

上海城郊绿地冷岛效应与影响因素研究

Study on Cold Island Effect of Urban Green Space and Their Influence Factors

刘 颂^{1*} 邹清华¹ 张 浪²
LIU Song^{1*} ZOU Qinghua¹ ZHANG Lang²

(1. 同济大学建筑与城市规划学院, 上海 200092; 2. 上海市园林科学规划研究院, 上海 200232)
(1. College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai, China, 200092; 2. Shanghai Academy of Landscape Architecture Science and Planning, , Shanghai, China, 200232)

文章编号: 1000-0283(2023)12-0014-08
DOI: 10. 12193 / j. laing. 2023. 12. 0014. 002
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2023-08-08
修回日期: 2023-10-25

摘 要

城市绿地具有降温作用, 可形成低温区域从而降低环境温度, 是缓解城市热岛的有效途径。选取上海市城郊外环和近郊环之间的“双环”区域的30个绿地斑块为研究对象, 通过地表温度反演, 对城郊绿地的冷岛效应从降温幅度和降温距离两个方面进行评价, 并从城郊绿地空间格局特征和外部环境特征两个方面分析了冷岛效应的影响因素。结果表明绿地的选址、布局形态和规模、蓝绿空间耦合、城市开发强度、与夏季主导风向的关系是影响城郊绿地冷岛效应的主要因素。提升上海城郊绿地的冷岛效应应权衡降温距离或降温幅度的需求, 进而控制适宜的绿地空间特征, 加强蓝绿空间的组合配置, 使绿地主轴方向尽量平行于夏季主导风向。

关键词

冷岛效应; 城郊绿地; 影响因素; 格局优化; 上海市

Abstract

Urban green space has a cooling effect and can form a low-temperature area to reduce the ambient temperature, which is an effective way to alleviate urban heat island islands. This study selected 30 green patches in the suburban area of Shanghai as the research objects. Through surface temperature inversion, the cold island effect of the suburban greenbelt was evaluated from two aspects which are cooling amplitude and cooling distance, and the influencing factors of the cold island effect were analyzed from two aspects of spatial pattern characteristics and external environment characteristics of the suburban greenbelt. It is concluded that the location, layout, and scale of green space, the coupling of blue and green space, the intensity of urban development, and the relationship with the dominant summer wind direction are the main factors affecting the cold island effect of suburban green space. To improve the cold island effect of suburban green space in Shanghai, we should weigh the demand of cooling distance or cooling amplitude, then control the appropriate green space characteristics, strengthen the combination of blue and green space, and make the main axis of green space parallel to the dominant summer wind direction as far as possible.

Keywords

cold island effect; suburban green space; influence factors; pattern optimization; Shanghai

刘 颂

1968年生/女/山东曲阜人/博士/教授、博士生导师/高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室数字景观模拟分实验室负责人, 上海城市困难立地绿化工程技术研究中心副主任/研究方向为城乡绿地系统规划、景观规划技术方法

邹清华

1998年生/女/辽宁抚顺人/在读硕士研究生/研究方向为风景园林工程技术、气候适应性规划设计

张 浪

1964年生/男/安徽合肥人/博士/教授级高工(二级)、博士生导师/上海领军人才、享受国务院特殊津贴专家/上海市园林科学规划研究院院长, 上海城市困难立地绿化工程技术研究中心主任, 城市困难立地生态园林国家林草局重点实验室主任/研究方向为生态园林规划设计与技术研究/本刊主编

城市绿地可降低局地温度, 产生“冷岛效应”, 即绿地内部温度低于周围环境温度的现象。而位于城郊的绿地除自身的降温效益外, 也对缓解中心城区的热岛效应发挥作

用。因此, 如何评估并提高城市绿地的冷岛效应一直是研究热点之一^[1-2], 加强城郊绿地冷岛效应的影响因素研究, 对合理规划中心城区周边绿地的布局, 提升冷岛辐射能力,

基金项目:

国家自然科学基金“基于生态系统服务权衡与协同的市级生态空间多目标优化研究”(编号: 52178050); 上海同济城市规划设计研究院有限公司、长三角城市群智能规划协同创新中心科研课题“基于多效益协同最优的绿色基础设施格局优化研究”(编号: KY-2022-YB-A05)

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: liusong5@tongji.edu.cn

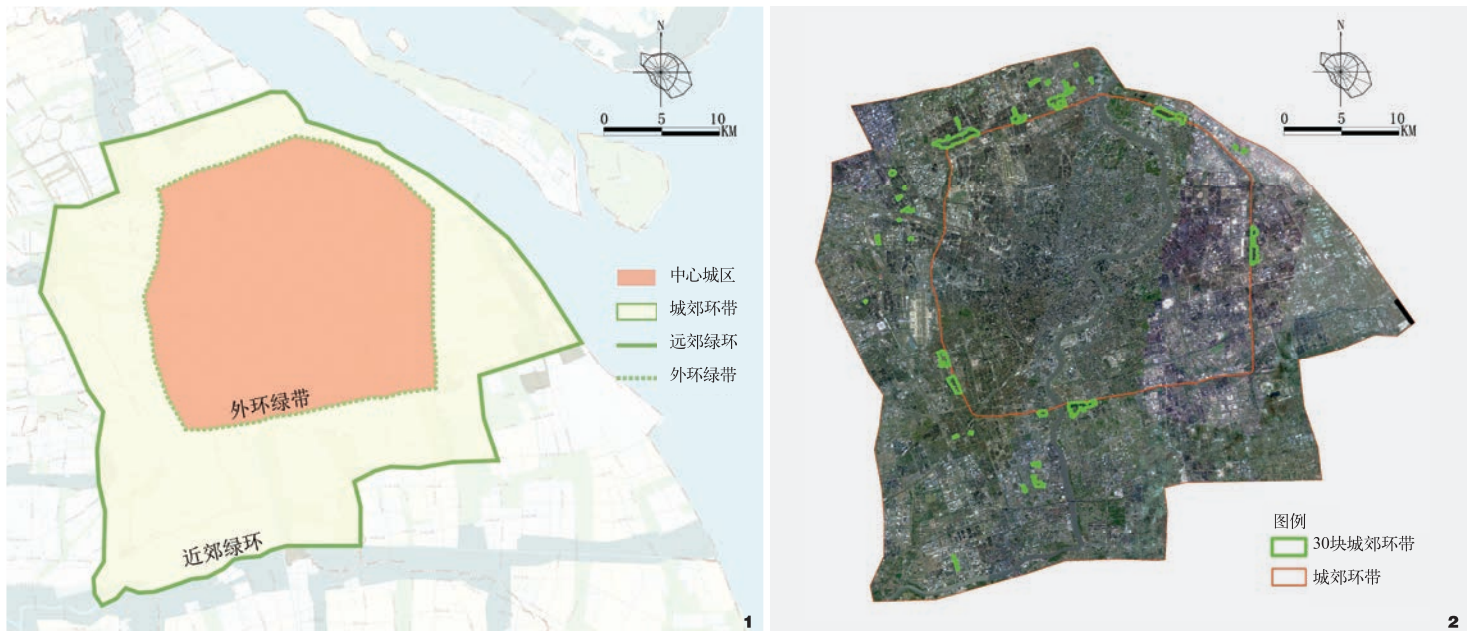


图1 研究区域范围示意图
Fig. 1 Study area schematic diagram

图2 30块绿地样本的空间分布
Fig. 2 Spatial distribution of 30 green space samples

降低区域温度具有重要意义。

《上海市生态空间专项规划(2018-2035)》^[3]提出构建“双环、九廊、十区”层次多样、功能复合的生态网络。其中“双环”指外环绿带和近郊绿环,分别定位为环城生态公园带和生态间隔带,可见双环区域具有重要的生态功能与战略地位。“双环”之间的区域位于中心城区外围,其中绿地的冷岛作用将会对中心城区产生影响。

在绿地冷岛效应研究中,虽然计算方法不一,降温距离和降温幅度作为冷岛评价指标已经得到广泛应用^[4]。近年来,越来越多的学者开始关注影响绿地冷岛效应的因素^[5],如Li等^[6]发现地表温度(LST)与土地覆盖结构(如斑块密度和聚集度)显著相关,刘任棋等^[7]认为城市化进程对城市热环境的影响加剧,杜红玉^[8]研究了城市景观格局对绿地降温效应的影响。但目前大多数研究关注中

心城区公园绿地的冷岛效应,关于城郊绿地的冷岛效应及其影响因素的研究还比较少。因此,本研究以位于上海市“双环”区域(图1)的城郊绿地为研究对象,通过建立绿地冷岛效应的评价方法和影响因素指标体系,分析评估夏季上海城郊绿地冷岛效应及其影响因素,为科学布局城郊绿地、提升其生态效益提供依据。

1 研究方法

1.1 城郊绿地提取与缓冲区的建立

本研究使用高分1号遥感影像,识别并选取“双环”区域内2020年前已建成的城郊绿地地块共30个(图2),面积为2~240 hm²不等,平均面积为44.56 hm²。

为准确分析绿地产生的冷岛效应及对临近区域的影响,采用缓冲区法研究绿地周边环境的温度变化。根据相关研究,上海市

绿地产生冷岛效应对周边温度的影响距离约500 m^[9]。为保证选取的缓冲区距离足以覆盖绿地冷岛效应的最大影响范围,本研究以每块绿地边界向外600 m范围内,以30 m为间隔生成的20个环形缓冲区作为研究数据的获取范围,且各样本绿地的缓冲区范围均不重叠。

1.2 地表温度反演

上海夏季大气中具有较高的水蒸气,根据所处地域气候、季节特征和计算精度等实际情况,本研究采用大气校正方法反演地表温度。由于上海夏季为6月-9月初,本研究对2020年6月1日-8月31日的Landsat8遥感影像热红外波段中值合成后进行地表温度反演。首先在Arcgis10.2完成坐标校正,使用ENVI5.3进行数据预处理,经大气校正、辐射定标、图像剪裁拼接等,为方便研究将分辨率统一

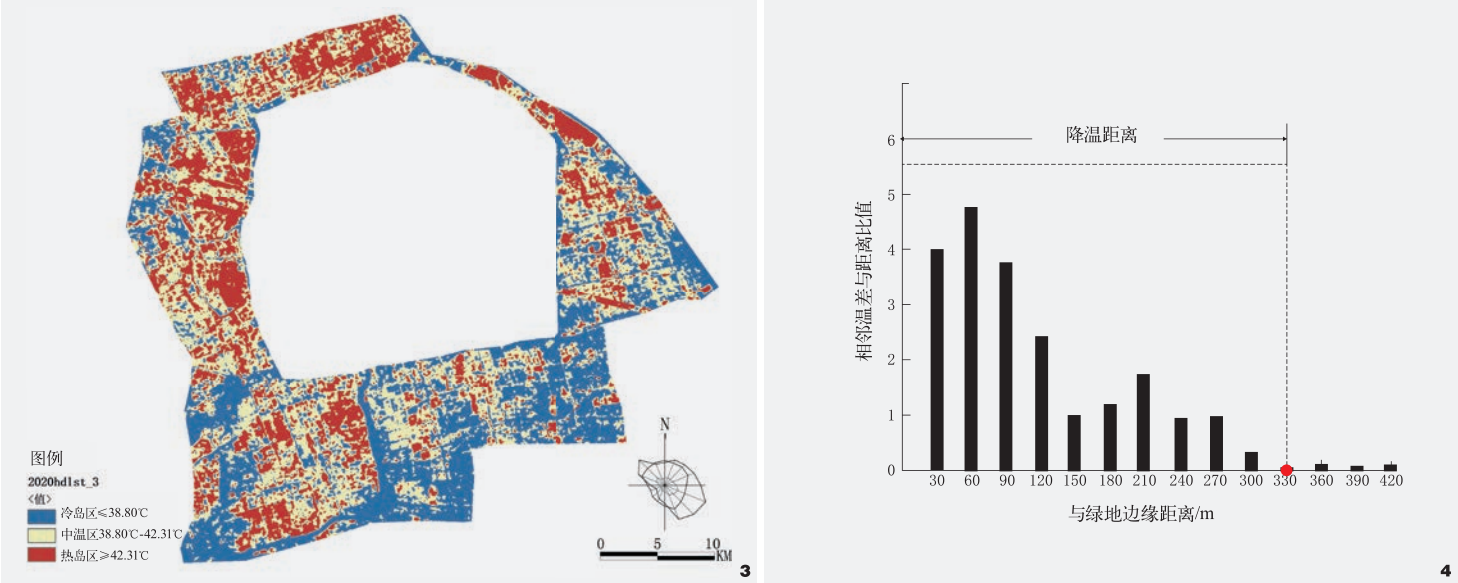


图3 2020年上海市城郊环带地表温度等级图
Fig. 3 Grade map of surface temperature in suburban ring belt of Shanghai in 2020

图4 斜率法测度降温距离示意图
Fig. 4 Grade map of surface temperature

为30 m。其次通过查询网站 (<http://atmcorr.gsfc.nasa.gov>) 获得大气向上和向下辐射亮度与大气在热红外波段中透过率等参数, 计算得到辐射热量进一步转化为辐射亮温, 借助地表比辐射率修正辐射亮温转化为地表温度。反演地表温度结果如图3所示, 图中采用均值—标准差法^[10]划分了冷热岛区。

1.3 城郊绿地冷岛效应评价方法

本研究选取降温幅度、降温距离两个指标, 综合评估城郊绿地冷岛效应^[4]。

(1) 绿地降温幅度 (*GCR*)。 *GCR*为绿地与研究区域平均地表温度差值, 体现绿地自身的降温能力, 计算见公式 (1)。其中: $\bar{T}$ 为研究区域平均地表温度 (°C), $\bar{T}_i$ 为第*i*块绿地上平均地表温度 (°C)。

$$GCR = \bar{T} - \bar{T}_i \quad (1)$$

(2) 绿地降温距离 (*GCD*)。本研究采用斜率法^[11]计算降温距离, 绘制距离—斜率图

分析变化图。绿地降温距离为斜率达到最低点或此后趋于稳定的点对应的位置到绿地边缘距离 (图4)。

1.4 冷岛效应影响因素的选择

国内外研究绿地冷岛效应的关键影响因素主要包含两方面: 绿地本体空间特征、区

域环境因素^[12]。其中, 绿地本体空间特征主要从绿地形态和景观格局特征^[13]进行量化分析, 通过GIS提取每块城郊绿地内部与外部缓冲区范围内的土地利用, 从绿地面积 (*Area*)、周长面积比、绿地类型的斑块密度、形态、聚合度指数 (*AI*) 等, 采用Fragstats4.2定量描述城郊绿地的景观格局特征 (表1)。

表1 冷岛效应影响因素
Tab. 1 Influencing factors of cold island effect

冷岛效应影响因素 Influencing factors of cold island effect	指标分类 Index classification	指标名称 Index name	英文名称 English name
绿地空间特征	绿地形态特征	面积	Area
		周长面积比	PARA
	土地覆盖特征	斑块密度	PD
		绿地形状指数	LSI
		聚合度指数	AI
		多样性	SHDI
	自然环境要素	研究区主导风向与绿地长轴方向差值	WD _{G-W}
区域环境因素	人为活动影响	区域灯光总量指数	TNLI
		建筑密度	BD
		建筑高度	BH
		路网密度	RD

结合城郊特征, 将区域环境因素细分为以区域主导风向为主的自然环境影响因素和城市建设等人为活动影响指标。研究表明, 城市风环境与各时期主导风向是影响绿地冷岛扩散效果的重要自然环境因素。在城市风场的作用下, 绿地产生的冷气沿着风流动的轨迹对环境产生辐射。由于夏季热岛效应显著, 因此本文所指的主导风向均为夏季主导风向。本研究将绿地长轴方向与主导风向的夹角作为中介指标引入指标体系。通过ArcGIS 10.2的标准差椭圆获得城郊绿地的方向, 计算研究区夏季主导风向和绿地的方向角度差值, 计算其与冷岛效应的相关性。

为统一计量标准保证结果可靠性, 对上海夏季主导风向角度与绿地方向选取一致的坐标轴, 即正北方向为 0° , 主导风向指向与正北向间的夹角为主导风向角。由于上海夏季主导风向为东南风, 根据研究区域风玫瑰可知上海夏季主导风向角为 112.5° , 计算绿地方向和主导风向角的差值见公式(2)。其中: WD_{G-W} 为夏季主导风向和绿地的方向角度差值($^\circ$), 取值在 $[0, 112.5]$; $\angle\theta_P$ 为研究区域的主导风向, 在本研究中为 112.5° ; $\angle\theta_G$ 为绿地的方向角。

$$WD_{G-W} = |\angle\theta_P - \angle\theta_G| \quad (2)$$

在人为活动的影响因素中, 研究选择区域灯光总量指数(TNLI)^[14-15]表征人口活动强度, 反映区域的发展程度, 人为活动影响指标选取建筑高度、建筑密度、路网密度表征区域建设空间格局, 反映城郊绿地周边环境的建设强度^[16]。

本研究通过美国国家海洋大气管理局NOAA下属的NCEI国家环境信息中心Earth Observation Group (<https://payneinstitute.mines.edu/eog/>)获取2020年NPP/VIIRS夜间灯光数据。由于每天的云层等环境要素影响存在差异, 为减

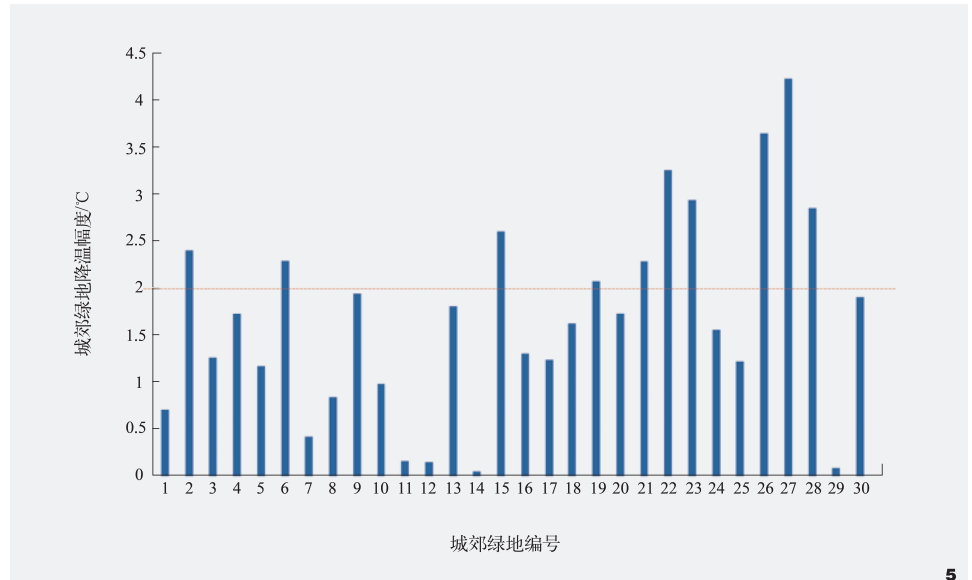


图5 城郊绿地降温幅度
Fig. 5 Suburban green areas' cooling amplitude

小误差, 研究同样将2020年夏季(6月1日-8月31日)夜间灯光数据进行中值合成, 通过Arcgis10.2重采样、裁剪等得到2020年夏季城郊环带夜间灯光数据。

区域灯光总量指数(TNLI) 计算见公式(3)。其中: DN_i 表示每个像元的夜间灯光数值; n 表示区域总像元数。

$$TNLI = \sum_{i=1}^n DN_i \quad (3)$$

路网密度(RD) 以各缓冲区范围内的道路为统计对象, 超出缓冲区边界的道路不在计算范围之内, 具体见公式(4)。其中: W 为宽度为3.5 m或以上的道路的累计长度(km), S 为评估单位的总面积(km^2)。

$$RD = \frac{W}{S} \quad (4)$$

建筑密度(BD) 为缓冲区范围内建筑面积与缓冲区面积的比值, 计算公式见公式(5)。其中: S_{build} 为缓冲区范围建筑面积, S_{buffer} 为各绿地600 m缓冲区的总面积(m^2)。

$$BD = \frac{S_{build}}{S_{buffer}} \quad (5)$$

平均建筑高度(BH) 为600 m缓冲区内各建筑高度与占地面积乘积之和与所有建筑占地面积的比值, 计算方法见公式(6)。其中: H_i 为缓冲区范围内第建筑的高度(m), S_i 为第建筑的占地面积(m^2)^[17]。

$$BH = \frac{\sum_{i=1}^n H_i \times S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (6)$$

城郊绿地冷岛效应影响因素使用SPSS26.0进行统计分析, 采用Pearson相关系数分析影响因素与冷岛效应指标之间的相关性, 多元回归分析用于进一步探究绿地冷岛效应两个指标与影响因素的定量关系。

2 结果与分析

2.1 城郊绿地冷岛效应评价

2.1.1 城郊绿地降温幅度

2020年上海城郊样本绿地平均降温幅度为 1.69°C , 降温幅度范围为 $0.05 \sim 4.25^\circ\text{C}$ 。城郊绿地的降温幅度整体相对较低, 降温幅度在 2°C 以上的绿地仅占绿地样本的30%

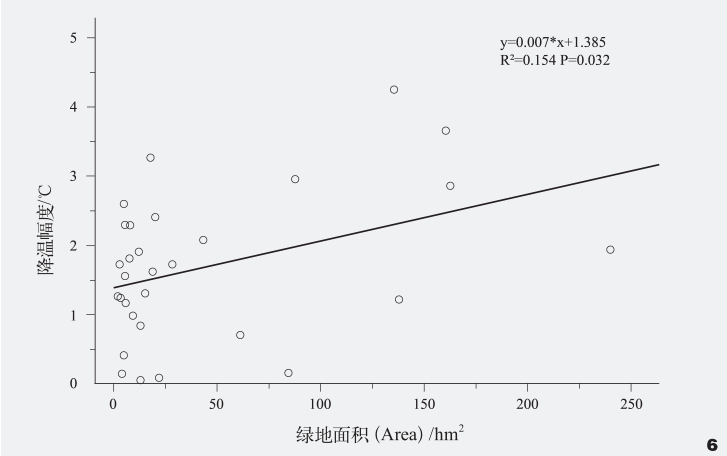


图6 城郊绿地面积与降温幅度拟合曲线
Fig. 6 The fitting curve of suburban green area and cooling amplitude

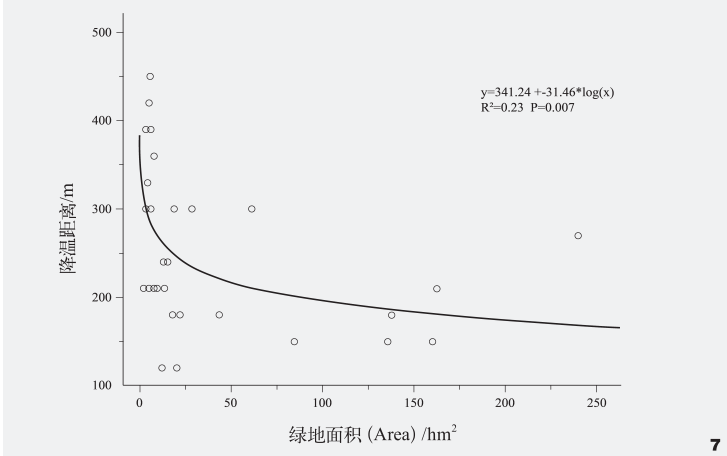


图7 城郊绿地面积与降温距离的拟合曲线
Fig. 7 The fitting curve of the suburban green space area and cooling distance

(图5)。降温幅度高的区域与研究区内冷岛集中区具有较高一致性，主要分布在城郊环带的东南部和南部，但在西北聚集热岛区域也存在部分高降温幅度的绿地，可能因为西北部的绿地周边均有较高的建筑群，形成较大的阴影区。紧邻外环绿带，靠近中心城区的城郊绿地降温幅度较高，均超过样本绿地的平均降温幅度，可见位于或邻近热岛区域和位于夏季主导风向上的绿地降温幅度较强。

2.1.2 城郊绿地降温距离

2020年上海城郊样本绿地平均降温距离为202.5 m，降温距离的范围为120 ~ 420 m。与前人研究^[17]的结论类似，城郊绿地的降温距离有限。降温距离较高的城郊绿地分布较离散，均位于外环绿带外超过600 m的区域。临近外环绿带的城郊绿地降温距离多在150 ~ 240 m，表明绿地冷岛效应对环境的辐射范围受到周边的影响显著，临近中心城区的城郊绿地虽降温幅度较高，但降温距离受到中心城区高温热岛的作用，抑制绿地冷岛

效应向外扩散能力，影响绿地冷岛的影响范围。部分绿地呈现出内部温度低，但降温距离较短的情况，表明内部较低地表温度的绿地并不一定有较长的降温距离，当周边建设用地占比较大且高层建筑密集，建成区产生热量大且散热速度慢，地表温度高，绿地产生的降温效益难以向周围扩散。

2.2 城郊绿地冷岛效应的影响因素分析

2.2.1 绿地自身特征对冷岛效应的影响

(1) 绿地面积。通过相关性分析表明，城郊绿地面积与降温幅度正相关，大型绿地降温幅度更强(图6)，绿地自身降温能力随绿地面积增加而提升，因此，城郊环带建设大型绿地更可显著降低区域温度。

但城郊绿地面积与降温距离呈负相关(图7)，绿地面积越大，降温距离越短。可能是由于大型绿地与外界接触面积大且热量交换频繁，因此绿地产生的冷岛可显著缓解绿地外较近范围内热岛，具有明显环境降低温度的作用，但大面积绿地辐射的环境面积更广，大型绿地周边的降温效益比小规模绿

地消耗更为迅速，故大型绿地的降温效益难以传递到更远的区域。图中显示，当绿地面积达到175 hm²时，降温距离下降幅度趋缓，外界的降温范围变化达到下限170.69 m，绿地降温效果与热环境对冷岛的供需达到较为平衡的状态，超出175 hm²，绿地产生冷岛会低于热环境的消耗，影响的范围较近。

(2) 绿地形态。城郊绿地形态(周长面积比，PARA)与降温幅度显著负相关，绿地形状越复杂，降温幅度越低。进一步由城郊绿地内部平均地表温度与绿地形态的拟合曲线(图8)可知， $PARA \leq 1$ 时，绿地内部温度随其增加而明显上升；当 $PARA > 1$ 时，绿地内部温度变化趋势趋于平缓。因此建设城郊绿地时应尽量采用简单形状的绿地，且城郊绿地形状复杂度控制在 $PARA \leq 1$ 时，更有利于降低绿地内部温度。当绿地形态趋于复杂时，与环境的接触边界越长，接触面积越大，绿地内外热交换程度加剧，绿地内部温度上升，降温幅度减弱。

PARA与降温距离呈现非线性关系(图9)。整体上绿地形状复杂对降温距离存在正向

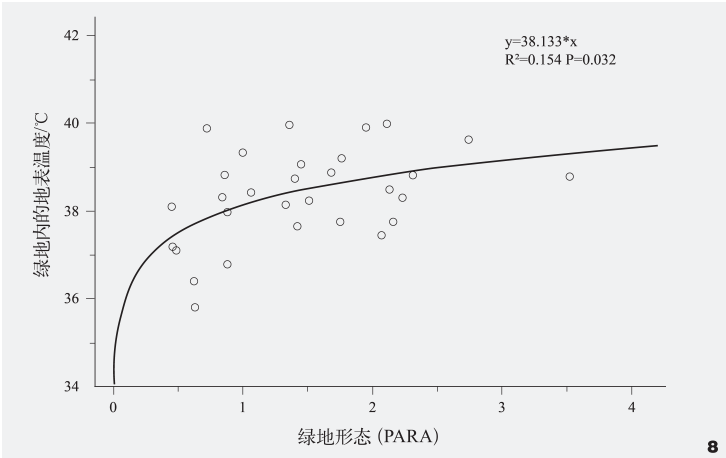


图8 城郊绿地形态与降温幅度的拟合曲线
Fig. 8 Fitting curve of suburban green space pattern and cooling amplitude

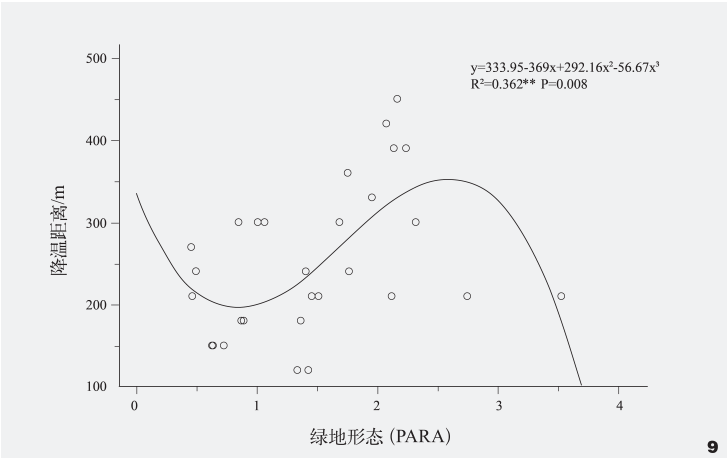


图9 城郊绿地形态与降温距离的拟合曲线
Fig. 9 Fitting curve of suburban green space pattern and cooling distance

影响，但降温距离与PARA的关系较为复杂。绿地的PARA在0 ~ 0.81时，降温距离随绿地PARA的增加而缩短。在此范围内能量交换程度有限，降温距离呈现减少的趋势。PARA达到0.81时降温距离缩减到极小值196.62 m。当PARA位于0.81 ~ 2.67范围内，绿地形态复杂度对降温距离起到促进作用，可扩大冷岛效应的影响范围。而PARA达到2.67时降温距离增加到极大值352.79 m，此后增加绿地周长面积比，降温距离显著下降。因此，基于环境降温效益的绿地设计需考虑城郊绿地形态对降温距离的复杂影响，选择合适的绿地形

态以充分发挥绿地降温能力。

(3) 绿地类型。城郊绿地中林地是明显的降温斑块，显现出较好的降温效果，能够有效降低绿地内部温度并影响冷岛方向的形成。同时，降温幅度与林地斑块密度负相关，与总边缘长度正相关，表明当林地斑块布局分散、斑块破碎化程度越大时，增加与环境的热交换，使得凉爽的气候传递到周边空间，能够有效提升降温幅度。由绿地内林地斑块密度与降温幅度拟合曲线（图10）可知，斑块密度大于60个/hm²后，降温幅度下降程度趋缓。斑块密度小于60个/hm²时，林地斑

块分散时降温幅度更大。

另外，水体的面积与斑块数量与绿地降温幅度正相关，促使绿地内外温度差上升，对降温幅度有促进作用。而林地斑块形态与降温距离呈负相关，斑块形态越复杂，降温距离越短，绿地能影响的最大降温范围越小。绿地内斑块形态复杂加大了热量传递和消耗，有助于降低绿地内部温度，但减少了向外界扩散的面积。表明绿地内景观斑块的形态特征对降温距离和降温幅度的影响存在权衡^[10]。同时，当绿地内部景观破碎化程度越低，降温距离越大。

表2 区域环境因素与城郊绿地降温幅度相关性
Tab. 2 Correlation between regional background factors and suburban green space's cooling amplitude

冷岛效应影响因素 Influencing factors of cold island effect	指标分类 Index classification	指标名称 Index name	与降温距离相关性 Correlation with cooling distance	与降温幅度相关性 Correlation with cooling amplitude
区域环境因素	自然环境要素	研究区主导风向与绿地方向差值	-0.21	-0.13
		区域灯光总量指数	-0.39*	0.29
	人为活动影响	建筑密度	0.33	-0.19
		建筑高度	0.05	-0.13
		路网密度	0.36*	-0.06

注：*表示p<0.05，**表示p<0.01。

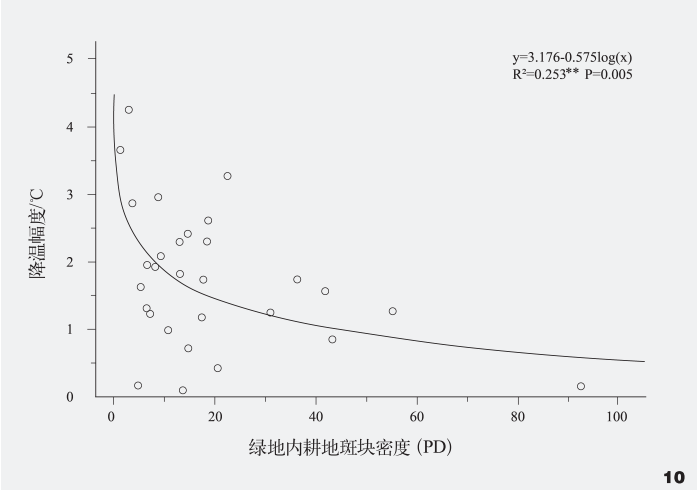


图10 城郊绿地内林地斑块密度与降温幅度的拟合曲线
Fig. 10 The fitting curve of forest patch density and cooling amplitude

2.2.2 区域环境因素对冷岛效应的影响

(1) 城市风场有助于传递绿地冷岛效应。研究区主导风向与绿地方向夹角对降温幅度和降温距离存在负向影响(表2)。即绿地长轴方向与主导风向夹角越小可明显提高降温距离和降温幅度。这表明当绿地的方向更接近主导风向时,城市风场对绿地产生的局部低温具有更强的传递能力,降温范围随着气流的扩散辐射到更远的区域。因此绿地

主轴方向沿城市主导风向布局将有助于冷岛效应辐射距离。

(2) 人类活动干扰低温扩散,建筑遮阴有助于提升降温距离。人为活动影响对降温距离的影响较为显著,降温距离与区域灯光总量呈负相关,反映人口、经济活动的空间分布和活跃度会减小绿地的降温距离。但降温距离与建筑密度、高度正相关,且与路网密度呈显著正相关。反而由于建筑投射下的

阴影同样可以有效降低区域温度,扩大低温区域。因此适当的建设用地布局可增加降温距离,对绿地冷岛效应的扩散有促进作用。由降温距离与建筑密度、路网密度拟合曲线(图11)可知,建筑密度对降温距离的影响存在阈值,当绿地缓冲区范围内建筑密度小于0.125 km/km²,降温距离显著增加达到2471 m;路网密度与降温距离始终呈现同向增长的趋势,表明目前绿地缓冲区内的路网密度未达到对降温距离的影响上限,与城郊绿地位于郊区,路网建设密度较低有关。在开展城郊绿地规划时,在绿地周边约600 m范围内适当配置建筑密度为0.125 km/km²的建设用地,或适当增加路网建设可显著扩大降温范围。但是,降温幅度与建筑密度、高度和路网密度负相关,说明了人类活动对绿地的降温幅度有抑制作用。

3 基于降温效益的城郊用地规划和绿地布局优化策略

3.1 权衡降温需求的绿地空间特征分异策略

本研究中,从绿地及其环境的影响作用来看,城郊绿地的降温幅度与降温距离存在

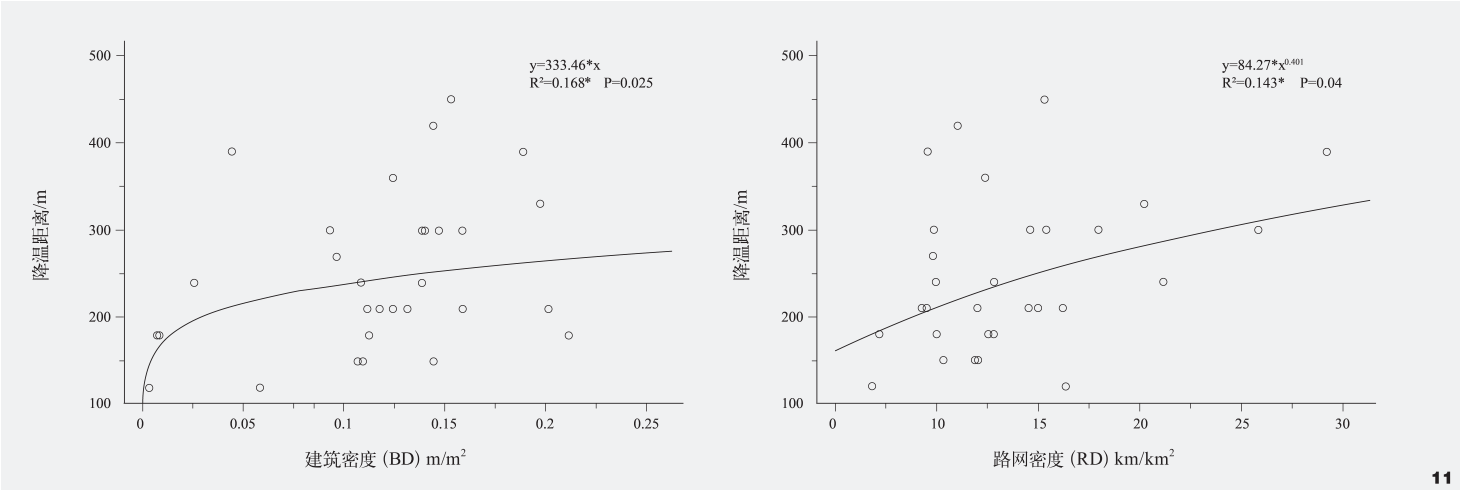


图11 城郊绿地降温距离与建筑密度、路网密度拟合曲线
Fig. 11 The fitting curve of cooling distance of suburban green space and building density or road network density

一定的权衡关系，提高城郊绿地的冷岛效应需要根据降温需求，提出适宜对策。

当待建绿地所在区域或临近区域存在较显著的热岛效应，需要显著降低温度时，则以提高降温幅度为主要目标。可通过增加绿地规模，简化绿地形态和提升内部景观斑块的异质性来提升绿地自身的降温能力。通过增大绿地内部林地斑块面积并分散配置林地斑块来提升降温幅度，减少绿地内不透水面比例或增加建设用地形态复杂程度促进热量逸散降低自身温度。绿地外围宜布局密度低而分散的高层建筑为主。

当绿地距离中心城区超过200 m时，环境对绿地降温效益辐射的需求更强，需要传输郊区凉爽的空气缓解中心城区的热岛效应，以提高降温距离成为主要目标。如前所述，绿地规模不是越大降温距离越大，一般控制在175 hm²以下，适当增加绿地形态复杂程度，周长面积比为0.8 ~ 2.7，有助于实现冷岛影响区域更远的降温目标。

3.2 增加蓝绿空间景观组合配置

研究表明，绿地中水体、林地的降温效益相对明显，水体和林地是城郊环带重要的“冷岛源”。可见蓝绿空间镶嵌的景观格局对热环境的影响具有叠加作用，这在其他学者的研究中已经得到证实^[7]。上海郊区水网密布，城郊土地覆盖呈现出农林湿居混合的景观特征，因此在城郊环带规划建设中，注重蓝绿空间的耦合，充分利用原有的蓝色空间形成蓝绿空间镶嵌布局，增强整体冷岛效应影响效果，高效实现区域降温目标。

3.3 控制绿地的布局和形态

平行于或接近区域的夏季主导风向时，有助于定向增强冷岛，降低地表温度。因此

在选址建设城郊绿地时，绿地形态应有一定的主轴方向，并且该方向应平行于上海的夏季主导方向。空间布局以中心城区的东南、南部为重点区域。

4 结论

本研究选取上海市城郊“双环”区域的30个绿地斑块为研究对象，通过地表温度反演，对城郊绿地的冷岛效应从降温幅度和降温距离两个方面进行了评价，并从城郊绿地空间格局特征和外部环境特征两个方面分析了冷岛效应的影响因素，为改善上海市城郊绿地的冷岛效应和科学布局提供了依据。

研究发现城郊绿地冷岛效应指标相互影响，即降温距离与降温幅度存在权衡。提升降温效应途径包括绿地的选址、布局形态、规模，蓝绿空间耦合、城市开发强度、与夏季主导风向的关系等方面。

本研究的结论建立在选取的30个上海市城郊绿地斑块的基本数据测算和统计分析基础上得到的，因选取的研究样本具有一定的随机性，相关研究结论仍需进一步验证。

注：文中图表均由作者绘制。

参考文献

[1] 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(01):171-181.
[2] 苏王新,常青,刘筱,等.城市蓝绿基础设施降温效应研究综述[J].生态学报,2021,41(07):2902-2917.
[3] 上海市人民政府.上海市生态空间专项规划(2018-2035)[R].2018.
[4] 刘颂,邹清华,张浪.城市绿地冷岛效应测度方法比较与验证[J].园林,2023,40(02):116-124.
[5] 赵芮,申鑫杰,田国行,等.郑州市公园绿地景观特征对公园冷岛效应的影响[J].生态学报,2020,40(09):79-87.

[6] LI J, SONG C, CAO L, et al. Impacts of Landscape Structure on Surface Urban Heat Islands: A Case Study of Shanghai, China[J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(12): 3249-3263.
[7] 刘任棋,李明阳,刘雅楠.都市郊区热岛效应时空变化及城镇化进程影响分析——以南京市江宁区为例[J].林业调查规划,2017,42(06):141-146.
[8] 杜红玉.环境景观格局对绿地冷岛效应的影响[J].中国园林,2022,38(2):121-126.
[9] BAO T, LI X M, ZHANG J, et al. Assessing the Distribution of Urban Green Spaces and its Anisotropic Cooling Distance on Urban Heat Island Pattern in Baotou, China[J]. International Journal of Geo-Information, 2016, 5(2): 12.
[10] KUANBIAO Q, BAOQUAN J. The Roles of Landscape both Inside the Park and the Surroundings in Park Cooling Effect[J]. Sustainable Cities and Society, 2020, 52(C): 101864.
[11] PENG J, DAN Y, QIAO R, et al. How to Quantify the Cooling Effect of Urban Parks? Linking Maximum and Accumulation Perspectives[J]. Remote Sensing of Environment, 2021, 252(103873): 112135.
[12] TANG L J, ZHAN Q M, FAN Y L, et al. Exploring the Impacts of Greenspace Spatial Patterns on Land Surface Temperature Across Different Urban Functional Zones: A Case Study in Wuhan Metropolitan Area, China[J]. Ecological Indicators, 2023, 146: 109787.
[13] 沈中健,曾坚,任兰红.2002-2017年厦门市景观格局与热环境的时空耦合关系[J].中国园林,2021,37(03):100-105.
[14] 陈吉臻,张君,薛亮.基于夜间灯光数据的陕西省县域相对贫困水平时空差异分析[J].遥感技术与应用,2022,37(04):908-918.
[15] 李雪萍,贡璐.DMSP/OLS和VIIRS/DNB夜间灯光影像的校正及拟合[J].测绘通报,2019(07):138-146.
[16] 陈媛媛,姚侠妹,偶春,等.城市空间格局与热环境响应关系:以合肥市区为例[J].环境科学,2023,44(06):3043-3053.
[17] 仇宽彪,张慧,高吉喜,等.上海城市林地斑块冷岛效应的城乡梯度变化[J].生态学杂志,2021,40(5):1409-1418.
[18] FEYISA G L, DONS K, MEILBY H. Efficiency of Parks in Mitigating Urban Heat Island Effect: An Example from Addis Ababa[J]. Landscape & Urban Planning, 2014, 123(2): 87-95.