城市绿地对热岛效应缓解作用研究——以保定市中心城区为例

Mitigation Role of Urban Green Space in Reducing Heat Island Effect —A Case Study of Central Urban Area of Baoding City

岳晓蕾 林箐 * 杨宇翀

YUE Xiaolei, LIN Qing*, YANG Yuchong

中图分类号：TU986
文献标识码：A
文章编号：1673-1530(2018)10-0066-05
DOI：10.14085/j.fjyl.2018.10.0066.05
收稿日期：2018-02-02
修回日期：2018-08-20

岳晓蕾 /1992 年生 / 女 / 河北人 / 北京林业大学园林学院风景园林学硕士研究生 / 研究方向为风景园林规划与设计（北京 100083）
YUE Xiaolei, born in 1992 in Hebei Province, is a graduate student of landscape architecture in the School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University. Her research focuses on landscape planning and design (Beijing 100083).

林箐 /1971 年生 / 女 / 浙江人 / 博士 / 北京林业大学园林学院教授、博士生导师 / 北京多义景观规划设计事务所设计总监 / 研究方向为园林历史、现代景观设计理论、区域景观、乡村景观等（北京 100083）
通信作者邮箱（Corresponding author Email）：lindyla@126.com
LIN Qing, born in 1971 in Zhejiang Province, received her Ph.D. degree from Beijing Forestry University. She is a professor of the School of Landscape Architecture in Beijing Forestry University and the chief landscape architect of Atelier DYJG. Her research focuses on the garden history, contemporary landscape design, regional landscape and rural landscape (Beijing 100083).

杨宇翀 /1992 年生 / 男 / 浙江人 / 北京林业大学园林学院风景园林学在读硕士研究生 / 研究方向为风景园林规划与设计（北京 100083）
YANG Yuchong, born in 1992 in Zhejiang Province, is a master student of Landscape Architecture in the School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University. His research focuses on landscape planning and design (Beijing 100083).

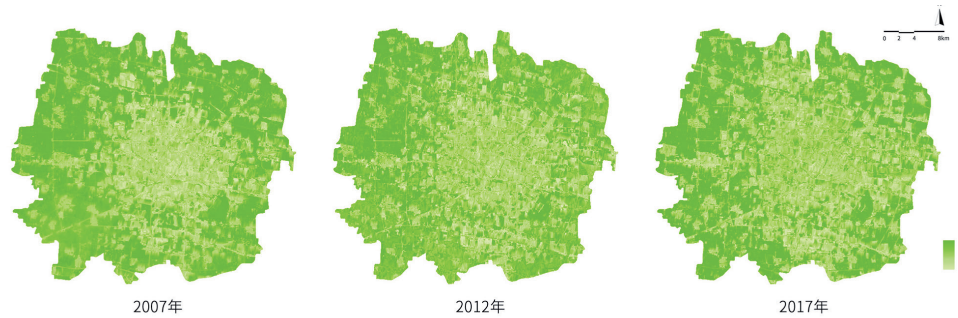
摘要：随着中国城镇化建设的进行，城市热岛效应逐渐成为城市发展的显著问题之一，而城市绿地能有效地缓解城市热岛效应，在城市规划中，可以通过对城市绿地进行合理布局，从而减缓城市热岛效应的影响。本文采用遥感数据反演的方法，综合应用地理信息系统（GIS）和遥感（RS）技术，得到不同时期保定市中心城区地表温度和植被覆盖度的时空演变图，分析近 10 年的时空演变规律，并用网格法对植被覆盖度与地表温度之间的耦合关系进行研究，得出研究区内的植被覆盖度每增加 10%，其地表的平均温度可减少 0.9℃ ~1.3℃。选取研究区域内的 8 个城市绿地，利用缓冲区分析的方法，定量研究城市绿地面积与其降温范围之间的关系，结合保定市热岛效应集中区域及周边土地利用现状，提出增加城市绿地的可能位置，为城市绿地布局提供科学依据。
关键词：风景园林；植被覆盖度；地表温度；城市热岛效应；城市绿地

Abstract: With the development of urbanization in China, the urban heat island effect has gradually become an obvious problem in urban climate. It can be effectively relieved by urban green space, so in the city planning, we may make a rational layout of the urban green space, to reduce the impact of urban heat island effect. This paper adopts the remote sensing data inversion method, and makes comprehensive application of the geographic information system and remote sensing technology, to obtain the spatio-temporal evolution map of the surface temperatures and vegetation coverage in the central urban area of Baoding city. It analyzes the spatial and temporal evolution law in the past 10 years and studies the correlation between vegetation coverage and surface temperatures under the grid method, to draw the conclusion that as the vegetation coverage increases 10%, the average surface temperature decreases by 0.9 ℃ to 1.3 ℃ . Furthermore, the authors selected eight parks in the target area, adopted the buffer analysis method to study the relationship between urban green patches and its cooling range. Combined with the current situation of land use in Baoding, it provides a scientific basis for the layout of urban parks in the study area.
Keywords: landscape architecture; vegetation coverage; land surface temperature; urban heat island effect; city green space

产生城市热岛效应的主要原因是城市下垫面的改变，增加城市绿地是缓解城市热岛效应的重要措施。近些年，位于华北平原地区的保定市城市化发展呈现加速态势，大量的绿地被兴建的灰色设施取代，城市建成区面积不断增加，导致保定市的植被覆盖度逐年下降，城市的景观、生态功能减弱，城市热岛效应逐步加剧。同时，随着国家“京津冀协同发展”的提出及推进，生态承载区功能成为保定市重要功能定位之一，这使得其生态环境建设与保护问题更加凸显[1-2]，因而选取保定市中心城区作为研究对象具有一定的典型性。

目前，植被覆盖度和地表温度的相关研究是近年来学术界关注的热点，并已积累较为丰富的研究成果[3-7]。对于城市绿地与城市热岛效应之间的关系研究中，张昌顺[8]从城市绿地降温功能与绿地类型、绿地结构及管理措施角度进行了研究分析；杨伟、马腾耀[9]从绿地斑块自身的属性对绿地内部温度影响和绿地斑块对周边热环境影响进行了研究分析；陈芳敏[10]从公园斑块特征、绿地景观类型和周边用地结构的差异等方面对热岛效应的影响进行了分析等，除这些

1



2

1 研究空间范围示意图
The scope of the research space
2 2007—2017 年植被覆盖度时空演变图
Spatio-temporal evolution of vegetation coverage (2007—2017)

因素外，城市绿地的空间布局同样影响城市的热环境，应在城市规划时将其作为考虑因素，逐渐重视城市绿地缓解城市热岛效应的功能。本文基于 GIS 和 RS 技术 [11-12]，对保定市中心城区内 2007—2017 年植被覆盖度与地表温度的相关性进行研究，定量分析城市绿地对城市热岛效应的缓解作用，研究城市绿地面积对降温范围的影响，并在前人研究的基础上，进一步探讨如何利用城市绿地空间布局减弱城市热岛效应的影响，所得结论可为保定市中心城区的城市规划提供科学的依据。

1 研究区域概况

研究的空间范围是保定市的中心城区，包括竞秀区和莲池区（图 1），研究区总面积约为 346km²。区域地理坐标为东经 113°40′~116°20′，北纬 38°10′~40°00′。中心距北京 140km。保定市属于暖温带大陆性季风气候区，近些年的夏季高温天气频繁，年高温日数总体呈增加趋势。

2 数据来源和方法

研究选取美国 Landsat7 ETM 卫星的 3 幅遥感影像作为基础遥感数据，其成像时间分别为 2007 年 9 月 3 日、2012 年 8 月 16 日、2017 年 9 月 7 日，卫星轨道号行号 p124/r44，包括 8 个通用波段，其中第 3、4 波段用以提取研究区域的归一化植被指数（NDVI）与植被覆盖度信息，第 6 波段为热红外波段影像，用以研究区域的地表温度。卫星影像的空间分辨率除第 6 波段为 60m×60m，其余均为 30m×30m。卫星过保定市上方的时间约为上午 8：50，这 3 个时期的图像时间段接近，具有可比性，遥感影像的质量良好，精度满足计算要求。

首先通过 ENVI5.1 对 3 个时期的影像数据作辐射定标和大气校正处理，消除因大气散射引起的辐射误差，然后利用保定市中心城区矢量边界裁剪图像得到保定市中心城区的影像数据，再选择相应波段的遥感图像进行归一化植被指数计算和地表温度的反演计算。最后利用 ArcGIS10.2 软件处理相关数据，比较与计算地表温度和植被覆盖度之间的相关性。

3 地表温度与植被覆盖度的相关性

3.1 植被覆盖度演化特征

遥感测量已成为大中区域尺度植被覆盖监测的主要途径 [4, 13]，利用遥感数据提取植被覆盖度的方法主要有经验模型法、植被指数法和混合像元分解法 [14]，本文利用植被指数法对保定市中心城区植被覆盖度进行提取。为了计算植被覆盖度，首先需要对归一化植被指数进行计算。归一化植被指数应用研究最为广泛，常用于区域和全球性的植被动态监测研究 [15]。其表达式为：

$$NDVI=(NIR-R)/(NIR+R) \quad (1)$$

在归一化植被指数计算结果的基础上，对植被覆盖度进行计算。在植被覆盖度的计算中，采用像元二分模型法，其表达式为：

$$F_V=(NDVI-NDVI_{soil})/(NDVI_{veg}-NDVI_{soil}) \quad ②$$

式中，$NDVI_{veg}$ 代表纯植被的植被指数，$NDVI_{soil}$ 代表纯土壤的植被指数，NDVI 代表所求区域或像元的植被指数。式中，取 $NDVI_{veg}$ 值为 0.7，取 $NDVI_{soil}$ 值为 0。当某像元的 NDVI ＞ 0.7 时，其 F_V 取值为 1；当 NDVI ＜ 0 时，其 F_V 取值为 0。

研究所用的 Landsat 7 卫星影像中第 3、4 波段的影像分辨率为 30m×30m，即绘制图像中单个像素点代表 30m×30m 范围内的植被覆盖度情况。研究通过 ENVI5.1 软件计算出保定市中心城区的植被覆盖度图像，再将结果导入 ArcGIS10.2 软件进行统计处理，得出研究区范围内 2007 年、2012 年、2017 年的 3 幅植被覆盖度图像（图 2）。

由 ArcGIS10.2 软件统计的 2007、2012、2017 年 3 年的植被覆盖度的平均值 0.709 5、0.673 8、0.666 4 可以看出，2007—2017 年间，保定市中心城区内的植被覆盖度总体呈下降趋势。结合保定市近些年发展可知，城市建设用地猛增，其中心城区的范围逐渐向郊区扩张，城市逐渐侵占部分农田与林地，导致 2017 年研究区的植被覆盖度较 2007 年有了明显的下降。

3.2 地表温度演化特征

地表温度是研究地表与大气之间能量与物质交换的重要参数 [16]。目前，地表温度反演算法大致有大气校正法、单窗算法、劈窗算法和多通道多角度算法 4 种 [17]，本文基于大气校正法反演地表温度。在计算地表温度前，需要先计算地表比辐射率与黑体辐射亮度。其中，植被和建筑的比辐射率结合通过计算得

出，水体的比辐射率取常量0.995，其表达式为：

$$\varepsilon_{green}=0.962\,5+0.061\,4F_V-0.046\,1F_V^2 \quad (3)$$

$$\varepsilon_{building}=0.958\,9+0.086F_V-0.067\,1F_V^2 \quad (4)$$

上述公式中的 ε_{green} 代表植被的比辐射率，$\varepsilon_{building}$ 代表建筑的比辐射率。F_V 为上文计算得出的植被覆盖度。通过反演计算得到地表比辐射率。

基于地表比辐射率的结果，计算黑体在热红外波段的辐射亮度，其表达式为：

$$B(T_S)=[L\lambda-L\uparrow-\tau\cdot(1-\varepsilon)L\downarrow]/\tau\cdot\varepsilon \quad (5)$$

式中，$L\lambda$ 为热红外的辐射亮度，$L\uparrow$ 为大气向上辐射亮度，$L\downarrow$ 为大气向下辐射到达地面后反射的能量，ε 为地表比辐射率，$B(T_S)$ 为由普朗克定律推导出的黑体的热辐射亮度，τ 为大气在热红外波段的透过率。

在获取温度为 T_S 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，求得真实的地表温度，表达式为：

$$T_S=K_2/\ln(K_1/B(T_S)+1) \quad (6)$$

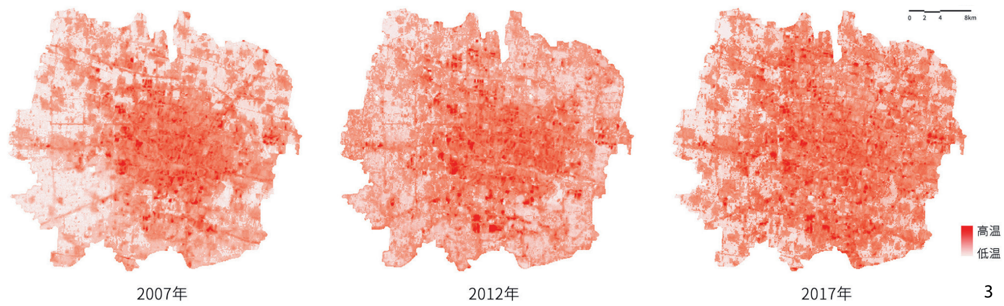
在Landsat7遥感影像中，K_1 取值666.09，K_2 取值1 282.71。

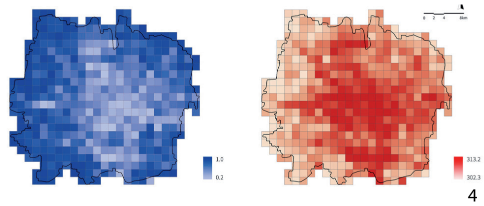
研究所用的Landsat7卫星影像中热红外波段（第6波段）的影像分辨率为60m×60m，即绘制图像中单个像素点代表60m×60m范围内的地表温度情况。研究通过ENVI5.1平台对保定市中心城区的地表温度进行反演计算，并导入ArcGIS10.2软件进行统计处理，得到保定市中心城区的2007年、2012年、2017年的3幅地表温度图像（图3）。

2007—2017年间，保定市中心城区的地表温度总体呈上升趋势，城市热岛效应呈现出不断升高的趋势，从中心城区逐渐向外扩展蔓延。2007年，中心区域的热岛效应较为明显，此时的郊区土地利用类型主要是农田和少量的村落，因此几乎没有表现出热岛效应。2017年，随着城市的快速发展，热岛效应的影响范围已经由中心区域向郊区快速蔓延。保定市的建成区范围逐渐扩大，郊区的大量土地利用类型由农田逐渐转变为建设用地，其下垫面的属性发生改变，因此城市热岛效应的覆盖范围逐步扩大。

3.3 不同时期地表温度与植被覆盖度相关性分析

为了全面提取数据信息，本文通过对研究区的植被覆盖度图像和地表温度图像的数据进行处理，用网格法取平均值对研究区进行详细分析。





3 2007—2017年地表温度时空演变图

Spatiao-temporal evolution of land surface temperature (2007—2017)

4 2017年植被覆盖度和地表温度网格划分图

Grid partition diagram of vegetation coverage and land surface temperature in 2017

首先对研究区域进行网格划分，每个网格的边长为900m×900m，共将研究区划分为565个网格，满足相关性分析的精度需求，网格覆盖研究区内所有地表温度和植被覆盖度的数据信息。植被覆盖度图像的空间分辨率30m×30m，因此其图像中每个网格包含900个原始栅格数据；地表温度图像的空间分辨率60m×60m，因此其图像中每个网格包含225个原始栅格数据。再通过ArcGIS10.2软件计算网格中的栅格数据的平均值，得到植被覆盖度和地表温度的网格划分图像（图4）。最后将所有网格的植被覆盖度和地表温度数据导入Excel软件，对两者间进行相关性研究，从而得出2007、2012、2017年3个时期地表温度和植被覆盖度之间的回归分析结果（图5）。

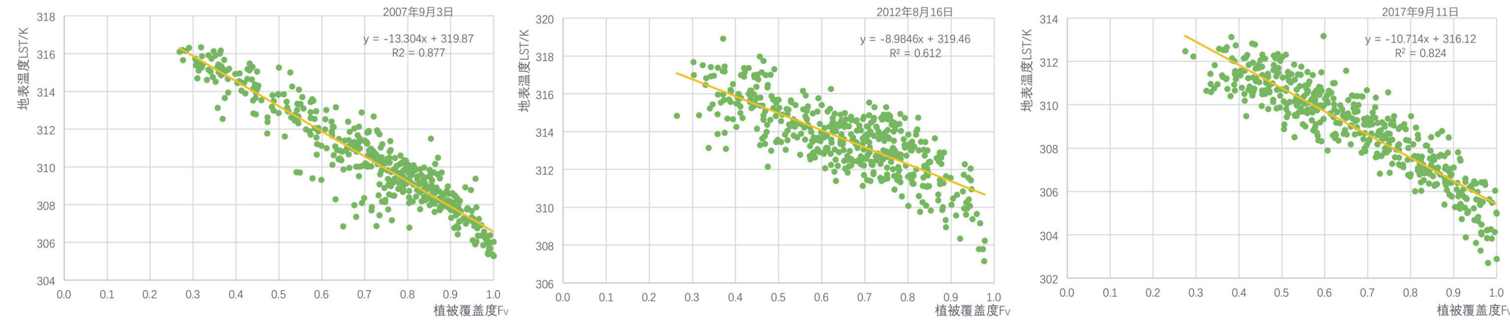
研究区内的地表温度与植被覆盖度两者之间具有明显的负相关关系，植被覆盖度越高，相应地点的地表温度越低。2007年、2012年、2017年回归方程的决定系数（R^2），分别为0.877 084，0.612 018，0.823 626（图5），且在5%显著性水平上，3个总体模型均通过了检验，表明两者之间具有较强的相关性。2007年、2012年、2017年回归方程的斜率分别为-13.304，-8.984 6，-10.714，其绝对值范围为8.984 6~13.304。从这些数据可知，植被覆盖度的增加可有效改变区域的地表温度，保定市中心城区植被覆盖度指数每增加0.1，可使地表温度降低0.9~1.3℃。

4 城市绿地对热岛效应降温范围的影响

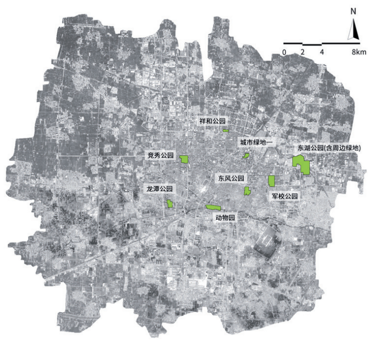
4.1 绿地面积对热岛效应的影响

以2017年9月7日的数据为例，在区域尺度下将保定市中心城区范围内的植被覆盖度高的城市绿地进行筛选，并用ArcGIS10.2软件进行数据统计。由于农田与水体对周边热环境也有降温效应，故筛选绿地外围的下垫面相同（即建筑与硬质铺装）的8个城市绿地（图6）。以8个绿地边界为起点，以60m为步长，共设置10个缓冲带，依次提取600m缓冲区范围内地表温度及降温范围数据进行对比研究。利用梯度差方法依次求出各缓冲带平均温度值与相邻的缓冲带的平均温度值的差（ΔT），将其对应缓冲带外围距绿地边界的距离（L），用Excel软件进行曲线拟合分析，得出各绿地对周围热环境的降温效应曲线（图7）。

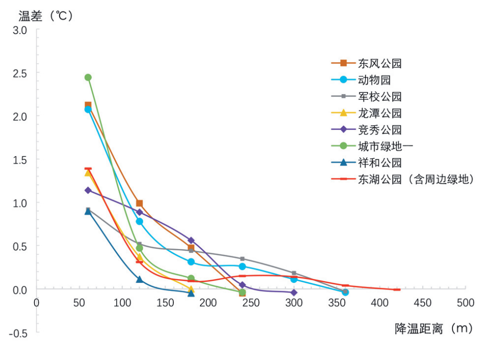
绿地对周边热环境的降温效应随着距离增大逐渐减小（图7），在距离绿地200m内的降温速率最大，之后随距离增大，其降温速率趋缓；不同面积绿地的降温范围存在较大差异，东湖公园（含周边绿地）的降温范围最大，大约为420m，而祥和公园的降温范围最小，仅大约140m。从图中读出各个绿地的最大降温范围，列出表格（表1），将其与绿地面积之间的关系用Excel软件进行曲线拟合分析（图8）。



5



6



7

5 2007—2017 年植被覆盖度与地表温度回归关系分析
Analysis of relations between vegetation coverage and land surface temperature regression(2007—2017)

6 城市绿地位置
Urban green space location

7 不同城市绿地对周围热环境的降温范围
The cooling range of different city green areas to surrounding thermal environments

表 1 不同城市绿地地表温度相关数据对比
Tab. 1 Comparison of surface temperatures of different urban green areas

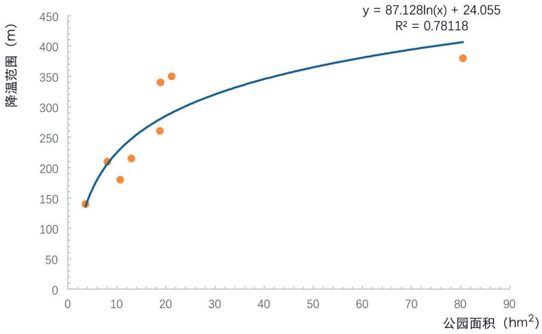
绿地名称	面积 /hm^2	绿地平均地表温度 /K	最大降温距离 /m
动物园	18.86	309.25	340
东风公园	12.91	308.69	215
军校公园	21.15	310.00	350
龙潭公园	10.67	308.60	180
竞秀公园	18.73	309.20	260
城市绿地一	8.05	308.16	210
祥和公园	3.63	308.50	140
东湖公园（含周边绿地）	80.46	308.49	380

城市绿地面积与降温范围呈对数函数关系，两者之间回归方程的决定系数 R^2 为 0.781 2（图 8），且在 5% 显著性水平上其总体模型通过了检验，由此可知二者具有显著的相关性，即绿地面积越大，其对应的降温范围越大。但在一定范围内，增加单位面积的绿地，降温范围迅速扩大，而超过这一范围，增加单位面积的绿地，降温范围扩大的增长速度趋于平缓。通过求曲线的二阶导数，可得出此值为 29hm^2。当绿地面积大于 29hm^2 时，拟合曲线的二阶导数值保持在 -0.10 左右。因此，在绿地空间布局时，考虑到降低城市热岛效应的因素，保定市中心城区的绿地建设面积的最佳数值在 29hm^2 左右。

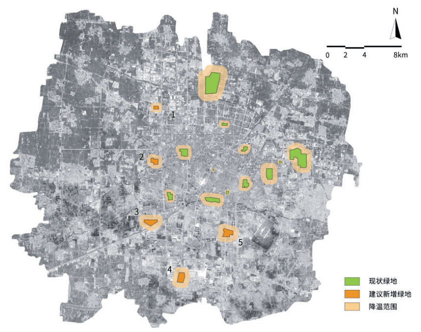
4.2 绿地布局对热岛效应的影响

在保定市未来城市的发展过程中，要平衡城市热岛与城市发展两者之间的关系。2017 年保定市中心城区现有的植被覆盖度为 40%，若在未来建设中无节制地进行城市扩张，则每减少 10% 的植被覆盖度，地表温度就会升高 1℃，局部区域甚至可以升高 5℃以上。在实际应用中，提高城市的绿化覆盖率即增加植被覆盖度，因此在城市发展中需要适当地提高城市的绿化覆盖率，对保定市的生态环境建设做出贡献。一方面，合理规划与利用土地，严守耕地保护、生态保护“红线”，控制城市发展边界，对荒地或拆除后短期不建设的土地进行覆绿。另一方面，在城市建成区中，见缝插绿，利用垂直绿化和屋顶绿化来增加城市的绿化覆盖率。

通过比对图 3 和保定市的现状谷歌卫星图可以得出，大面积的热岛效应主要集中在保定市中心城区的西部和南部，重点高温区域的用地性质普遍为工业用地。结合现有绿地可知，保定市中心城区西部和南部的绿地较少，因此，建议在规划时适量增加此区域的绿地面积来缓解热岛效应。具体在增加绿地的过程中，结合保定市用地现状和保定市城市总体规划（2011—2020 年）中心城区用地布局规划图 [18]，笔者建议在现有绿地的基础上增加部分绿地（图 9），使绿地的空间布局更为合理，降低城市热岛效应的影响，提升城市小气候舒适性，服务城市居民生活。其中，位于西北部的 1 号绿地面积约为 10hm^2，周边规划用地性质为居住用地；位于西部 2 号绿地面积约为 18hm^2，周边规划用地性质为居住用地和工业用地；位于西南部的 3 号绿地面积约为 29hm^2，周边规划用地性质为工业用地和绿地；位于南部 4 号绿地面积约为 29hm^2，周边规划用地性质为居住用地、商业用地和工业用地；位于南部 5 号绿地面积约为 29hm^2，周边规划用地性质为居住用地。这 5 块绿地的现状均为城中村，建议将这些区域进行用地性质的改变，在重点高温区域或附近增加绿地面积。此外，根据上文研究可知，保定市绿地面积在 29hm^2 左右为最佳数值，所以在有条件的情况下，尽量设置面积为 29hm^2 的绿地。建议新增绿地和现有绿地的降温范围根据图 8 得出。通过增加城市绿地，在区域尺度上控制近些年保定市中心城区地表温度的持续升高，并



8


9

8 绿地面积与降温范围的定量关系

Quantitative relationship between green space and cooling range

9 建议绿地位置

Proposed locations for green space

且有针对性地降低重点高温区域的热岛效应，在减缓保定市中心城区的热岛效应的同时，完善其城市绿地的布局和建设。

5 结论

根据以上研究，得到以下结论：

1）2007—2017 年 10 年间，保定市中心城区的植被覆盖度与地表温度发生了较大变化。由于保定市城乡建设用地不断扩张，城市植被覆盖区的面积总体呈减少趋势，并使城市热岛效应逐步加强。

2）研究区的地表温度与植被覆盖度之间存在着明显的负相关关系，研究区内的植被覆盖度每增加 10%，其地表的平均温度可降低 0.9℃ ~1.3℃。

3）城市绿地对周边热环境的降温效应与距离呈负相关，即距离越大，降温效应越低，在距离绿地 200m 内的降温速率最大。

4）城市绿地面积与周边热环境的降温效应呈对数关系，当绿地面积小于 $29hm^2$ 时，随着面积增加，降温范围迅速扩大，当绿地面积大于 $29hm^2$ 时，降温范围的扩大趋于稳定。

5）建议在热岛效应显著的区域增加绿地布局，选择现状为临时性建筑或城中村的区域进行用地性质的改变，在减缓城市热岛效应的同时，使城市绿地的布局更为合理。

注释：

图 1 ～ 9 均为作者自绘，其中图 4 基于 2017 年植被覆盖度和地表温度数据绘制，图 6、9 基于保定市中心城区的谷歌地图绘制。

参考文献 (References)：

[1] 田帅，王利军．基于 RS 与 GIS 的保定市植被覆盖度动态变化 [J]．农业工程，2017，7（6）：57-62.
TIAN S., WANG L. J. Dynamic Change of Fractional Vegetation Cover in Baoding Based on RS and GIS[J]. Agricultural Engineering, 2007, 7(6): 57-62.
[2] 王金星，侯敏．基于 RS 与 GIS 技术的生态环境保护规划研究：以保定市为例 [J]．资源与产业，2009，11(4)：42-45.
WANG J. X., HOU M. A Case Study on Baoding City: Eco-environmental Protection and Planning Based on RS and GIS[J]. Resources & Industries, 2009,11(4): 42-45
[3] 彭璐，李小梅，傅佳丽，等．福建省平潭岛植被覆盖变化及其对地表温度影响的定量研究 [J]．福建师范大学学报(自然科学版)，2016，32（1）：78-85.
PENG L., LI X. M., FU J. L. A Quantitative Research of Vegetation Cover Change and Its Effect on the Land Surface Temperature in Pingtan Island of Fujian Province[J]. Journal of Fujian Normal University(Natural Science Edition), 2016, 32(1): 78-85.
[4] 秦伟，朱清科，张学霞，等．植被覆盖度及其测算方法研究进展 [J]．西北农林科技大学学报（自然科学版），2006（9）：163-170.
QIN W., ZHU Q. K., ZHANG X. X. Review of Vegetation Covering and Its Measuring and Calculating Method[J]. Journal of Northwest Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2006(9): 163-170.
[5] 韩贵锋，梁保平．地表温度与植被指数相关性的空间尺度特征：以重庆市为例 [J]．中国园林，2011（1）：68-72.
HAN G. F., LIANG B. P. Spatial Scale Characteristics of Correlation between Land Surface Temperature and Vegetation Index: A Case Study of Chongqing City[J]. Chinese Landscape Architecture, 2011(1): 68-72.
[6] 池腾龙，曾坚，王思彤．基于 RS 和 GIS 的郑州市植被覆盖度与地表温度演化研究 [J]．中国园林，2016（10）：78-83.
CHI T. L., ZENG J., WANG S. T. Research of the Relationship between Vegetation Fraction and Evolution of Thermal Environment in Zhengzhou Based on RS and GIS Technology[J]. Chinese Landscape Architecture, 2016(10): 78-83.
[7] 邹敏．重庆主城区绿地对城市热岛效应影响的多尺度研究 [D]．重庆：西南大学，2013.
ZOU M. Effects of Green Space on Urban Heat Island: A Multi-Scale Study in Urban Districts of Chongqing[D]. Chongqing: Southwest University, 2013.
[8] 张昌顺，谢高地，鲁春霞，等．北京城市绿地对热岛效应的缓解作用 [J]．资源科学，2015，37（6）：1156-1165.
ZHANG C. S., XIE G. D., LU C. X, et al. The Mitigating Effects of Different Urban Green Lands on the Heat Island Effect in Beijing[J]. Resources Science, 2015, 37(6): 1156-1165.
[9] 杨伟，马腾耀．城市绿地斑块对周边热环境影响研究：以太原市为例 [J]．价值工程，2017，36（26）：199-202.
YANG W., MA T. Y. Effect of Urban Green Paths on the Thermal Environment of Surroundings: A Case Study in Taiyuan[J]. Value Engineering, 2017, 36(26) : 199-202.
[10] 陈方敏．上海市公园绿地对城市热岛效应影响的多尺度研究 [D]．上海：华东师范大学，2010.
CHEN F. M. Effect of Urban Park on Urban Heat Island: A Multi-Scale Study in Shanghai[D]. Shanghai: East China Normal University, 2010.
[11] 陈华丽，蒋华平．GIS 在城市绿地系统规划中的应用 [J]．风景园林，2005（4）：46-49.
CHEN H. L.,JIANG H. P. The Application of GIS in Urban Green Space System Planning[J]. Landscape Architecture, 2005(4): 46-49.
[12] 刘颂，章舒雯．风景园林学中常用的数学分析方法概览 [J]．风景园林，2014（2）：137-142.
LIU S., ZHANG S. W. Review on Mathematic Methods in Landscape Architecture[J]. Landscape Architecture, 2014(2): 137-142.
[13] 李登科，范建忠，王娟．陕西近 10 年来植被覆盖度变化特征及其成因分析 [C]// 第 28 届中国气象学会年会：S11 气象与现代农业．中国气象学会，2011：14.
LI D. K., FAN J. Z., WANG J. Variations and Its Causes of Fractional Vegetation Cover (FVC) in Shanxi Province in Latest Decade[C]//The 28th Annual Meeting of the China Meteorological Society: S11 Meteorology and Modern Agriculture[C]. Chinese Meteorological Society, 2011: 14.
[14] 牛宝茹，刘俊蓉，王政伟．干旱区植被覆盖度提取模型的建立 [J]．地球信息科学，2005（1）：84-86，97-131.
NIU B. R., LIU J. R., WANG Z. W. Remote Sensing Information Extraction Based Vegetation Fraction in Semiarid Area[J]. Earth Information Science, 2005(1): 84-86, 97-131.
[15] 梁保平，翟禄新．1991—2006 年桂林市植被覆盖度、地表温度时空变化及相关性研究 [J]．中国园林．2014（7）：77-81.
LIANG B. P., ZHAI L. X. A Research on Spatial-temporal Changes and Correlation between Vegetation Fraction and Land Surface Temperature in Guilin during 1991—2006[J]. Chinese Landscape Architecture, 2014(7): 77-81.
[16] 杨东方，王凤友．数学模型在生态学的应用及研究 33[M]．北京：海洋出版社．2015.
YANG D. F., WANG F. Y. The Application and Research of Mathematical Model in Ecology 33[M]. Beijing: Ocean Press, 2015.
[17] 魏文寿．卫星遥感应用 [M]．北京：气象出版社．2013.
WEI W. S. The Application of Satellite Remote Sensing [M]. Beijing: China Meteorological Press. 2013.
[18] 保定市城乡规划局．保定市城市总体规划（2011—2020 年）中心城区用地布局规划图 [EB/OL]．（2012-08-17）[2018-06-29]．http://www.bdghj.gov.cn/user/view.asp?id=3269.
Baoding Urban Planning Bureau. Center City Land Layout Plan of Baoding City Master Plan(2011—2020)[EB/OL]. (2012-08-17)[2018-06-29]. http://www.bdghj.gov.cn/user/view.asp?id=3269.

（编辑 / 祖笑艳）