引文格式：杨才,郭越凡,薛帅宁,等. 成都市城市热环境特征及其影响因素研究[J]. 地理空间信息, 2026, 24(4):92-97. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.04.019

成都市城市热环境特征及其影响因素研究

杨　才[1,2]，郭越凡[3*]，薛帅宁[1,2]，黎景锐[2,4]，毕　淼[2,5]
（1. 重庆市气象信息与技术保障中心，重庆 401147；2. 中国气象局气候资源经济转化重点开放实验室，重庆 401147；
3. 四川省气象探测数据中心，四川 成都 610072；4. 巫溪县气象局，重庆 405800；5. 重庆市气象科学研究所，重庆 401147）

摘　要：城市热岛效应影响着城市居民的生产生活，研究城市热环境特征及其影响因素具有重要意义。基于Landsat8 OLI/TIRS遥感数据反演成都市地表温度（LST），并利用Getis-Ord Gi*和均值-标准差法分析研究区的热环境特征，进而利用皮尔逊相关性分析和地理探测器模型揭示城市环境和景观格局指数对LST的影响。研究结果表明：①研究区热岛主要分布在商业活动较强的城市中心区域和产业园区，而冷岛则分布在城市外围以及大型城市公园等区域，产业园区是强热岛分布的主要区域，水域是强冷岛分布的主要区域。②建设用地及建筑物具有明显的升温效应，水域和植被具有显著的降温效应。③合理的景观布局可降低城市热岛效应，增加水域和植被斑块的连通性和聚集度、增加建设用地斑块破碎度和形状复杂度可有效降低城市热岛效应。

关键词：城市热岛；景观格局；地理探测器；成都市
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）04-0092-06

Research on the Urban Thermal Environment Characteristics and Its Influence Factor in Chengdu City, Sichuan Province

YANG Cai[1,2], GUO Yuefan[3], XUE Shuaining[1,2], LI Jingrui[2,4], BI Miao[2,5]
(1. Chongqing Meteorological Information and Technology Support Center, Chongqing 401147, China;
2. CMA Key Open Laboratory of Transforming Climate Resources to Economy, Chongqing 401147, China;
3. Sichuan Meteorological Observation and Data Center, Chengdu 610072, China;
4. Wuxi County Meteorological Bureau, Chongqing 405800, China;
5. Chongqing Institute of Meteorological Sciences, Chongqing 401147, China)

Abstract: The urban heat island effect impacts the production and daily lives of urban residents, and studying the urban thermal environment characteristics along with its specific influence factors holds significant importance. Firstly, we used Landsat8 OLI/TIRS remote sensing data to invert the surface temperature (LST) of Chengdu City, and used Getis-Ord Gi* and mean standard deviation methods to analyze the thermal environment characteristics of study area. Then, we used Pearson correlation analysis and GeoDetector to reveal the influence of urban environment and landscape pattern index on LST of the study area. The research results indicate that ①the heat island of study area is mainly distributed in the central areas of cities with strong commercial activities and industrial parks, while the cold island is distributed in the outskirts of cities and large urban parks. Industrial parks are the main areas of strong heat island distribution, and water bodies are the main areas of strong cold island distribution. ②Construction land and buildings have significant warming effects, while water bodies and vegetation have significant cooling effects. ③Reasonable landscape layout can reduce urban heat island effect. Increasing the connectivity and aggregation of water bodies and vegetation patches, and the fragmentation and complexity of construction land patches can effectively reduce urban heat island effect.

Key words: urban heat island effect, landscape pattern, GeoDetector, Chengdu City

城市热岛效应（urban heat island，UHI）是城市下垫面植被、水域被建设用地取代，进而导致的城市局部地表温度（land surface temperature，LST）高于郊区的现象[1]。改革开放以来我国城市化发展迅速，快速城镇化导致建成区迅速扩张，进而加剧城市热岛效应[2-3]。此外，全球气候变化背景下城市高温频发[4-5]，促使城市热岛效应愈发严重，对城市居民的健康带来诸多不利影响[6]，因此城市热岛效应已成为重点关注的城市生态安全问题[7]。

多年来，国内外学者对城市热环境特征、热岛的影响因素等开展了大量研究[8-12]。大部分研究聚焦于土地类型对城市热岛效应的影响，不同的土地类型的地

项目来源：重庆市气象部门青年基金资助项目（QNJJ-202303）。
第一作者简介：杨才（1988—），硕士，工程师，研究方向为3S集成与气象应用、气象信息化，E-mail：ycai1988@163.com。
通信作者：郭越凡（1996—），硕士，助理工程师，研究方向为综合气象观测，E-mail：358124756@qq.com。

表温度（LST）存在明显的差异。随着景观生态学和GIS技术的发展，景观格局对地表热环境作用机制的研究逐渐成为热点[13]，研究发现城市景观格局对城市热岛（UHI）存在不同程度的影响[14]。然而，城市热岛效应是环境因素与景观格局多条件复合作用的结果，众所周知城市热环境与城市建设情况联系紧密，城市热岛效应具有典型的区域特征[15-17]。以往的研究大多关注于城市土地类型对城市热岛效应的影响，而城市环境与景观格局对城市热岛效应的影响研究较少。因此，本文以成都市主要城区作为研究区，基于遥感影像数据反演地表温度（LST）并探讨城市热环境特征，进而利用皮尔逊相关性分析和地理探测器模型揭示城市环境和景观格局对研究区LST的影响。

1　研究区概况

成都市介于102°54′~104°53′E、30°03′~31°26′N，位于四川省中部偏东，地势由西北向东南倾斜，东部主要由平原、台地和部分低山丘陵组成。成都市夏季7、8月份气温较高，气温最高可达40℃以上。成都市是西部地区的中心城市，2023年，全市总面积14 335 km^2，常住人口2 140万，GDP超两万亿元。随着经济的飞速发展城市建成区不断扩张，由原来的主城五区（金牛区、青羊区、锦江区、武侯区、成华区）扩展至周边双流区、温江区、郫都区（包含高新西区）、新都区、龙泉驿区、青白江区，以及高新区（南区）、天府新区。本文以六环路内、龙泉山以西的辖区作为研究区（图1），依据成都市建成区格局进一步将成都市建成区为2个圈层，一圈层是指建设用地占比均超过60%的核心区域（主城五区和高新南区），其余区域为二圈层（并非完全与行政区域相同）。

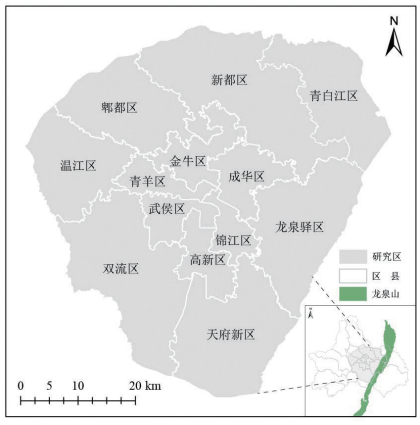


图1　研究区概况

审图号：成S(2020)001

2　数据来源与研究方法

2.1　数据来源与处理

本文涉及的行政区划数据均源于成都市地理信息公共服务平台，未对行政区范围做任何修改，仅根据研究范围对数据做相应的裁剪处理。

2.2　遥感数据处理

为分析研究区城市热岛特征，本文选择夏季Landsat8 OLI/TIRS遥感影像数据，用于研究区地表温度反演和土地利用类型提取。从美国USGS数据中心（https://glovis.usgs.gov/）下载晴朗少云天气状况下的遥感影像（LC08_129039_20230705—成像时间为2023年7月5日），经过辐射定标、几何校正、大气校正、研究区裁剪等预处理。

2.2.1　土地类型数据

为揭示研究区景观格局对LST的影响，本文充分考虑研究区的城市土地类型特点，将研究区分为水域、植被、建设用地（不透水面）3种。利用随机森林完成土地利用类型提取，经验证研究区景观分类结果的总体精度（overall accuracy）87.3%，Kappa系数为0.89，符合研究精度要求。借鉴以往经验本文同样将水域称为蓝色空间、植被称为绿色空间，建设用地称为灰色空间。

2.2.2　景观格局因子

本文从类型水平选择6个具有代表性的景观格局指数（LPI、COHESION、DIVISION、AI、SPLIT、LSI，各景观格局指数的计算公式参照官网https://www.fragstats.org/index.php/documentation）。LPI表征景观的优势度、COHESION表征景观的连通性，*AI*表征斑块的聚集性，可体现空间单元内景观的优势、连通性和团聚形态。DIVISION表征斑块的分散度，SPLIT表征斑块形态的分离度、LSI表征斑块形状的复杂度，可体现空间单元内景观斑块的形态复杂性和破碎度。景观指数具有明显的尺度效应，为揭示研究区LST景观格局之间的关系，经过反复测试并参考以往研究，本文以480 m × 480 m为基本景观单元，基于提取的土地利用类型数据，通过Fragstats4.2.1软件计算得到景观格局指数。利用QGIS软件构建研究区网格数据，并基于区域统计完成环境因素的网格化。

2.2.3　城市环境因素

本文基于多源数据构建城市环境因素，包括遥感指数、建筑环境、土地类型、地形因子4个维度13个因子（WET、NDVI、NDBI、*BD*、BVD、BHM、

RD、*P*1、*P*2、*P*3、*T*1、*T*2、*T*3）。遥感指数（WET、NDVI、NDBI）通过获取的遥感数据计算而得[18-19]。建筑轮廓数据源于高德地图数据开放平台（http://lbs.amap.com/），用于计算建筑密度、建筑平均高度等因子。城市路网数据来源于Open Street Map数据中心（https://www.openstreetmap.org/），利用QGIS软件提取城市主干道数据并计算道路密度。土地类型数据基于研究区遥感影像提取并利用QGIS统计研究单元内土地类型景观占比，DEM数据是从地理空间云（http://www.gscloud.cn/）获取，用于计算坡度、起伏度等地形因子数据。

2.3 研究方法

本文以成都市为例基于遥感影像数据利用分裂窗法反演地表温度（LST），利用Getis-Ord Gi*和均值-标准差法分析热环境特征，通过遥感、互联网等多源数据构建城市环境因子和景观格局指数，最后从相关性和空间分异性2个角度揭示城市环境和景观格局对研究区LST的影响。其中LST与影响因子的相关性利用SPSS统计分析完成，而影响因子对LST空间分异的驱动力是利用地理探测器模型完成。

2.3.1 LST反演与等级划分

基于Landsat8 OLI/TIRS数据，利用Offer Rozenstein等提出的分裂窗算法（劈窗算法）反演地表温度[20-21]。通过均值-标准差法将LST分为强冷岛、中冷岛、弱冷岛、无效应、弱热岛、中热岛、强热岛7类（表1）。

表1 热环境冷热岛强度等级划分

分类级别	分级条件
强冷岛	$T_s < T_u - 2.0\times STD$
中冷岛	$T_u - 2.0\times STD \leqslant T_s < T_u - 1.0\times STD$
弱冷岛	$T_u - 1.0\times STD \leqslant T_s < T_u - 0.5\times STD$
无效应	$T_u - 0.5\times STD \leqslant T_s < T_u + 0.5\times STD$
弱热岛	$T_u + 0.5\times STD \leqslant T_s < T_u + 1.0\times STD$
中热岛	$T_u + 1.0\times STD \leqslant T_s < T_u + 2.0\times STD$
强热岛	$T_s \geqslant T_u + 2.0\times STD$

注：T_s为景观单元的地表温度，T_u为研究区平均地表温度，STD为研究区地表温度的标准差。

2.3.2 Getis-Ord Gi*指数

Getis-Ord Gi*统计是一种识别空间要素局部高值聚集和低值聚集的有效方法[22]，本文基于ArcMap软件Getis-Ord Gi*统计分析研究区地表温度的空间聚集特征，可反映研究区LST空间差异和聚集程度的变化趋势。计算方法如式（1）。

$$G_i^*(d)=\frac{\sum_{i=1}^{n} W_{ij}(d)x_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i} \tag{1}$$

式中，x_i为区域i的观测值；W_{ij}为空间权重矩阵；n为研究区域数。如果G_i^*显著为正，区域i为高值聚集区（热点区），反之为低值聚集区（冷点区）。

2.3.3 皮尔逊相关性分析

皮尔逊相关性分析（pearson correlation analysis）用于衡量2个变量之间的线性关系[23]。计算方法如式（2）。

$$R_{xy}=\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\dot{x})(y_i-\dot{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\dot{x})^2\sum_{i=1}^{n}(y_i-\dot{y})^2}} \tag{2}$$

式中，R_{xy}为自变量x和因变量y之间的相关性系数，能够反映自变量对因变量的影响程度。具体到本研究中x_i为各种影响因子（NDVI、NDBI、WET、*BD*、BVD等）数值；y_i为地表温度数值。

2.3.4 地理探测器模型

地理探测器是由王劲峰等[24]提出的用于揭示空间分异性机理的研究，包括因子探测、交互探测、生态探测、风险探测。其中因子探测器表征各驱动因子对因变量Y（LST）的影响程度（q），q的值域为[0, 1]，基于自变量X生成区域（分层），q值越大表示自变量X对属性Y的解释力越强，反之则越弱。极端情况下，q值为1表明因子X完全控制了Y的空间分布，q值为0则表明因子X与Y没有任何关系，q值表示X解释了100×q%的Y。本研究借此揭示各景观指数因子（LPI、COHESION、DIVISION、AI、SPLIT、LSI）对LST空间分异的驱动力。因子探测器的计算方法如式（3）。

$$q=1-\frac{\sum_{h=1}^{L} N_h\sigma_h^2}{N\sigma^2} \tag{3}$$

式中，N和σ^2分别为自变量分区单元数和区域内因变量Y（LST）的方差；L为自变量X分类的子区域（$h=1, 2, \cdots, L$）；N_h和σ_h^2分别为因变量Y（LST）所对应自变量X的h层上的分区单元数与方差。

3 研究结果与分析

3.1 热环境分布特征

3.1.1 LST“冷热点”分布特征

本文利用分裂窗法反演得到研究区LST（图2），

将反演结果与研究区气象站（温江、龙泉驿、郫都、双流）临近时段的地面温度进行对比验证，经分析反演的LST相较于气象站观测值略微偏高（最大偏高1.9℃），整体而言反演结果可信，符合研究要求。结果显示研究区LST最高约66℃，最低约为25℃，高

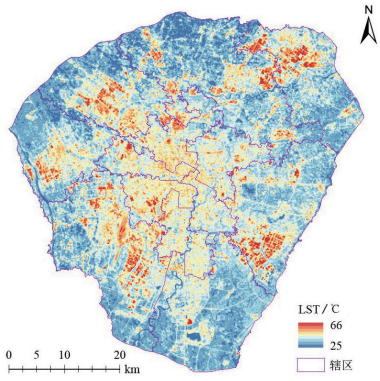


图2　LST分布特征

审图号：成S(2020)002

温在各区均有分布，而低温主要集中分布在二圈层（城市外围的近郊区域）。

本文进一步通过Getis-Ord Gi*指数分析研究区LST的空间聚集特征，得到LST的“冷热点”分布。LST热点区域呈现出明显的“一心带五片”的形态格局，“一心”是位于一圈层的武侯区、青羊区、金牛区等城市中心商业区，“五片”分布于二圈层的双流区（空港产业区）、温江区（工业园区）、郫都区（含高新西区，电子产业园）、龙泉驿区（汽车产业园区）、青白江区（物流产业园区），这些区域的建筑物密度大，LST显著高于平均水平并明显聚集，形成了明显的高-高温热点区域（Hot-Spot）。LST冷点区域主要分散在二圈层的城市边缘和大型城市公园，如西北（温江区、郫都区）、北部（新都区）、南部（双流区、天府新区），这些区域建设用地较少、植被水域较多，LST显著低于平均水平并明显聚集，形成了低-低温冷点区域（Cold -Spot）。

3.1.2　冷热岛强度分布特征

为进一步分析研究区冷热岛特征，本文利用均值-标准差法将地表温度分为7类。冷热岛分布情况显示各区均有热岛分布，而冷岛主要分布在二圈层。一圈层中武侯区、青羊区的热岛效应较高，锦江辖区内的热岛效应较低。二圈层中双流区、郫都区、龙泉驿区的城市热岛效应较高，天府辖区内城市热岛效应较低 。强热岛主要分布在二圈层的产业园区，中热岛、弱热岛广泛分布于城市建成区。强冷岛分布于大型湿地公园（青龙湖湿地公园、兴隆湖湿地公园、锦城湖公园、锦江生态带等）、河流和绿地，中冷岛、弱冷岛分散于城市小型公园、水域和绿地。

按LST冷热岛等级统计景观类型组成占比，进而分析各冷热岛强度的景观类型组成占比情况，随着热岛强度的增加，建设用地占比明显增多，植被和水域占比明显减少。而冷岛区则相反，随着冷岛强度增加，植被和水域占比明显增加，建设用地占比明显减少。热岛区域弱热岛、中热岛、强热岛的建设用地占比分别约为78%、90%、97%，表明建设用地是形成热岛的主要景观斑块，建设用地对热岛的形成具有促进作用。冷岛区弱冷岛、中冷岛、强冷岛植被占比分别约为82%、91%、33%，水域占比分别约为2%、5%、62%，表明植被是形成弱冷岛和中冷岛的主要斑块，水域是形成强冷岛区的主要斑块，水域和植被对冷岛的形成具有促进作用。无效应区的建设用地占比约51%，植被占比约48%，水域占比低于1%，灰度空间与蓝绿空间的占比基本相当，说明灰度空间和蓝绿空间对地表温度的影响存在明显的抵抗作用。

3.2　城市环境因素影响分析

3.2.1　环境因子相关性分析

本文利用SPSS软件的皮尔逊相关性分析得到LST与环境因素的皮尔逊相关性，并基于python的seaborn包通过编程绘制LST与环境因素的回归拟合线（图3），各子图中 R 表示皮尔逊相关性系数， p 表示双尾 p 值。LST与遥感指数相关性系数中NDBI为0.86大于0，LST与NDBI呈正相关； NDVI（-0.81）、WET（-0.69）小于0，表明LST与NDVI、WET呈负相关；NDBI系数绝对值最大，表明NDBI是影响LST的主要因子。土地类型因子相关性系数中 $P1$ （-0.20）、 $P2$ （-0.77）小于0， 说明LST与 $P1$ 、 $P2$ 呈负相关，蓝绿空间具有降温效应。 $P3$ （0.85）大于0，说明LST与 $P3$ 呈正相关，建设用地具有升温效应。土地类型中建设用地占比对地表温度的影响更强。城市建筑因子相关性系数均大于0，说明LST与其呈正相关，其中 BD （0.74）> BVD（0.61）> BHM（0.24）> RLD（0.23），表明在建筑环境中建筑密度、建筑物空间体积密度是控制地表温度的主要因子，而建筑高度、道路密度对地表温度的影响相对较弱。地形因子相关性系数 $T1$ （-0.13）、 $T2$ （-0.17）、 $T3$ （-0.16）均小于0，表明LST与地形因子呈负相关，但地形因子的 R 值及系数均较小，表明LST与地形因子的相关性较弱。

3.2.2　环境因子驱动力分析

本文利用地探测器模型的因子探测器进行分析，得到城市环境因子对LST空间分异的驱动力。结果显示遥感指数对LST空间分异的驱动力NDBI（0.72）>NDVI（0.65）>WET（0.50），表明城市生态中NDBI是控制研究区LST空间分异的主要因子。土地类型因子 $P3$（0.71）> $P2$（0.58）> $P1$（0.05），表明土地类型因子中建设用地是控制研究区LST空间分异的主

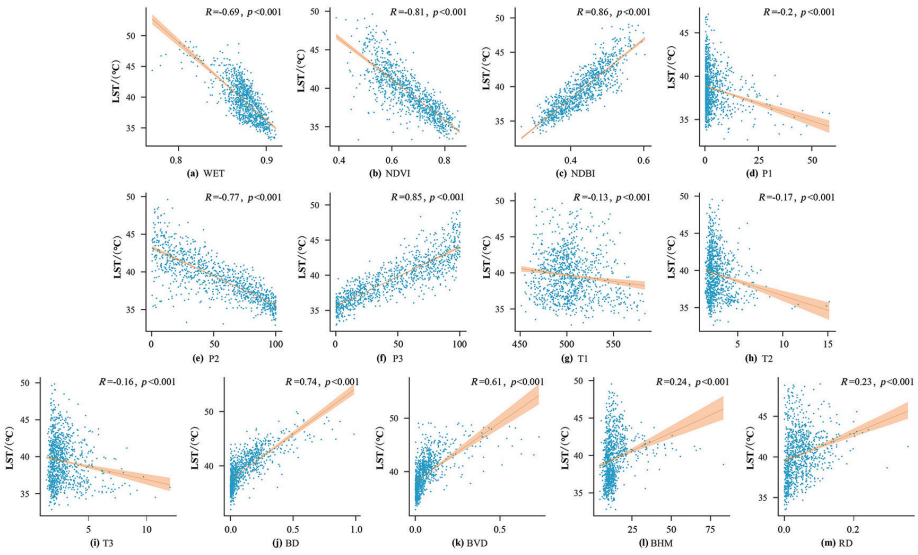


图3 LST与各类环境因子之间的相关性以及回归拟合线

注：趋势线为95%置信区间。

要因子。城市建筑因子中 *BD*（0.64）>BVD（0.54）>RLD（0.40）>BHM（0.15），表明建筑密度、体积密度是控制LST空间分异的主要因素，而建筑高度对LST空间分异的影响较小。地形因子相关性系数 *T*1（0.06）、*T*2（0.05）、*T*3（0.05）均较小，表明地形因子对研究区LST空间分异的影响很弱。整体而言，各类因子对LST空间分异的驱动力存在明显差异，但城市建设用地状况和植被状况的驱动力最强，地形因子驱动力最弱。

3.3 景观格局因素影响分析

3.3.1 景观格局相关性分析

本文利用SPSS软件的皮尔逊相关性分析得到LST与景观指数的皮尔逊相关性，并基于python的seaborn包通过编程绘制LST与景观指数的回归拟合线（图4），各子图中 *R* 表示皮尔逊相关性系数，*p* 表示双尾 *p* 值。LST与水域、植被景观的LPI、COHESION、AI的相关性系数均小于0，呈现负相关；LST与DIVISION、SPLIT、LSI的相关性系数大于0，呈现正相关，表明水域、植被的斑块优势度越大、连通性越强、聚集性越强LST越低，离散度越高、破碎度越高、形状越复杂LST越高，反之亦然。LST与建设用地景观的LPI、COHESION、*AI* 的相关性系数均大于0，呈现正相关；LST与DIVISION、SPLIT、LSI的相关性系数小于0，呈现负相关。表明建设用地的斑块优势度越大、连通性越强、聚集性越强LST越高，离散度越大、破碎度越高、形状越复杂LST越低，反之亦然。

3.3.2 景观格局驱动力分析

本文利用地理探测器分析类型水平景观指数对LST空间分异的驱动力。其中水域的景观指数驱动力LPI最高0.43，COHESION最低0.05，即LPI（0.36）>DIVISION（0.33）>SPLIT（0.29）>*AI*（0.18）>CO-

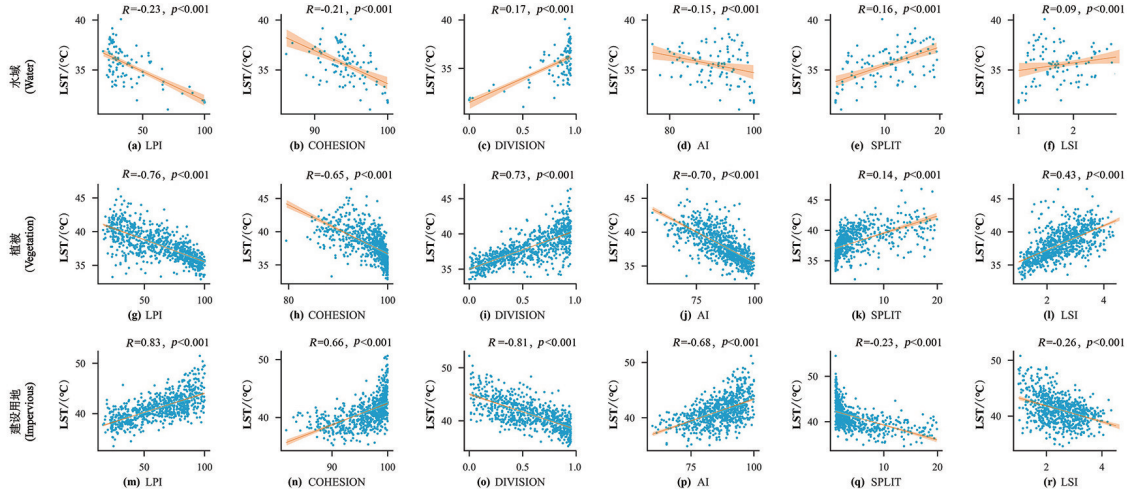


图4 LST与不同土地类型景观指数之间的相关性以及回归拟合线

注：趋势线为95%置信区间。

HESION（0.05）>LSI（0.05），表明对于水域而言，LPI对LST空间分异的影响程度最高，LSI对LST分异的影响较低。而植被的景观指数驱动力中COHESION最高0.60，LSI最低0.21，COHESION（0.60）> DIVISION（0.58）= SPLIT（0.58）>LPI（0.57）> *AI*（0.55）>LSI（0.21），表明对于植被而言，LSI对LST分异的影响程度最低，其他景观指数影响更高但差异不大。在建设用地景观指数驱动力中LPI、DIVISION、SPLIT最高0.69，LSI最低0.08，LPI（0.69）= DIVISION（0.69）=SPLIT（0.69）>COHESION（0。66）> *AI*（0.54）>LSI（0.08），表明对于建设用地而言，正相关因子中LPI对LST空间分异的影响更强，而负相关因子中DIVISION、SPLIT对LST空间分异的影响更强。整体看来，建设用地的景观格局指数对研究区LST空间分异的影响最大，植被次之，水域最小。

4　结　语

本研究分析成都市热岛效应，发现其具有明显的产业集群特征，工业园区是强热岛主要成因。武侯、青羊、郫都电子等传统工业园区因建筑密集、蓝绿空间不足，形成显著高温区；而高新区天府软件园等因蓝绿空间占比高、建筑密度低，热岛强度较弱。表明增加并优化蓝绿空间格局（如提升连通性与聚集度）是缓解产业园区热岛的关键。结果表明：①热岛集中在商业中心与产业区，冷岛分布于外围及公园水域；②建设用地指标（NDBI、密度等）显著增温，蓝绿空间指标（NDVI、WET、占比等）显著降温，地形影响小；③优化景观格局可有效缓解热岛：增大蓝绿斑块面积与连通性，同时降低建设用地的聚集度与形状规整度。研究为成都市热岛减缓与城市规划提供了科学依据。

参考文献

[1] 李宇,李亚琴,赵居双. 中国主要城市大气与地表热岛效应的对比研究[J]. 气候变化研究进展,2023,19(5):605-615

[2] 唐仕瑞,吴利. 基于CNKI的城市热岛效应研究的统计分析[J]. 地理空间信息,2024,22(12): 55-59

[3] 姚灵筠,王力,牛铮,等. 2000—2018年长株潭城市群城市扩张及其热岛响应[J]. 自然资源遥感,2024,36(1):162-168

[4] 于浩慧,周长艳,陈超,等. 2021年7—8月四川盆地高温热浪大气环流背景及影响分析[J]. 干旱气象,2023,41(6): 923-932

[5] 周秋雪,冯良敏,陈朝平,等. 2022年8月四川盆地持续性极端高温特征及不同模式预报误差分析[J]. 气象科技,2024,52(2):243-251

[6] 韦春竹,穹媛美,黄耿志,等. 中国沿海城市热浪时空特征与人口暴露研究[J]. 遥感技术与应用,2024,39(3):679-689

[7] 高颖,陈燕,张宁,等. 上海地区高温过程中局地气候区尺度城市热岛特征分析[J]. 气象科学,2024,44(2):391-400

[8] 陈春辉,马苗苗. 基于多源遥感数据的城市热岛特征与机理研究[J].地理空间信息,2023,21(1):119-122

[9] 张晓敏,刘知微,方寒,等. 基于Landsat8 TIRS地表温度数据反演的深圳城市热岛效应时空分布及土地利用的影响[J]. 气候与环境研究,2023,28(3):242-250

[10] 赵梓萌,孟翔晨. 天津市土地利用/覆被变化对城市热岛的影响[J]. 地理空间信息,2024,22(11): 66-72

[11] Xian J X, Yao W W, Gangte L, et al. Exploring Diurnal and Seasonal Variabilities in Surface Urban Heat Island Intensity in the Guangdong-hong Kong-macao Greater Bay Area [J]. Journal of Geographical Sciences, 2024, 34(8): 1472-1492

[12] Ying X, Fang Z.Effect of Human Settlements on Urban Thermal Environment and Factor Analysis Based on Multi-source Data: A Case Study of Changsha City [J]. Journal of Geographical Sciences,2021,31(6):819-838

[13] 国巧真,闫兵,杨光,等. 天津市热环境时空演变及影响因素分析[J]. 地球环境学报,2024,15(1):129-139.

[14] 郭易,陆滋雨,赵之铭,等.绿色空间景观格局对热环境的影响研究:以北京市平原地区为例[J]. 城市建筑,2024,21(20):206-213

[15] 孙良宵,杭鑫,高苹,等. 基于多年卫星遥感的江苏省夏季城市热岛特征分析[J]. 气象科学,2023,43(5):662-669

[16] 张君枝,梁雅楠,王冀,等. 1981—2020年北京城市热岛效应时空特征及其影响因素分析[J]. 大气科学学报,2024,47(4):581-591

[17] 柳芬芬,徐涵秋. 耦合卫星热红外与气象数据的广州城市热环境演变研究[J]. 遥感技术与应用,2024,39(6):1500-1511

[18] 李博伦,逯超普,颜晓元. Landsat8陆地成像仪影像的缨帽变换推导[J]. 测绘科学,2016,41(4):102-107

[19] 马榆杰,雷波,杨春华. 基于地理探测器的川中丘陵地区地表温度影响因素研究:以自贡市为例[J]. 环境影响评价,2023,45(6):113-118

[20] 李军,赵彤,朱维,等. 基于Landsat8的重庆主城区城市热岛效应研究[J]. 山地学报,2018,36(3):452-461

[21] Rozenstein O, Qin Z, Derimian Y, et al. Derivation of Land Surface Temperature for Landsat8 TIRS Using a Split Window Algorithm [J]. Sensors,2014,14(4):5768-5780

[22] 朱钟正,苏伟. 基于局部空间统计分析的SPOT5影像分类[J]. 遥感学报,2011,15(5): 957-972

[23] 张晓彬,于渤. 基于皮尔森相关性分析和BP神经网络的北京城市雾霾治理对策[J]. 系统工程,2023,41(2):26-34

[24] 王劲峰,徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报,2017,72(1):116-134