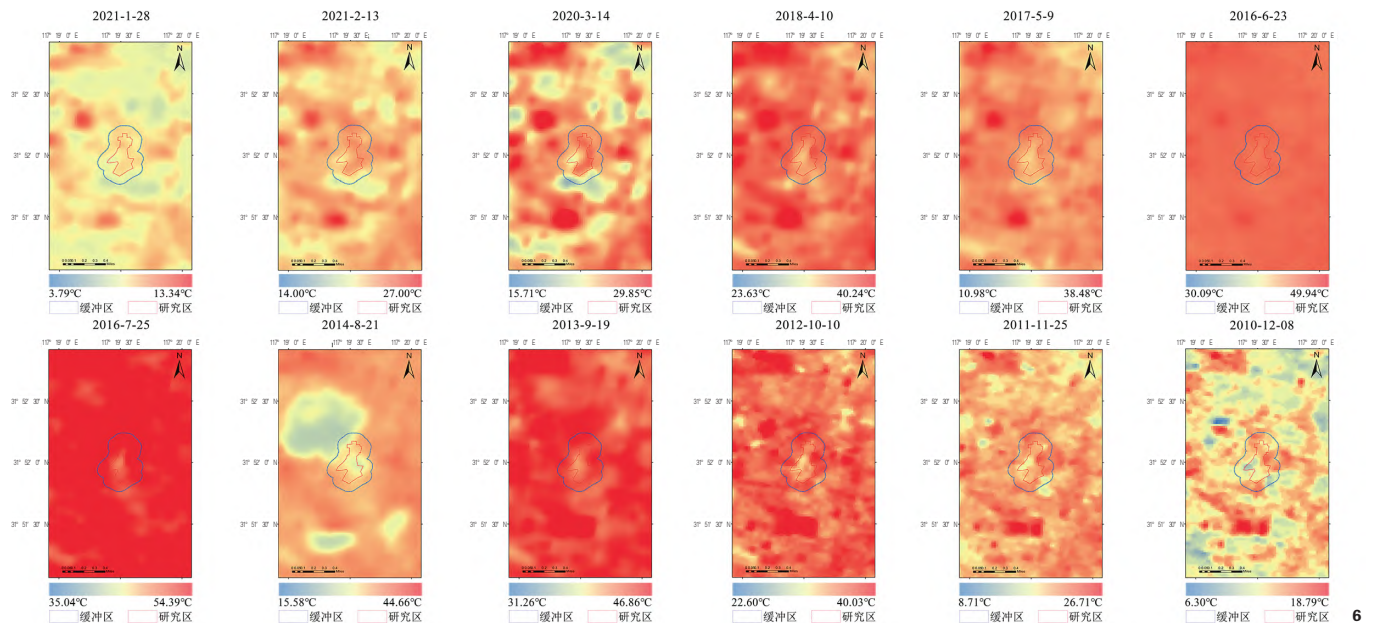
3 结果与讨论

3.1 绿地冷岛效应周期性变化特征

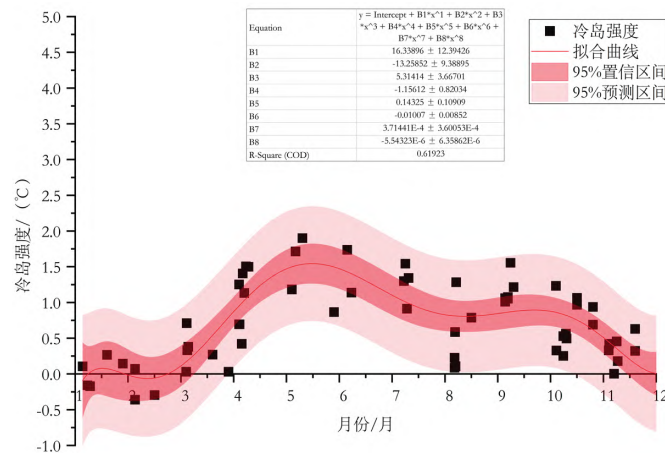
由部分年份四季热岛强度对比分布情况可知 (图 6), 各季节热岛现象均较为显著。其中, 夏季 7 月热岛强度最大, 研究区内最高温度可达 54.39℃, 平均温度明显低于缓冲区, 但冬季 1 月热岛强度最低, 研究区内最低温度可达 3.79℃, 研究区与缓冲区平均温度基本一致, 此时绿地呈现非“冷”岛现象。对于这种变化情况, 相关研究也表明^[19], 冷岛效应夏季为正效应居多, 冬季一般为负效应, 与文章研究结果一致。

由多帧影像计算获得多年份绿地冷岛强度, 将多帧影像结果绘制成散点图 (图 7) 可知 2010 ~ 2021 年绿地冷岛强度累年变化情况, 10 年间绿地冷岛强度年周期变化情况非常明显, 全年绿地冷岛强度变化区间为 -0.5℃ ~ 1.8℃, 整体趋势较为平缓, 曲线“波峰”出现在春末夏初时节, 接近 6 月, 冷岛强度达 1.8℃; 而“波谷”出现在寒冷冬季, 接近为 2 月, 冷岛强度达 -0.5℃, 可见绿地冷岛效应确实呈现“夏冷冬暖, 夏强冬弱”的周期性变化, 部分季节呈现局部热岛现象。

在描述年变化周期基本趋势前提下, 进一步分析时间与冷岛强度间周期性特征。通过对比多种函数模型拟合结果及参考同类型研究^[20, 21]后, 结果得知冷岛强度与时间较有相关性, R 方为 0.62, 并且可近似拟合成 8 阶多项式函数, 证实绿地冷



6



7

图6 2010 ~ 2021 年部分研究区与缓冲区 600m 范围四季地表温度情况
图7 2010 ~ 2021 年时间与逐月绿地冷岛强度变化关系

岛强度有周期性变化特征。与此同时,已有大量研究采用同类多项式函数模型归纳时间与热岛强度的关系,江学顶^[20]等用多项式拟合热岛强度在不同时间尺度上变化,杨沈斌^[21]等学者曾在2010年用多项式拟合城市热岛强度季节性变化曲线。以上研究结果与本文研究采用函数模型一致,多项式函数的极值到达一定范围之后不再增加,或保持稳定,或会降低,较符合绿地降温机制,是较为理想的解释模型,研究结果具有较强说服力。

为深入探究绿地冷岛强度年周期变化,文章对比冷岛强度在年与月时间尺度上平均差变化情况,通过对比绿地冷岛强度在不同时间尺度上平均差值增减快慢情况深入分析绿地冷岛强度

周期性变化规律。各季节绿地冷岛强度平均温度变化趋势(图8)表明,各季节绿地冷岛效应均有明显周期性变化,且不同季节冷岛强度变化具体表现为夏季>秋季>春季>冬季,其中夏季6~7月冷岛强度最大,秋季9月与春季4月次之,冬季最弱,2月呈现略微“增温”效应。同时,不同季节冷岛强度月平均温度差值变化(图8)也表明绿地冷岛强度有较显著周期性变化,差异大小依次是夏季>春季>秋季>冬季,夏季6~7月冷岛强度最大,春季4月与秋季9月次之,冬季呈现热岛效应。该结果与Chang^[6]、Sun^[19]、张俊艳^[22]等学者研究结论也较一致,均表现为夏季降温效果最为明显,冬季呈现微弱“增温”效应。

3.2 绿地冷岛效应的“增温”现象

文章通过研究还发现绿地在部分季节呈现“增温”现象,其中图9红色部分为绿地呈现“增温”效应的季节,原因主要在于:

其一,与植被覆盖度和叶面积指数相关。研究区内夏季落叶大乔木居多,代表树种有法梧(*Platanus acerifolia*)、水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)与三角枫(*Acer buergerianum* Miq.)等,数量高达973余株,产生极强光合作用与蒸散作用,致使夏季冷岛强度达到峰值1.8℃。而冬季研究地内虽有桂花(*Osmanthus fragrans* (Thunb.) Loureiro)、女贞(*Ligustrum lucidum* Ait.)与椴木石楠(*Photinia bodinieri* L é vl.)等常绿树种,数量较多,但冬季绿地仍然发挥“增温”作用,原因在于此时研究地内植被覆盖度达到全年最低,落叶植物叶面积指数几乎为零,此时植被覆盖减少造成归一化植被指数降低,大量低反射率不透水表面暴露,吸收较多太阳辐射,在场地聚集较多热量^[6, 20],导致冬季绿地反而“增

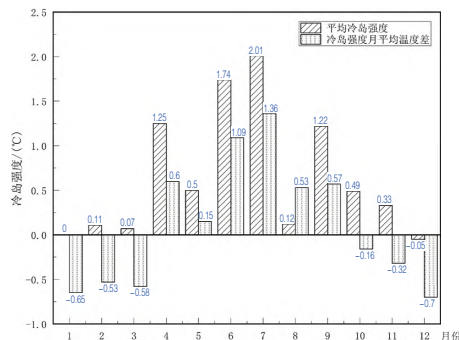


图8 2010~2021年各季节绿地冷岛强度平均温度变化与月平均温度差变化

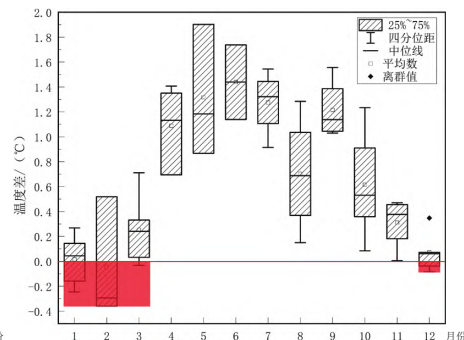


图9 绿地“增温”效应

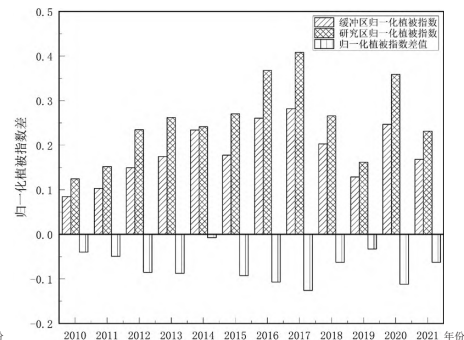


图10 2010~2021年研究区与缓冲区归一化植被指数变化



图11 合肥市瑶海区花冲公园谷歌卫星航片

温”。同时，既往研究也表明冬季植被覆盖度与冷岛强度具有正相关性^[20]，叶面积指数与地表温度存在负相关性^[23, 24]，也是解释绿地部分季节呈现“增温”效应的理由。

其二，伴随周围环境下垫面土地类型的变化，2010~2021年归一化植被指数呈现“先增后减”的变化趋势（图10），也可解释绿地为何出现局部“增温”效应。由于受到绿地冷岛强度年际变化影响，该绿地在夏季虽能发挥较强降温作用，但因周围建成环境下垫面类型发生变化（图11），该绿地在年周期上呈现“热岛”效应，因而两者变化趋势有所差异。

其三，由卫星航片对比（图11，红色虚线框表示植被覆盖发生变化的区域）分析可知，该地块处于城市发展相对稳定的区域，且近年来该范围未曾有过大规模城市建设活动，由于周围绿化率提升，导致冷岛强度绝对差值相应不再显著；另外，周围环境热岛效应加剧，这也是导致绿地呈现“增温”效应的潜在原因^[23, 24]。

虽然既往针对绿地降温效应研究颇多，但从长时间尺度来看，绿地并非全年呈现降温作用，部分季节会出现“增温”作用，这对绿地冷岛效应周期性变化影响较大。Chang^[6]等研究人员早在2007年提出“热岛公园”，并预测植被覆盖与树冠密度是可能的影响因素。学者张俊艳^[22]等则依据城市公园不同季节降温效应进一步将公园分为“四季绿岛”（四季均呈现降温）、“夏秋绿岛”（只有夏季与秋季降温）以及“夏季绿岛”（只有夏季降温）。由此可见，伴随研究深入与发展，学者们对绿地“增温”效应的认知逐渐客观，有学者通过研究证实绿地通过蒸散作用，对周边环境温湿度起到季节性与周期性调节作用，

具有“冬暖夏凉”特征^[25]，与本文探究的绿地具有“增温”作用有异曲同工之处。

综上所述，从纵向年时间尺度来看，2010~2021年绿地冷岛强度整体呈现不断降低的趋势。大量研究已表明城市化进程、土地扩张、下垫面材质改变及其他社会经济因素等均对绿地冷岛强度产生不同程度影响^[26]，但本文绿地呈现局部“增温”效应的原因如下：其一是研究区内冬季植被覆盖减少，其二是周围环境绿化覆盖率提升造成温差减小，与既往研究结论较有区别。从横向到季节时间尺度来看，2010~2021年绿地冷岛强度各季节变化特征呈现“夏冷冬热，夏强冬弱”的趋势。总而言之，绿地冷岛效应在较短时间尺度内，通过合理搭配植物季相与协调下垫面比例和结构，即可充分发挥其周期性变化特征，但从长时间尺度上看，仍难起到较大作用。因此，如何在城市化进程加快的同时从长时间尺度上确保绿地充分发挥冷岛效应，解决城市主动式降温需求，仍是亟需解决的问题。

4 针对绿地冷岛效应年周期变化特征的设计建议

全球变暖背景下，长时间尺度城市热效应年周期变化研究可全面捕捉绿地冷岛效应变化的现象性，从而更加客观全面地概括绿地冷岛效应年周期变化规律，使得研究结果不仅更具科学性，也有可预测性。同时，伴随对城市绿地热效应研究不断深入，长时间尺度年周期研究可探究城市绿地冷岛效应时间尺度变化作用机制及影响因素，从而更加全面深入地认识绿地冷岛效应。基于上述所研究证实的城市绿地冷岛效应呈现“夏冷

冬热, 夏强冬弱”的年周期变化特征, 文章从城市热环境改善、节能减排及城市景观优化三方面分别提出相关设计意见与参考。

4.1 城市热环境改善

城市绿地冷岛效应年周期变化具体表现为绿地冷岛效应的季节性变化。而不同季节绿地冷岛效应对城市热环境改善会起到协同或拮抗作用。因而, 以年或累年为时间单位可较全面研究绿地热效应对城市热环境改善。

在绿地规划布局中, 有季节性变化的植被结构和下垫面类型可极大发挥绿地夏季降温作用。同时, 选择冠幅大和植被覆盖度密集高的植物组团也可极大缓解夏季城市高温。已有研究者指出, 温带气候中落叶植被拥有让周围环境更好地接收太阳辐射和对周围环境进行加热的条件, 落叶树是改善冬季微气候的合适选择, 因而相对于常绿乔木, 夏热冬冷地区更喜用落叶乔木, 这种偏好既可提升夏季热舒适又可改善冬季低温^[27]。

此外, 合理设计缓冲区内绿地布局, 保持良好通风, 提高缓冲区内绿地对冷岛效应的扩散作用, 可充分发挥绿地冷岛效应“夏冷冬暖”的年周期特征。缓冲区内绿地布局方向应尽量与城市主导风向平行。同时, 缓冲区内采用集中式绿地布局方式, 可极大提高绿地冷岛扩散效率。研究表明, 冷岛扩散的缓冲区内采用集中式绿地布局, 其降温效率大于缓冲区内采用分散式绿地布局, 有效提高通风效率。缓冲区周边区域树种选择也应充分考虑季相变化, 最大程度发挥冷岛年周期变化特征, 使城市绿地主动发挥“夏季主动降温, 冬季主动保温”的作用^[28]。

对城市规划布局而言, 城市不同功能分区因使用功能、下垫面材质结构和人为热差异对城市地表温度情况有不同影响, 研究表明, 城市地表温度稳定性受不同城市功能区复杂性和连接性的影响, 因而对城市规划管理而言, 量化不同城市功能区组团中不透水下垫面和植被组团面积的比例, 可为城市规划者和管理者利用微气候创造热舒适适宜和能源低耗的景观设计提供參考^[19]。

合理利用绿地热效应对周围环境产生的影响对场地的季节性设计较有优势。场地使用者因季节性差异而对热舒适度需求不同, 规划设计者可借用绿地夏季降温与冬季“增温”灵活布置活动场所^[22], 对活动场地夏季采取遮阳处理, 冬季发挥绿地“保温”作用。冬季落叶树种叶面积密度几乎为零, 此时公园整体植被覆盖度为全年最低, 较低温度导致植物蒸腾作用与遮阳作用较弱, 而草地与不透水表面吸收大量太阳辐射使得公园具有“保温”效用, 因此草地与不透水表面占比较大的公园可考虑布置使用者行为活动区, 从而提高冬季场地使用者出行活动热舒适性。学者张俊艳曾^[22]提出当冬季园内草地与不透水表面占比之和超过 80% 时公园会成为城市“热岛”中心。规划设计者可参考类似指标对园路铺装类型进行合理初步设计。

4.2 节能减排

从长时间尺度来看, 绿地热效应变化特征符合能量守恒, 地表接收太阳热量的季节性差异导致地表温度起伏, 其必然经历“由冷到热”至“由热到冷”变化过程。由于研究时间尺度进一步拓展, 绿地热效应变化特征更为全面。因而, 绿地冷岛

强度周期性变化的根源在于能量守恒。太阳辐射带来短波辐射的季节性变化进而影响绿地植被降温增湿作用发挥, 这对城市节能减排、空调使用与建筑能耗等方面有极大缓解作用。相关研究证实, 一棵孤植大树可代替以围护结构为主的建筑进行夏季降温增湿与冬季保暖, 大型绿地则对其周围建筑区有降温影响, 从而缓解城市热岛效应产生的压力^[29]。该研究还表明, 绿地和植被可为城市主动降温, 一定程度上可主动缓解城市因空调使用带来的极大能耗^[29]。还有研究指出, 公园内多植高大乔木可增大粗糙度, 从而增加湍流强度, 有利于公园内小尺度对流作用, 具有高大树冠的城市公园白天可进行最大程度降温^[27], 最大可降低 3.5℃^[29]。而对绿地冷岛效应年周期性变化而言, 使得绿地降温作用季节性差异最大化可极大优化绿地主动降温。孤植树、有大树冠的公园绿地, 以及合理比例的“乔+草”植被垂直结构, 都可以增大冷岛效应季节化差异。对绿地自身而言, 多植落叶树种与季相分明的树种, 也使冷岛效应季节化差异更加鲜明。

相关研究还曾提出利用绿地叶面积密度和城市温度呈反比关系以构建回归方程, 规划设计者能够预测城市森林树冠密度变化规律对城市地表温度的影响, 该研究也已证实城市叶面积密度在调节城市热岛方面的作用^[23]。因而对城市规划者而言, 绿地冷岛强度周期性变化及其影响因素变化情况, 对预测将来城市地表温度变化趋势较有作用, 采用多变量数理统计模型可进行有效预测。

4.3 城市景观优化

从植物物候角度来说, 绿地冬季“增温”作用可能会影响植物的生长周期。例如冬季时节对处于绿地冷岛中心的植物而言, 过冷将导致植物提前进入休眠期, 春季物候滞后; 而处于绿地“热岛”中心的植物, 过热将导致植物春季物候提前, 芽期或花期提前等现象^[28]。不同类型植物对温度的敏感程度也不同, 这对城市引种驯化培育树种而言是大有裨益的, 不耐寒的植物可种植于绿地“热岛”中心, 利用绿地冬季“保温”作用使植物温暖过冬。同时, 充分发挥植物物候对热岛效应的感知, 对未来观测全球变暖趋势有预测与预警作用。

对夏热冬冷地区的植物而言, 因夏热冬冷地区气候四季分明, 植物生长发育对环境温度、湿度及太阳辐射等需求较其他气候类型地区更为敏感, 气候变化更容易影响此地区植物开花期与展叶期, 相邻物候期变化时间的快慢可反映植物受城市热岛的影响程度。植物物候期的前置或滞后对城市景观而言可能较有优势, 丰富城市景观季相性变化, 其他气候区各类物种适宜生活的范围进一步扩大, 因而可引入其他地区物种以丰富本地区物种。例如, 安徽地区常见的木兰属和含笑属植物是较早从北方秦皇岛和沈阳一带引入的耐低温植物^[30]。来自热带的加拿利海枣 (*P. canariensis*) 在种源研究与引种技术的支持下成为长江以南园林绿化常用树种^[31]。但对植物生长和生态系统而言, 也存在一定程度不足。气候变化带来温湿度改变进而影响干旱和降水到来的时间, 对种子传播不易的乔木而言, 气候变化影响其物种变迁, 进而造成该地区森林生态多样性降低^[32]。

结论与展望

长时间尺度绿地冷岛效应研究更容易全面概括绿地热效应变化特征的规律性,也具有较高稳定性与可预测性。文章主要研究结论如下:

①夏热冬冷地区城市绿地冷岛效应存在显著年周期变化特征,该变化特征主要表现为“夏冷冬热,夏强冬弱”,各季节冷岛强度大小依次为夏季>秋季>春季>冬季;

②绿地并非四季均呈现降温作用,部分季节会有“增温”作用,并且该作用需被客观对待;

③研究证实了城市绿地冷岛效应存在年周期变化特征,补充了当下研究冷岛效应时间尺度变化特征的不足,既为长时间尺度微气候数值模拟提供可行性依据,又对未来城市绿地设计可提供参考与指导。

但本文仍然存在一定问题与局限:

①文章由于遥感影像数据采集较少,可能导致呈现的周期性变化特征不明显,时间与冷岛强度相关性也仅有 0.62;

②文章也没有对比多种时间函数模型拟合差异,对于规律概括可能不够贴切,未来研究有待进一步提升;

③文章仅选择一个研究样本,未考虑不同形状指数或其他绿地类型公园,未来研究中可考虑不同形状指数与不同绿地类型对公园冷岛效应年周期变化影响;

未来在进行冷岛效应长时间尺度研究时,既可分析绿地冷岛效应年周期变化特征影响因素,力求在规划设计中充分发挥这一特征,也可研究处于冬季绿地“增温”中心的植被生长发育特征,为夏热冬冷地区城市植物物候对未来城市小气候变化乃至全球气候变暖趋势的响应提供早期预警。

图、表来源

图 6: 分类体系使用 GEE,并根据参考文献 [12] 有关内容进行绘制;

图 11: 作者通过谷歌地球截取底图绘制;

其余图、表均由作者自绘。

注释

1) 小波变换 (Morlet Wavelet Transform): 小波变换是描述“时间与频率”关系的函数,多用于信号波段分析,可分析在不同时间尺度下的周期振荡情况,其研究结果相对稳定,同时可进一步分析各时间尺度影响发生周期性变化的各种因素,在长时间尺度大气环境学研究中应用较多。

2) 年度温度周期模型 (Annual Temperature Cycle): 将年地表温度周期性变化关系拟合成正弦函数,为实现城市级宏观空间年时间尺度上地表温度数值连续变化提供一种可行性方法,其优势在于可显示太阳辐射对地表温度周期性变化。

3) 点集转线: 基于点创建研究区边界线。

4) 缓冲区分析: 在输入要素周围某一指定距离内创建缓冲区多边形,采用欧式缓冲区计算笛卡尔表面上两点之间的直线距离或欧氏距离,适合于分析投影坐标系中要素周围的距离,这些距离侧重于相对较小的区域。

5) 以表格显示分区统计: 汇总一个数据集区域内的栅格数据值并以表的形式显示结果,如果区域输入和值输入均为具有相同分辨率的栅格,则可直接使用,如果分辨率不同,则可先应用内部重采样以使其相一致,然后再执行区域操作。

参考文献

- [1] 中国气象局气候变化中心. 中国气候变化蓝皮书 (2021) [M]. 北京: 科学出版社, 2021.
- [2] Climate Change Center of China Meteorological Administration. Blue Book on Climate Change in China[M]. Beijing: Science Press, 2021.
- [3] Zhou Y, Liao W, Li X. The contributions of individual factors to the oasis cold island effect intensity in the Heihe River Basin[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2022, 312: 108706.
- [4] Jéauregui E. Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city[J]. Energy and buildings, 1990, 15(3-4): 457-463.
- [5] Nichol J. Remote sensing of urban heat islands by day and night[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2005, 71(5): 613-621.
- [6] 闫伟姣, 孔繁花, 尹海伟, 等. 紫金山森林公园降温效应影响因素[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3169-3178.
- [7] YAN Weijiao, KONG Fanhua, YIN Haiwei, et al. Analysis of factors contributing to the cooling effects of Purple Mountain Forest Park[J]. Journal of Ecology, 2014, 34(12): 3169-3178.
- [8] 高玉福, 李树华, 朱春阳. 城市带状绿地林型与温湿效益的关系[J]. 中国园林, 2012, 28(1): 94-97.
- [9] GAO Yufu, LI Shuhua, ZHU Chunyang. Effects of the Forest Type of Urban Green Belts on Temperature and Humidity[J]. China Garden, 2012, 28(1): 94-97.
- [10] 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(4): 386-395.
- [11] Hamada S, Ohta T. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas[J]. Urban forestry & urban greening, 2010, 9(1): 15-24.
- [12] Ke Yu, Yunhao Chen, Long Liang, Adu Gong, Jing Li. Quantitative analysis of the interannual variation in the seasonal water cooling island (WCI) effect for urban areas[J]. Science of the Total Environment, 2020, 727 (prepublish): 138750.
- [13] Li H, Zhou Y, Jia G, et al. Quantifying the response of surface urban heat island to urbanization using the annual temperature cycle model[J]. Geoscience Frontiers, 2022, 13(1): 101141.
- [14] 李哲. 中国住宅中人的用能行为与能耗关系的调查与研究 [D]. 北京: 清华大学, 2012.
- [15] LI Zhe. Investigation and Analysis of the Relationship between Residential Energy Use Behavior and Energy Consumption in China[D]. Beijing: Tsinghua University, 2012.
- [16] Yang J, Huang X. 30 m annual land cover and its dynamics in China from 1990 to 2019[J]. Earth System Science Data Discussions, 2021: 1-29.
- [17] 葛荣凤, 张力小, 王京丽, 等. 城市热岛效应的多尺度变化特征及其周期分析——以北京市为例 [J]. 北京师范大学学报 (自然科学版), 2016, 52(2): 210-215.

- GE Rongfeng, ZHANG Lixiao, WANG Jingli, et al. Multi-scale temporal characteristics and periodic analysis of urban heat island effect: A case study of Beijing[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science Edition), 2016, 52(2): 210-215.
- [14] 地理空间数据云 [EB/OL]. <https://www.gscloud.cn/>, 2021-10-24.
- Geospatial Data Cloud [EB/OL]. <https://www.gscloud.cn/>, 2021-10-24.
- [15] 丁凤, 徐涵秋. 基于 Landsat TM 的 3 中地表温度反演算法比较分析 [J]. 福建师范大学学报 (自然科学版), 2008, 24 (1): 92-99.
- DING Feng, XU Hanqiu. Comparison of Three Algorithms for Retrieving Land Surface Temperature from Landsat TM Thermal Infrared Band [J]. Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition), 2008, 24(1): 92-99.
- [16] 林平, 李小梅, 杨贤栋, 等. 基于 LANDSAT 8 城市地温反演精度分析 [J]. 福建师范大学学报 (自然科学版), 2018, 34 (4): 16-24.
- LIN Ping, LI Xiaomei, YANG Xiandong, et al. Accuracy Analysis on the Urban Surface Temperature Evaluation by Use of Landsat 8 Data [J]. Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition), 2018, 34(4): 16-24.
- [17] 李海峰, 李永树, 卢正. 基于 L5/L8 影像成都市热环境特征分析 [J]. 激光与光电子学进展, 2017, 54 (3): 286-294.
- LI Haifeng, LI Yongshu, LU Zheng. Study on Urban Thermal Environment of Chengdu City Based on L5 and L8 Images [J]. Advances in Laser and Optoelectronics, 2017, 54(3): 286-294.
- [18] Kong F, Yin H, Wang C, et al. A satellite image-based analysis of factors contributing to the green-space cool island intensity on a city scale [J]. Urban forestry & urban greening, 2014, 13(4): 846-853.
- [19] Sun R, Lü Y, Chen L, et al. Assessing the stability of annual temperatures for different urban functional zones [J]. Building and Environment, 2013, 65: 90-98.
- [20] 江学顶, 夏北成, 郭冻, 等. 广州城市热岛空间分布及时域-频域多尺度变化特征 [J]. 应用生态学报, 2007, 18 (1): 133-139.
- JIANG Xueding, XIA Beicheng, GUO Luo, et al. Characteristics of multi-scale temporal-spatial distribution of urban heat island in Guangzhou [J]. Journal of Applied Ecology, 2007, 18(1): 133-139.
- [21] 杨沈斌, 赵小艳, 申双和, 等. 基于 Landsat TM/ETM+ 数据的北京城市热岛季节特征研究 [J]. 大气科学学报, 2010, 33 (4): 427-435.
- YANG Shenbin, ZHAO Xiaoyan, SHEN Shuanghe, et al. Characteristics of Urban Heat Island Seasonal Pattern in Beijing Based on Landsat TM/ETM+ Imagery [J]. Journal of Atmospheric Sciences, 2010, 33(4): 427-435.
- [22] 张俊艳, 林高山, 王华静, 等. 城市公园降温效应的季节性差异研究——以石家庄市为例 [J]. 西北林学院学报, 2019, 34 (1): 247-253.
- ZHANG Junyan, LIN Gaoshan, WANG Huajing, et al. Seasonal Differences in the Cooling Effect of Urban Parks: A Case Study of Shijiazhuang [J]. Journal of Northwest Forestry College, 2019, 34(1): 247-253.
- [23] Hardin P J, Jensen R R. The effect of urban leaf area on summertime urban surface kinetic temperatures: a Terre Haute case study [J]. Urban forestry & urban greening, 2007, 6(2): 63-72.
- [24] Vidrih B, Medved S. Multiparametric model of urban park cooling island [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2013, 12(2): 220-229.
- [25] 葛伟强, 周红妹, 杨引明, 等. 基于遥感和 GIS 的城市绿地缓解热岛效应作用研究 [J]. 遥感技术与应用, 2006 (5): 432-435.
- GE Weiqiang, ZHOU Hongmei, YANG Yinming, et al. The Study of City Green Reducing Thermal Island Effect Based on RS and GIS [J]. Remote Sensing Technology and Applications, 2006(5): 432-435.
- [26] Berger C, Rosentreter J, Voltersen M, et al. Spatio-temporal analysis of the relationship between 2D/3D urban site characteristics and land surface temperature [J]. Remote sensing of environment, 2017, 193: 225-243.
- [27] Potchter O, Cohen P, Bitan A. Climatic behavior of various urban parks during hot and humid summer in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel [J]. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 2006, 26(12): 1695-1711.
- [28] 赖小红, 李名扬, 刘聪, 等. 植物物候对重庆主城区热岛效应的响应 [J]. 生态学报, 2019, 39 (19): 7025-7034.
- LAI Xiaohong, LI Mingyang, LIU Cong, et al. The phenological responses of plants to the heat island effect in the main urban area of Chongqing [J]. Journal of Ecology, 2019, 39(19): 7025-7034.
- [29] Taha H, Akbari H, Rosenfeld A. Heat island and oasis effects of vegetative canopies: micro-meteorological field-measurements [J]. Theoretical and Applied Climatology, 1991, 44(2): 123-138.
- [30] 李江伟, 刘雪英, 肖志飏, 等. 木兰科植物引种适应研究及其园林景观评价 [J]. 林业资源管理, 2020 (4): 161-168.
- LI Jiangwei, LIU Xueying, XIAO Zhibiao, et al. A Study on Introduction and Adaptation of Magnoliaceae Plants and its Iandscape Evaluation [J]. Forest Resource Management, 2020(4): 161-168.
- [31] 张雯婷, 杨学军, 唐东芹. 中国植物极限温度分区的探索性研究 [J]. 中国园林, 2011, 27 (4): 63-69.
- ZHANG Wenting, YANG Xuejun, TANG Dongqin. Study on Plant Hardiness and Heat Zones in China [J]. Chinese Garden, 2011, 27(4): 63-69.
- [32] 刘鸣, 张德顺. 近 55 年气候变化对上海园林树种适应性的影响 [J]. 北京林业大学学报, 2018, 40 (9): 107-117.
- LIU Ming, ZHANG Deshun. Adaptability of landscape tree species response to climate change in Shanghai within the past 55 years [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2018, 40(9): 107-117.