引文格式：莫秋萍,张业金. 广州市热岛效应时空演变特征与影响因素分析[J]. 地理空间信息, 2026, 24(5): 49-53. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.05.0010

广州市热岛效应时空演变特征与影响因素分析

莫秋萍，张业金*
（广东省地图院，广东 广州 510075）

摘　要：为探究广州市主城区热岛效应的时空演变特征及其驱动机制，基于Landsat遥感数据，分析了2004—2024年热岛效应等级的时空变化规律，并结合地理探测器分析了归一化植被指数（NDVI）、归一化差值裸地与建筑用地指数（NDBBI）、人口密度和夜间灯光强度对热岛效应的解释力；进一步利用Pearson相关性分析法分析了NDVI和NDBBI与热岛效应的相关性。结果表明，广州市主城区地表温度在东部地区呈现快速增长趋势，热岛效应高值区主要集中于西南部和东部区域，且夏季热岛现象最显著；NDVI和NDBBI对热岛效应的解释力最强，驱动因子间的交互作用均表现为双因子增强效应；NDBBI与热岛效应呈显著正相关，而NDVI在东部地区与热岛效应呈正相关，在其他区域则表现为负相关。

关键词：城市热岛；Landsat；地理探测器；Pearson相关性
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）05-0049-05

Spatio-temporal Evolution Characteristics of Urban Heat Island Effect and Its Influence Factor Analysis in Guangzhou City, Guangdong Province, China

MO Qiuping, ZHANG Yejin
(Map Institute of Guangdong Province, Guangzhou 510075, China)

Abstract: In order to explore the spatio-temporal evolution characteristics and driving mechanisms of urban heat island effect in the main urban area of Guangzhou City, we analyzed the spatio-temporal changes of urban heat island effect from 2004 to 2024 based on Landsat remote sensing data, and used GeoDetector to analyze the explanatory power of normalized vegetation index (NDVI), normalized difference bare land and built-up land index (NDBBI), population density and nighttime light intensity on the urban heat island effect. Then, we used Pearson correlation analysis method to analyze the correlation between NDVI, NDBBI and the urban heat island effect. The results show that the surface temperature in the main urban area of Guangzhou City shows a rapid growth trend in the eastern region, the high value areas of urban heat island effect are mainly concentrated in the southwest and eastern regions, and the urban heat island phenomenon is most significant in summer. NDVI and NDBBI have the strongest explanatory power for urban heat island effect, and the interaction between the driving factors shows a double-factor enhancement effect. NDBBI is significantly positively correlated with the urban heat island effect, while NDVI is positively correlated with the urban heat island effect in the eastern region and negatively correlated in the other regions.

Key words: urban heat island, Landsat, GeoDetector, Pearson correlation

联合国政府间气候变化专门委员会第6次评估报告指出，全球平均气温自工业化以来已上升约1.1°C，并有可能在未来几十年内持续升高[1]。随着城市化进程的加快，热岛效应现象日益显著[2]，研究城市热岛效应的变化趋势，可为未来环境变化预测和疾病预防提供参考数据。目前城市热岛效应研究多采用气象站点法和遥感影像反演的地表温度数据，相对来说，城市气温更接近人体真实感受，但受站点数量有限和气温数据获取费时费力的影响，较大尺度下空间格局和热岛效应分布特征很难得到全面、准确、同步的反映，而热红外遥感技术则弥补了这方面的不足，通过遥感反演地表温度可得到更大尺度的空间分布和时间演进特征。近年来国内外学者对热岛效应开展了研究[3-10]，但研究主要集中在5年前，且针对广州市城市热岛效应驱动因素分析的文献较少。因此，本文利用Landsat影像反演了2004—2024年广州市主城区的热岛强度，并利用地理探测器和Pearson相关性分析法分析了其影响因素。

1　研究区概况与数据方法

广州市的地理范围为22°26′~23°56′N、112°57′~114°03′E；属亚热带季风气候[11]，具有高温多雨、湿

第一作者简介：莫秋萍（1992—），本科，工程师，主要从事调查监测等工作，E-mail：1614747595@qq.com。
通信作者：张业金（1991—），本科，工程师，主要从事调查监测等工作，E-mail：1348188174@qq.com。

度大的特点；地形以平原和丘陵为主，地势东北高、西南低，南部为珠江冲积平原，北部为九连山余脉；截至2022年，广州市常住人口超过1 800万人，城镇化率高达86.5%，是我国人口密度最高的城市之一。本文选取广州市天河区、越秀区、海珠区作为研究区，总面积为220.53 km^2，可反映广州市城市热岛效应的时空分布特征。

1.1 数据来源

本文采用美国地质勘探局（https://earthexplorer.usgs.gov/）提供的Landsat Collection 2 Level 2的Landsat7/8数据，选取天气晴朗、少云少雾的时间段。具体数据为2004-02-14、2004-08-08、2004-11-28、2009-01-10、2009-05-02、2009-08-22、2009-10-25的Landsat7数据，2013-08-09、2013-11-29、2013-12-31、2019-01-30、2019-08-10、2019-11-14、2024-04-09、2024-08-07、2024-10-10、2024-12-29的Landsat8数据（受雨雾影响，2004年、2013年、2019年春季的影像不采用），影像轨道号为122-44，时间分辨率为8 d，多光谱数据空间分辨率为30 m[12]。对Landsat7影像进行了去条带，对云量较多的影像（2004-08-08、2009-08-22、2013-08-09、2019-08-10、2024-08-07）进行了云掩膜。

本文采用WorldPop(https://hub.worldpop.org/geodata/）提供的人口密度数据，选取2004年、2009年、2013年和2019年的数据进行研究，分辨率为1 000 m，数据类型为Geotiff，时间范围为2000—2020年[13]；采用美国国家地球物理数据中心（https://eogdata.mines.edu/products/dmsp/）提供的DMSP和DVNL数据，DVNL数据将VIIRS辐射度转换为DMSP DN[14]，统一了两种数据辐射度的范围，选取2004年、2009年、2013年和2019年的数据进行研究，空间分辨率为1 000 m，数据类型为Geotiff，DMSP、DVNL数据的时间范围分别为1992—2013年和2013—2019年。

1.2 研究方法

1）地表温度反演方法主要包括大气校正法、单窗算法和劈窗算法[15]。本文采用Landsat Collection 2 Level 2数据，其多光谱数据进行了大气校正，选用Landsat7 B6和Landsat8 B10波段经过校正得到地表温度。

2）热岛效应分级。由于不同时间的地表温度受多种因素影响，因此不同影像间地表温度的数值不具可比性。为更好地分析广州市主城区热岛效应的时空演变特征，本文利用平均值—标准差的方法对地表温度进行分级[16]，具体划分方法见表1。

表1 热岛效应等级划分的阈值范围

热岛强度等级	划分标准
冷岛	Ts <Mean−Std
绿岛	Mean−Std≤ Ts <Mean−0.5Std
正常区域	Mean−0.5Std≤ Ts <Mean+0.5Std
次热岛	Mean+0.5Std≤ Ts <Mean+Std
热岛	Ts ≥Mean+Std

3）遥感参数计算。地表温度可能受到植被、建筑等影响，本文利用归一化植被指数（NDVI）、归一化差值裸地与建筑用地指数（NDBBI）[17]来分析其相关性。

$$\mathrm{NDVI}=\frac{\rho_{\mathrm{NIR}}-\rho_{\mathrm{RED}}}{\rho_{\mathrm{NIR}}+\rho_{\mathrm{RED}}} \tag{1}$$

$$\mathrm{NDBBI}=\frac{1.5\rho_{\mathrm{SWIR2}}-(\rho_{\mathrm{NIR}}+\rho_{\mathrm{GREEN}})/2}{1.5\rho_{\mathrm{SWIR2}}+(\rho_{\mathrm{NIR}}+\rho_{\mathrm{GREEN}})/2} \tag{2}$$

式中，ρ_{NIR}、ρ_{RED}、ρ_{SWIR2}、ρ_{GREEN}分别为近红外、红光、短波红外2和绿光波段的反射率。

4）地理探测器用于分析空间分层异质性，已被广泛应用于生态环境问题的归因分析[18]。本文采用因子探测和交互探测对广州市主城区的NDVI、NDBBI、人口密度、夜间灯光强度4种影响因子进行分析。

5）Pearson相关系数可反映不同变量间的线性相关程度[19]。本文利用Pearson相关系数探究NDVI、NDBBI、人口密度、夜间灯光强度与地表温度的相关性。

$$r=\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i-\bar{X})(Y_i-\bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_i-\bar{X})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Y_i-\bar{Y})^2}} \tag{3}$$

式中，$\bar{X}$、$\bar{Y}$为特征变量均值；$r>0$表示正相关，$r<0$表示负相关，r的绝对值越大，表示两个变量之间的相关性越大。

6）Theil-Sen Median斜率分析。Sen's斜率估计是一种非参数的趋势分析方法，可有效衡量广州市主城区近20年的地表温度变化趋势，无需对数据进行正态分布假设或线性模型拟合[20]。

$$\mathrm{Slope}=\mathrm{Median}\left(\frac{x_i-x_j}{i-j}\right),\ \forall i>j \tag{4}$$

式中，Median为中位数。

2 研究结果与分析

2.1 城市热岛效应强度分析

1）年际变化分析。2004年、2009年、2013年、

2019年、2024年广州市主城区热岛效应等级见图1，可以看出，2004—2024年广州市主城区热岛效应呈递增趋势，特别是在西南部和东部地区，热岛面积逐渐扩大，冷岛与绿岛面积减少，这与城市化进程、产业布局调整、人口增长和气候变化密切相关。2004—2009年正常区域和中部热岛面积减少，东部热岛面积增加，该阶段处于城市化初期，东部地区的工业化和基础设施建设加快，建筑用地增加、绿地减少，导致局部温度增加；在国家经济发展政策的支持下，2009—2013年广州市城镇化速度进一步加快，导致冷岛与绿岛面积明显减少，东部热岛向北转移，其原因在于部分传统工业向东部和外围迁移，且北部新建了高速公路、轨道交通，促使热岛向北扩展；2013—2019年正常区域减少，热岛和冷岛面积增加，其中热岛更集中，西南部热岛呈连片分布，珠江的冷岛和绿岛面积增加，这是由于西南部产业升级，低端制造业向周边城市转移，政府推动生态环境建设，部分河流沿岸的绿地、公园等面积增加，缓解了市中心的热岛问题；2019—2024年热岛面积持续扩大，绿岛和冷岛面积减少，城市核心区域不断扩张，大量农用地、林地被开发为住宅区、工业用地，基础设施逐渐完善，不透水面面积逐步增加，城市热问题日益突出。

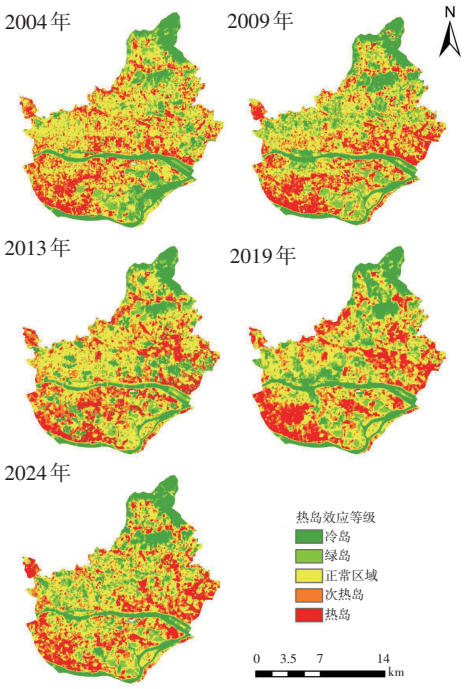


图1　广州市主城区2004—2024年热岛效应等级图

审图号：GS(2024)0650

广州市主城区2004—2024年热岛效应的Sen's斜率分析见图2，可以看出，广州市主城区中部地区城市热岛效应呈下降趋势，东部呈上升趋势，北部、南部和西部基本不变。总体来看，热岛效应强度从中部逐渐向东部过渡，主要是因为广州市主城区产业结构发生变化或政策主导大力发展城区东部，导致东部城镇化速度加快，建筑物密集，热岛强度加重。因此，建议在东部加强绿化、优化建筑布局，以缓解热岛效应的上升趋势。

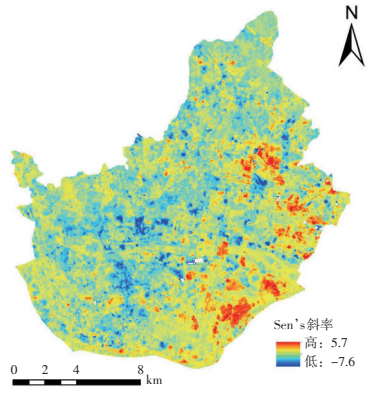


图2　广州市主城区2004—2024年热岛效应Sen's斜率分析

审图号：GS(2024)0650

2）季节变化分析。广州市主城区2004—2024年不同季节的热岛效应等级面积见表2，可以看出，夏季热岛面积最大，秋季次之，春季最小；从次热岛和热岛面积总和来看，夏季最大（86.49 km²），春季次之（85.85 km²），冬季最小（79.42 km²）；从正常区域面积来看，夏季最小，冬季最大，说明广州市主城区夏季的热岛效应最强，冬季最弱；从冷岛和绿岛面积和来看，夏季最大（76.99 km²），秋季次之（70.67 km²），春季最小（67.89 km²），表明夏季虽然热岛效应显著，但也存在较大面积的冷岛和绿岛区域，这些区域可能对城市热环境起到一定的缓解作用。其原因可能是，夏季太阳辐射最强，气温最高，不透水面吸收大量的热量后难以散发；而冬季太阳辐射弱，气温较低，大气扩散条件好，热量可以更快地散发。

表2　广州市主城区2004—2024年不同季节的热岛效应等级面积/km²

季节	冷岛	绿岛	正常区域	次热岛	热岛
春季	42.44	25.45	108.13	53.54	32.31
夏季	46.85	30.14	98.47	46.91	39.58
秋季	44.90	25.77	107.67	46.57	37.07
冬季	38.59	31.88	112.06	44.43	34.99

广州市主城区2004—2024年不同季节热岛效应等级见图3，可以看出，广州市主城区热岛效应呈连片

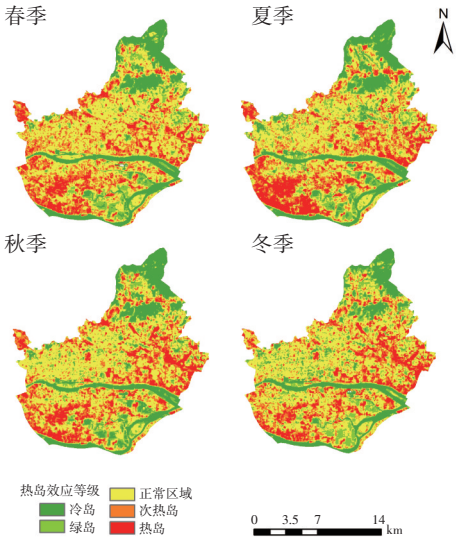


图3　广州市主城区2004—2024年不同季节热岛效应等级图

审图号：GS(2024)0650

分布趋势，主要集中在西南部和东部地区，西南部热岛效应强度夏季最强、冬季最弱。其原因可能是，这些区域集中了大量的高能耗建筑和工业设施，且缺乏足够的绿地和水体，导致散热慢，热岛效应出现明显的季节差异。

2.2　城市热岛效应影响因素分析

1）地理探测器分析。广州市主城区2004年、2009年、2013年、2019年和年均值NDVI、NDBI、人口密度、夜间灯光强度的地理探测器结果见图4，可以看出，从2004年、2009年、2019年和年均值来看，NDVI与NDBBI的双因子交互作用对热岛效应空间分异状况的解释力最强，q值分别为0.552、0.528、0.434和0.322；2013年NDBBI与夜间灯光强度的双因子交互作用对热岛效应的解释力最强，q值为0.501；2004年、2009年夜间灯光强度单一因子的影响对热岛强度的解释力最弱，q值分别为0.082和0.089，2013年、2019年和年均值的人口密度单一因子的影响对热岛强度的解释力最弱，q值分别为0.029、0.067和0.049，NDVI和NDBBI单一因子对热岛效应的解释力远大于人口密度和夜间灯光强度单一因子的解释力。由交互探测结果可知，双因子交互作用对热岛效应空间分异状况的解释力最强，说明广州市主城区热岛效应的空间分布是具有空间异质性的各因子两两交互作用的结果。

2）Pearson相关性分析。2004—2024年广州市主城区NDVI和NDBBI与热岛效应的Pearson相关性见图5，可以看出，广州市主城区北部和西部地区NDVI与城市热岛呈负相关，植被越茂密，热岛效应越弱；而在东南部地区NDVI与城市热岛呈正相关，该地区绿化以人工植被或小型绿地为主，不能降低温度，加之周边有大型密集的建筑物，NDVI与NDBBI的交互作用呈正相关，NDBBI与城市热岛呈正相关，建筑物越密集热岛效应越强。因此，建议在东南部地区优化绿化策略，提高植被的降温效能，推行节能减排措施，推广绿色建筑，提高建筑材料的反射率以降低热积累。

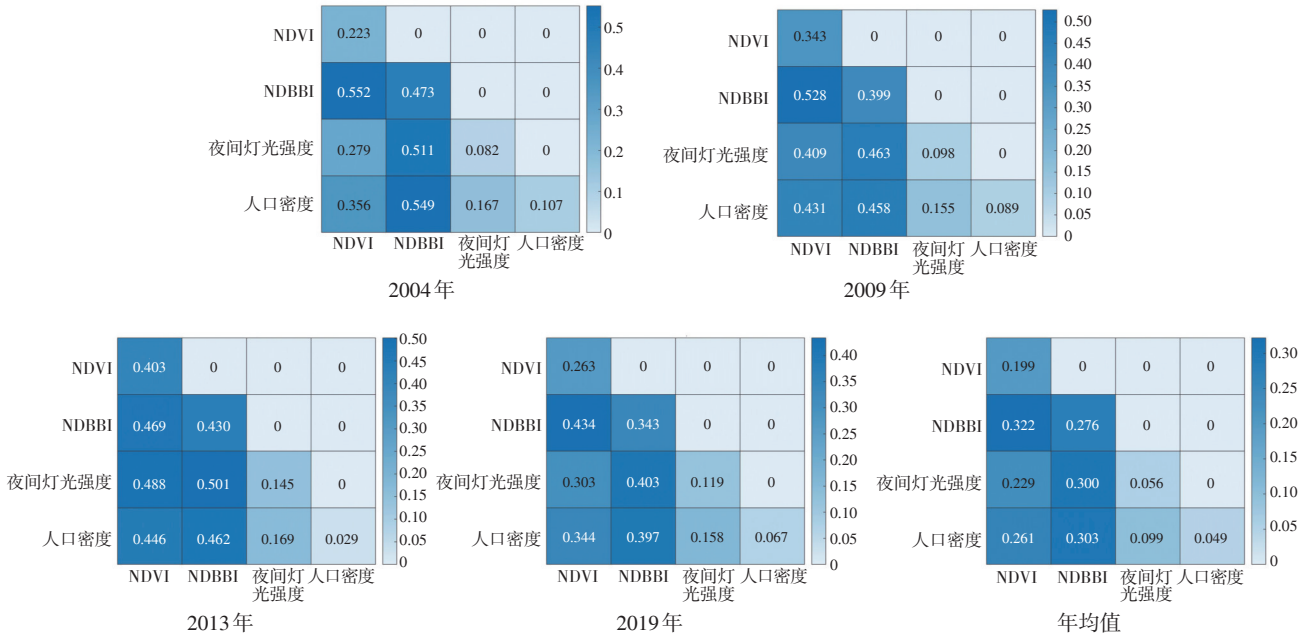


图4　广州市主城区2004年、2009年、2013年、2019年4个影响因子的地理探测器结果

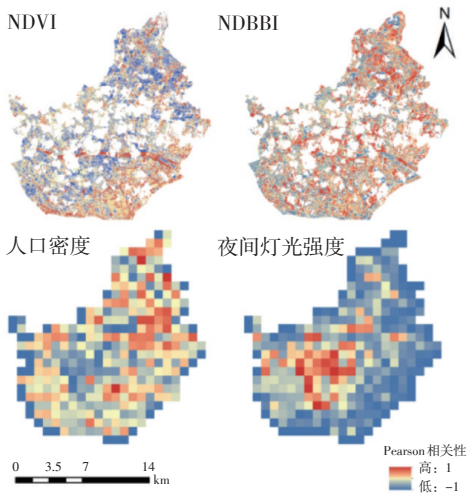


图5　广州市主城区NDVI和NDBBI与热岛效应的Pearson相关性分析

审图号：GS(2024)0650

3　结　论

本文以广州市主城区为研究区域，基于Landsat影像反演地表温度，得到热岛效应等级分析了2004—2024年的时空演变特征，利用地理探测器分析了NDVI、NDBBI、人口密度和夜间灯光强度对城市热岛效应的解释力，进一步利用Pearson相关性分析法分析了NDVI和NDBBI与热岛效应的关系。

1）广州市主城区的热岛效应在东部地区呈现快速增强的态势，热岛面积逐渐扩大，且2019年的热岛区域呈现连片聚集的状态。

2）夏季城市热岛效应范围最广，特别是在广州市主城区的西南部最为集中，冬季热岛效应强度最弱。

3）地理探测器分析结果表明，NDVI和NDBBI对城市热岛的解释力最强，而人口密度和夜间灯光强度对城市热岛的解释力不明显。4种影响因子交互作用的解释力均大于各单一因子，均为双因子增强。

4）由Pearson相关性分析可知，在广州市主城区的北部与西部，NDVI与城市热岛呈负相关，在东南部呈正相关；而NDBBI与热岛强度呈正相关，建筑物越密集，热岛效应越强。

参考文献

[1] IPCC. Summary for Policymakers [C]//Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press,2021

[2] 杨浩,王旭峰,张松林,等. 甘肃省城市热岛效应变化特征及其对城市扩张的响应[J]. 遥感技术与应用,2025,40(1):110-121

[3] 石佳璐,常月明. 大同市主城区热岛效应及土地利用时空变化分析[J]. 中国煤炭地质,2023,35(9):59-65

[4] 郑梦丹. 西安主城区城市绿地与热岛的时空演变格局及相关性分析[D]. 咸阳:西北农林科技大学,2024

[5] 郭润琳,郭继发,陈鹏飞. 基于Landsat8影像的天津市城市热岛效应时空变化及驱动力分析[J]. 天津理工大学学报,2023,39(6):61-69

[6] 王海波. 基于GEE平台的城市热岛时空特征和影响因子分析:以中国大陆沿海区域为例[D]. 厦门:厦门理工学院,2023

[7] 朱菲,苏涛,王建,等. 基于地表参数变化的南京市热岛效应时空演变特征分析[J]. 遥感信息,2022,37(4):106-113

[8] 高广旭,武永斌,冯志立. 基于遥感云平台的郑州市热岛效应时空演变分析[J]. 测绘与空间地理信息,2024,47(3):106-109

[9] 付学成. 基于足迹分析的京津冀城市群热岛效应的时空特征及驱动因素分析[D]. 济南:山东师范大学,2023

[10] 胡楠林,任志彬,董禹麟,等. 中国城市群热岛效应时空演变及其影响因素分析[J]. 地理科学,2022,42(9):1534-1545

[11] 梁雅捷. 广州市主城区地表热环境演变特征及街区蓝绿空间优化策略研究[D]. 广州:华南理工大学,2023

[12] 谷新茹,杨可明,张程,等. 1987—2023年闸河矿区植被覆盖度时空演化及驱动因子探究[J]. 环境科学,2025,46(12):7841-7852

[13] 江雪梨,熊永良,郭红梅,等. 改进随机森林模型在人口空间化中的应用[J]. 测绘通报,2023(6):155-160

[14] Nechaev D,Zhizhin M,Poyda A ,et al. Cross-sensor Night-time Lights Image Calibration for DMSP/OLS and SNPP/VIIRS with Residual U-Net[J]. Remote Sensing,2021,13:5026

[15] 温亚飞,刘宇,王光辉,等. Landsat 9数据的地表温度反演算法优化[J]. 测绘通报,2023(7):74-79

[16] 黄秋淞,何浩. 基于分裂窗算法的乌鲁木齐市热岛效应分析[J]. 测绘与空间地理信息,2024,47(12):66-69

[17] 左青. 常德市热岛效应时空演变特征与气候适应型城市建设研究[D]. 长沙:湖南师范大学,2020

[18] 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

[19] 温颖,高美玲,王彬,等. 陕西省夏季内陆水体演变及其对高温的响应[J]. 地球信息科学学报,2025,27(3):732-749

[20] 陈冰锋. 基于多源遥感数据融合的山丘区干旱监测研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2024