

引用格式:Guo Junyu, Dai Liyun, Liang Ji, *et al.* Typical Land Cover Impacts on Land Surface Temperature of Changsha Metropolitan Area[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2021, 36(5): 1209-1222. [郭俊钰, 戴礼云, 梁继, 等. 典型地表对长沙主城区地表温度的影响分析[J]. 遥感技术与应用, 2021, 36(5): 1209-1222.]  
DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2021.5.1209

## 典型地表对长沙主城区地表温度的影响分析

郭俊钰<sup>1,2,3</sup>, 戴礼云<sup>2</sup>, 梁继<sup>1,3</sup>, 王琮<sup>1,3</sup>

(1. 湖南科技大学地理空间信息技术国家地方联合工程实验室, 湖南 湘潭 411201;  
2. 中国科学院西北生态环境资源研究院 遥感与地理信息科学研究所, 甘肃 兰州 730000;  
3. 湖南科技大学资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201)

**摘要:**城市热岛是一种城市地区温度比郊区温度高的现象, 它可改变城市的自然和社会过程, 引发一系列环境问题。利用 Landsat 8 TIRS10 波段的单通道算法(TIRS10\_SC 算法)反演了长沙主城区 2013 年 7 月、2016 年 3 月、7 月和 11 月 4 景 Landsat 8 影像的地表温度, 并进一步分析了地表温度的时空分布特征, 建设用地、绿地、河流以及不同材质的屋顶等典型地表对主城区地表温度的影响。结果表明:①长沙火车站沿线、高桥大市场和部分工厂在各个时期均为高温区。2016 年 7 月浏阳河周边区域热岛效应相对于 2013 年 7 月有所缓解, 主要由天气情况的不同以及拆迁改变地表覆盖性质等造成。3 月建设用地中比率最大的为中温, 7 月建设用地中比率最大的为次高温。3 月和 7 月, 绿地中比率最大的为次低温, 水体中比率最大的为低温。而 11 月, 建设用地和绿地中比率最大的为中温, 水体中比率最大的为次高温。②河流周边 120 m 范围内, 由陆地向河流每减少 30 m, 7 月建设用地平均温度减少 0.93~1.26 °C, 绿地平均温度减少 0.57~0.99 °C; 3 月建设用地平均温度减少 0.51~0.78 °C, 绿地平均温度减少 0.3~0.57 °C。河流的降温强度与河水温度和距离河流 120 m 以上的地表温度的差值大小有关。③负的 MNDWI(非水体)与地表温度呈正相关关系, 正的 MNDWI(水体区域)与地表温度 3 月和 7 月呈负相关关系, 11 月呈正相关关系。④地表比辐射率对地表温度反演的结果影响显著, 利用 NDVI 估算地表比辐射率难以区分高反射率的屋顶与其他类型的建设用地。因此, 针对高反射率屋顶对地表比辐射率的影响有待进一步研究, 以提高城区地表温度的反演精度, 为减缓城市热岛效应提供参考依据。

**关键词:**地表温度; 河流; MNDWI; 地表比辐射率

**中图分类号:** X16; TP79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2021)05-1209-14

### 1 引言

随着人类工业化的发展, 人口往城市集中, 城市化进程加快, 水泥和沥青路面、钢筋混凝土建筑替代了原来自然覆盖的地表, 工业生产、生活燃煤以及汽车尾气等人为热能的增加, 最终导致了城市地区的温度上升<sup>[1-2]</sup>。城市地区的温度比郊区的温

度高, 并且以城市中心的温度最高, 呈同心圆状向四周递减, 因形状酷似小岛, 所以称这种现象为“城市热岛”<sup>[3]</sup>。城市热岛改变了城市地区的气候状况、水文、城市能量物质流动、居住环境等自然和社会过程, 从而引发了一系列的环境问题<sup>[4]</sup>。

在城市热岛的观测方法上, 目前主要有气象站法、定点观测法、运动样带法、模拟预测法和遥感观

收稿日期: 2020-04-15; 修订日期: 2021-06-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(41671351、41771389), 国家级大学生创新创业训练计划项目(201810534001), 湖南省教育厅重点项目(19A166), 湖南科技大学科技创新“卓越学子”培育计划项目(EY180104), 湖南科技大学科研创新团队建设项目(CXTD004)。

作者简介: 郭俊钰(1995—), 男, 江西赣州人, 硕士研究生, 主要从事城市热环境遥感研究。E-mail: jyguo12@163.com

通讯作者: 梁继(1976—), 女, 湖南岳阳人, 博士, 副教授, 主要从事冰冻圈遥感、辐射传输理论与数值计算模型研究。E-mail: leung@lzb.ac.cn

测法等<sup>[5]</sup>。随着遥感技术的快速发展,热红外遥感数据广泛应用到城市热岛效应的研究中<sup>[6-8]</sup>。与传统观测方法相比,遥感观测法可以实时、快速获取城市地区温度的空间分布特征,弥补了传统观测方法的不足<sup>[9]</sup>。

目前,国内外学者利用遥感影像对城市热岛效应进行了大量的研究。研究表明,城市地表覆盖直接影响地表温度和城市热岛强度,建设用地是造成城市升温的主要原因,水体和绿地对热岛效应有缓解作用<sup>[10-15]</sup>。此外,城市建设用地、水体和植被的斑块面积、形状以及聚集度对地表温度具有显著影响<sup>[16-17]</sup>。周毅等<sup>[18-22]</sup>对春季和夏季的MNDWI指数与地表温度进行线性相关分析,结果表明MNDWI与地表温度呈负相关关系。李东海等<sup>[23-28]</sup>对河流的热缓解作用进行了分析,发现河流越宽,植被比例越低,降温越明显,河流降温范围在150~400 m不等。林中立等<sup>[17,29-30]</sup>对哈尔滨、南京、杭州、福州和广州的城市热岛状况进行了研究,结果表明研究初期高温区主要在老城区,随着城市的扩张,新城区形成高温区,老城区热岛现象有一定缓解。熊鹰等<sup>[31-34]</sup>对长沙市的热岛效应时空分布及影响因素进行了研究。曾素平等<sup>[28]</sup>指出2016年7月湘江对长沙市热岛效应的平均缓冲距离为400 m,湘江对热岛效应的缓冲能力与河流周边土地利用类型有关。以上针对长沙热岛效应的研究中,更多的是从大区域的变化进行研究分析,对小区域地表温度的变化归因关注较少;对河流热缓解效应分析中注重湘江对周边地区的缓冲距离,缺乏对长沙主城区多条河流不同时间缓冲强度的对比分析。

日最高气温达到35℃以上的称为高温天气。2011~2019年全国省会城市累计高温天数中(见图1,数据来源:<https://lishi.tianqi.com>),长沙以9 a累计357 d的高温天数位居第三。通过分析城市热岛效应,可以为长沙市的未来城区规划提供建议,以通过合理的城市规划降低城市热岛效应,为长株潭两型社会建设提供支持。因此研究长沙市主城区的热环境状况具有重要意义。

## 2 研究区域与数据来源

### 2.1 研究区域

长沙是湖南省省会,全国“两型社会”综合配套改革试验区。长沙位于湖南省东部偏北,湘江下游和长浏盆地西缘,地域范围为27°53′~28°41′N,

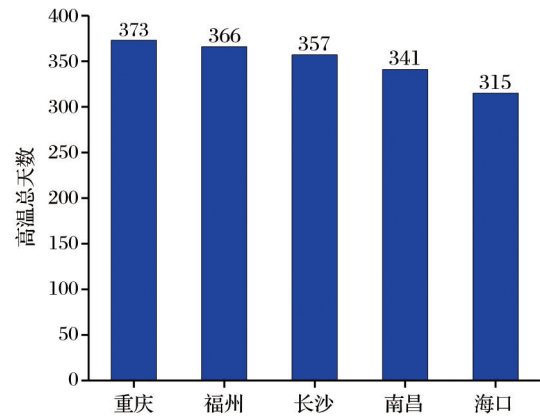


图1 2011~2019年全国省会城市累计高温天数排名前五  
Fig.1 Top 5 provincial capital cities in China for cumulative high temperature days from 2011 to 2019

111°53′~114°15′ E。长沙城区为多级阶地组成的坡度较缓的平岗地带,地势南高北低,湘江由南向北流经中部,贯穿市区,江中的橘子洲长5 km。湘江两岸形成地势低平的冲积平原,其东西侧及东南面为地势较高的低山、丘陵。长沙属亚热带季风气候,春季温度变化大,夏初雨水较多,伏秋高温时间长,冬季严寒少。四季分明,夏冬季长,春秋季短<sup>[35]</sup>。

选取长沙市主城区为研究区域(如图2),包括开福区、岳麓区、芙蓉区、天心区和雨花区等,以一景Landsat 8卫星影像实际覆盖范围为准,所以天心区南部部分区域不在研究范围内。

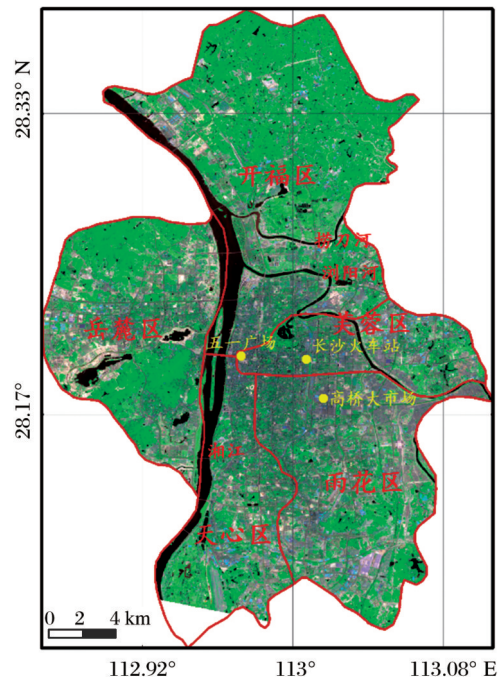


图2 长沙主城区研究范围图

Fig.2 Research region of Changsha main urban area

## 2.2 数据来源

Landsat 8 遥感影像从美国地质调查局官方网站 (<https://earthexplorer.usgs.gov>) 获取,行列号为 123040。由于长沙地区云雨较多,且 Landsat 8 卫星影像 16 d 的重返周期,导致可用影像较少。实验选用其中云量较少质量较好的 4 景影像,日期分别为:2013 年 7 月 31 日、2016 年 3 月 1 日、7 月 23 日和 11 月 28 日。

数据来源为美国国家环境资讯中心(NCEI, NOAA's National Centers for Environmental Information)网站的长沙气象站(代码为 57687)是研究区附近的唯一逐小时气象站点,该站点的气温数据主要用于 TIRS10\_SC 算法<sup>[36]</sup>并计算大气平均作用温度。遥感影像获取时间约为上午 10:56~10:57 分,接近于上午 11:00。采用的 11 时气温数据如表 1 所示。

表 1 长沙气象站观测数据

Table 1 Changsha meteorological station observation data

日期	11 时气温	日期	11 时气温
2013-07-31	35.6℃	2016-07-23	32.8℃
2016-03-01	16.1℃	2016-11-28	12.7℃

## 3 研究方法

### 3.1 地表温度反演算法

胡德勇<sup>[36]</sup>根据 Landsat 8 TIRS10 接收到的辐射能量方程和黑体辐射理论推导出了反演地表温度的计算公式(1):

$$T_s = \left[ K_2(A+B)T_{10} + (1-A-B)T_{10}^2 - BK_2T_a \right] / AK_2 \quad (1)$$

其中:  $A = \tau_{10}\varepsilon_{10}$ ;  $B = (1-\tau_{10})[1 + (1-\varepsilon_{10})\tau_{10}]$ ;  $\tau_{10}$  为大气透过率;  $\varepsilon_{10}$  为地表比辐射率;  $T_{10}$  为 TIRS10 传感器处的亮度温度(K);  $T_a$  为大气平均作用温度(K);  $K_2$  为常数 1 321.08(K)。

#### 3.1.1 亮温反演

Landsat 8 TIRS10 波段可以由公式(2)转换为亮度温度  $T_{10}$ <sup>[36]</sup>:

$$T_{10} = K_2 / \ln \left( \frac{K_1}{L_{10}} + 1 \right) \quad (2)$$

其中:  $L_{10}$  为大气上界太阳辐射亮度 ( $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ ),  $K_1$  和  $K_2$  为热红外波段的定标常数,对于 TIRS10 波段,  $K_1 = 774.89 (W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m))$ 。

#### 3.1.2 大气透过率的遥感反演

大气透过率可以通过水汽含量估算得到<sup>[37]</sup>,其

计算公式如表 2 所示。

表 2 Landsat 8 大气透过率与水汽含量的关系

Table 2 Estimation of atmospheric transmittance for the

Landsat 8		
大气模式	水汽含量	大气透过率估算公式
	0.2~2.0	$\tau_{10} = 0.7029 - 0.0620w$
中纬度夏季大气	2.0~5.6	$\tau_{10} = 0.9220 - 0.0780w$
	5.6~6.8	$\tau_{10} = 0.5422 - 0.0735w$
中纬度冬季大气	0.2~1.4	$\tau_{10} = 0.9228 - 0.0735w$

表中  $\tau_{10}$  为大气透过率,  $w$  为水汽含量 ( $g \cdot cm^{-2}$ ), 水汽含量可以通过 FLAASH 大气校正工具获得。

#### 3.1.3 地表比辐射率的估算

为了提高地表温度遥感反演的精度,使用覃志豪针对不同地表类型计算地表比辐射率的方法<sup>[38]</sup>:

(1) 水体像元地表比辐射率: 0.995

(2) 自然表面像元比辐射率:

$$\varepsilon_{surface} = 0.9625 + 0.0614P_v - 0.0461P_v^2 \quad (3)$$

(3) 城镇区像元比辐射率:

$$\varepsilon_{building} = 0.9589 + 0.086P_v - 0.0671P_v^2 \quad (4)$$

式(3)和(4)中,  $P_v$  是植被覆盖度,可用 NDVI 进行计算<sup>[39]</sup>:

$$P_v = \left[ \frac{(NDVI - NDVI_{soil})}{(NDVI_{veg} - NDVI_{soil})} \right]^2 \quad (5)$$

NDVI 为归一化植被指数;  $NDVI_{soil}$  为完全被裸土或无植被覆盖区域的 NDVI 值,  $NDVI_{veg}$  则代表完全被植被所覆盖的像元的 NDVI 值,即纯像元植被的 NDVI 值。取经验值  $NDVI_{veg} = 0.5$  和  $NDVI_{soil} = 0.2$ , 即当某个像元的 NDVI 大于 0.5 时,  $P_v$  取值为 1, 当某个像元的 NDVI 小于 0.2 时,  $P_v$  取值为 0。

#### 3.1.4 大气平均作用温度的估算

两种标准大气的大气平均作用温度  $T_a$  的估算方法如表 3 所示<sup>[38]</sup>。  $T_0$  为近地表温度,实验采用长沙站的气温数据代替  $T_0$ 。

表 3 大气平均作用温度估算方法

Table 3 Estimation of atmospheric mean operating

temperature	
大气模式	大气平均作用温度估算方程
中纬度夏季	$T_a = 16.0110 + 0.92621T_0$
中纬度冬季	$T_a = 19.2704 + 0.91118T_0$

## 3.2 地表覆盖分类

研究采用监督分类中的支持向量机方法对长沙市主城区 4 景 Landsat 8 影像分别进行地表覆盖



类型的提取。支持向量机是建立在统计学习理论的基础上,自动寻找对类别有较大区分能力的支持向量,由此构造出分类器,将类与类之间的间隔最大化的机器学习方法<sup>[40]</sup>。根据不同的地表性质,对长沙市主城区的地表覆盖类型划分为建设用地、裸地、绿地和水体。其中,建设用地是指城乡公共设施、工业区、住宅区、道路等硬化的人造建筑物,裸地是指未利用和裸露的土地,绿地是指乔木、灌木、草地、耕地的覆盖区域,水体是指水域覆盖的区域,主要包括河流、湖泊、湿地和水池等<sup>[41]</sup>。

### 3.3 热岛强度分级

为对不同季节的地表温度进行分析,消除季节、气温的影响,对地表温度进行正规化处理,使得地表温度值得范围在 0~1 之间,如公式(6)所示<sup>[42]</sup>。

$$T_{ni} = \frac{T_{si} - T_{s\min}}{T_{s\max} - T_{s\min}} \tag{6}$$

其中: $T_{ni}$ 表示第*i*个像元正规化后的值; $T_{si}$ 表示第*i*个像元实际的地表温度; $T_{s\max}$ 和 $T_{s\min}$ 分别表示研究区域地表温度的最大值和最小值。

对于正规化后的地表温度采用均值一标准差的方法将地表温度划分为低温、次低温、中温、次高温和高温 5 个热岛强度等级。划分标准如表 4 所示<sup>[42]</sup>。

表 4 热岛强度等级划分标准

Table 4 The classification criteria of urban heat island intensity	
热岛强度等级	温度范围
低温	$T_{ni} < T_{\text{mean}} - 1.5S$
次低温	$T_{\text{mean}} - 1.5S \leq T_{ni} < T_{\text{mean}} - 0.5S$
中温	$T_{\text{mean}} - 0.5S \leq T_{ni} < T_{\text{mean}} + 0.5S$
次高温	$T_{\text{mean}} + 0.5S \leq T_{ni} < T_{\text{mean}} + 1.5S$
高温	$T_{ni} > T_{\text{mean}} + 1.5S$

表 4 中, $T_{ni}$ 表示第*i*个像元正规化后的值, $T_{\text{mean}}$ 表示研究区域地表温度的平均值, $S$ 为标准差。

### 3.4 遥感指数

#### 3.4.1 MNDWI 指数

徐涵秋在 NDWI 的基础上对构成该指数的波段组合进行了修改,得到了在城镇范围内提取水体效果更好的 MNDWI 指数,其表达式为公式(7)<sup>[43]</sup>:

$$\text{MNDWI} = \frac{\text{Green} - \text{MIR}}{\text{Green} + \text{MIR}} \tag{7}$$

#### 3.4.2 随机样点的选取

由于分类精度存在差异,随机点选取中,辅助 Google Earth 高清卫星影像,利用 ArcGIS 随机选取

了 272 个样点,通过提取分析获得每个随机样点 LST 图像和 MNDWI 图像的值,以此分析每个时期的 LST 与 MNDWI 的相关性。随机点的地表覆盖类型统计如表 5 所示,随机样点的分布图如图 3 所示。

表 5 随机点地表覆盖类型统计表

Table 5 Statistical table of random point land cover types	水体	绿地	裸地	建设用地
2013-07-31	38	80	11	143
2016-03-01	38	73	9	152
2016-07-23	38	74	8	152
2016-11-28	38	69	8	157



图 3 随机点分布图

Fig.3 Distribution of random points

## 4 结果与分析

### 4.1 反演结果

#### 4.1.1 热岛强度分级与地表分类结果

根据支持向量机分类器的地表覆盖分类精度评价如表 6 所示。从表 6 中可以看出,地表覆盖分类 Kappa 系数差异较大,主要是由于 Landsat 8 影像空间分辨率为 30 m,而城市中各类地表类型交错分

表 6 地表覆盖分类精度评价结果

Table 6 Evaluation results of classification accuracy of land cover		
日期	总体分类精度/%	Kappa 系数
2013-07-31	91.3573	0.8648
2016-03-01	95.6912	0.9342
2016-07-23	94.8485	0.9212
2016-11-28	93.9205	0.9067

布,特别是绿地与建设用地,并且绿地在夏季与冬季叶面绿度不一,造成绿地和建设用地类型的面积变化大。此外,ROI感兴趣区的选取对评价精度有一

定的影响。

地表覆盖分类结果如图4所示,根据公式(6)得到的热岛强度等级结果如图5所示。

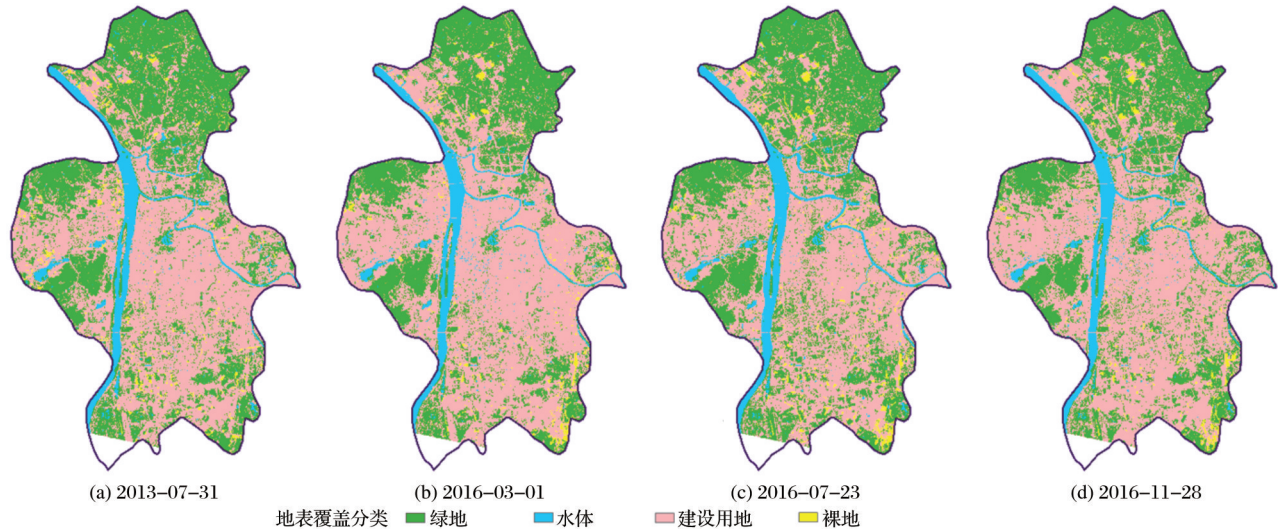


图4 地表覆盖分类结果

Fig.4 Classification results of land cover

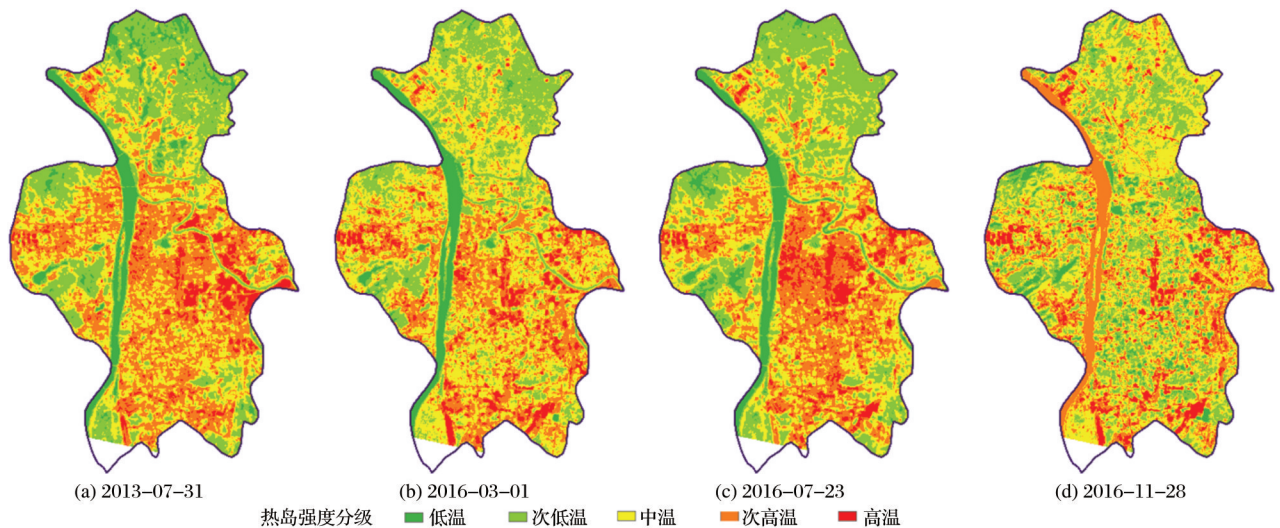


图5 热岛等级划分结果

Fig.5 Division results of Urban heat island grading

#### 4.1.2 水体特征提取和建立缓冲区

依据地表覆盖分类的结果,利用 ArcGIS 提取水体部分并将其矢量化,得到湘江、捞刀河、浏阳河各个时期的范围。以河流边界为起点向陆地做缓冲区,30 m 为间隔生成 15 级缓冲区。利用河流和缓冲区的矢量数据,提取河流的平均温度和宽度,每一级缓冲区(30 m 范围)内建设用地的平均温度、绿地的平均温度、建设用地比例(每一级缓冲区内建设用地面积占总面积的比例)。河流平均温度与宽度如表7所示。

#### 4.2 地表温度时空分布状况分析

从时间轴上比较(如图6),2016年11月28日属于冬季,整个区域地表温度偏低,2016年3月的春季次之。2016年7月23日与2013年7月31日同属夏季,日期接近,地表温度直方图统计曲线形状一致,但2016年7月23日地表温度整体偏低,其原因如表8所示,2016年7月23日及前几日的观测气温比2013年7月31日整体偏低。

从图5中可以看出,7月份热岛效应显著,3月份热岛效应较7月份有所减弱,11月份城市中心冷

表 7 河流平均温度与宽度统计表

Table 7 Statistical table of river temperature and width

日期	河流	河流温度/℃	河流宽度/m
2013-07-31	湘江	27.71	896
	浏阳河	30.77	132
	捞刀河	30.67	121
2016-03-01	湘江	15.38	892
	浏阳河	18.30	124
	捞刀河	17.84	120
2016-07-23	湘江	26.87	988
	浏阳河	28.46	179
	捞刀河	29.03	167
2016-11-28	湘江	16.59	898
	浏阳河	15.84	131
	捞刀河	15.28	120

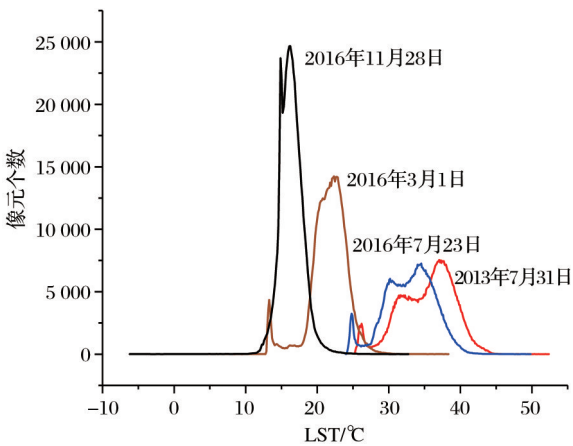


图 6 地表温度直方图统计曲线

Fig.6 Histogram Statistics of Land Surface Temperature

表 8 历史日期的气温统计(单位:℃)

Table 8 Temperature Statistics on Historical Dates

历史日期	最高温	最低温	历史日期	最高温	最低温
20130729	37	29	20160228	22	8
20130730	38	29	20160229	19	7
20130731	39	30	20160301	21	10
20160721	35	28	20161126	10	3
20160722	36	29	20161127	14	4
20160723	37	29	20161128	15	5

岛效应较为明显。长沙火车站沿线、高桥大市场和部分工厂在各个时期均为高温区。2013 年与 2016 年对比,2016 年高温区呈现增加趋势,2013 年 7 月高温区面积为 27.01 km<sup>2</sup>,2016 年 3 月为 30.30 km<sup>2</sup>,2016 年 7 月为 33.42 km<sup>2</sup>,2016 年 11 月为 31.30 km<sup>2</sup>。虽然 2016 年 11 月气温较低,但是高温区面积仍然较大。

2013 年 7 月和 2016 年 7 月相比,2013 年 7 月浏

阳河沿岸高温区比较集中,而 2016 年 7 月浏阳河沿岸高温区面积大量减少,五一广场周边高温区增加。根据历史天气数据可知,从 2013 年 6 月 30 日至 7 月 31 日,除 7 月 7 日日最高温为 34℃,其他时间日最高气温均大于 35℃,天气多为晴或多云,仅 7 月 14 日至 15 日有雨。从 2016 年 6 月 24 日到 7 月 20 日,长沙天气大多为多云或下雨,雨天占 17 d,仅 7 月 8 日至 9 日为晴天。此外,根据 Google Earth 历史高清卫星影像,在 2013 年至 2016 年期间大部分自建房拆除,2013 年浏阳河周边区域大部分为黑色屋顶的自建房,而 2016 年 7 月拆除的自建房仅保留了反射率较高的水泥地面和部分残留的建筑垃圾。综合以上天气以及地表覆盖性质改变的影响,2016 年 7 月浏阳河沿岸热岛效应相对于 2013 年 7 月有所缓解。

通过表 9 可以看出,各类地表覆盖在不同月份地表热岛等级的分布状况有所改变。3 月建设用地中比率最大的为中温,占 52.94%,7 月建设用地中比率最大的为次高温,2013 年 7 月占 52.94%,2016 年 7 月占 46.12%。3 月和 7 月,绿地中比率最大的为次低温,2013 年 7 月占 56.18%,2016 年 3 月占 53.41%,2016 年 7 月占 58.31%。3 月和 7 月,水体中比率最大的为低温,2013 年 7 月占 65.13%,2016 年 3 月占 69.64%,2016 年 7 月占 64.10%。而 11 月,建设用地中比率最大的为中温,占 40.78%,绿地中比率最大的为中温,占 50.46%,水体中比率最大的次高温,占 67.82%。

4.3 河流热缓解效应分析

根据各个时期建设用地平均温度和绿地平均温度(如图 7)可以看出,在 3 月和 7 月河流对 120 m 范围内的降温作用明显,以河边为起点向陆地缓冲 120 m 范围内,地表温度随距离的增加而迅速增加,但是距离河流 120 m 以上,温度趋于平稳。而在 11 月河流对周边区域降温作用不明显,虽然建设用地平均温度与绿地平均温度曲线起伏较大,但是河流周边温度变化不大。湘江、浏阳河和捞刀河缓冲区内建设用地最高温与最低温的差值分别为 0.83℃、0.52℃和 0.55℃。距离河流 30 m 范围内温度相对较高,主要是因为影像分辨率较低,仍然存在大量混合像元,分类结果中建设用地像元中仍然存在部分水体。

利用建设用地平均温度( $y_1$ )与绿地平均温度( $y_2$ )与河流缓冲距离( $x$ )进行线性拟合分析,所得结果如表 10 所示。河流周边 120 m 范围内,在 2013 年



表 9 热岛强度分级在各类土地覆盖的面积占比统计表(单位:%)

Table 9 The proportion of urban heat island grading in various land cover area(Unit:%)

热岛分级	2013-07-31				2016-03-01			
	建设用地	绿地	水体	裸地	建设用地	绿地	水体	裸地
低温	0.06	6.87	65.13	1.85	0.41	1.59	69.64	1.24
次低温	4.08	56.18	30.45	3.58	6.56	53.41	23.08	10.14
中温	33.58	32.85	3.82	43.38	44.02	41.45	6.29	55.97
次高温	52.94	4.07	0.48	48.26	39.62	3.41	0.97	30.85
高温	9.34	0.03	0.11	2.93	9.39	0.13	0.02	1.80
热岛分级	2016-07-23				2016-11-28			
	建设用地	绿地	水体	裸地	建设用地	绿地	水体	裸地
低温	0.15	3.86	64.10	1.66	3.38	5.51	0.68	1.93
次低温	5.71	58.31	29.38	3.22	17.05	38.18	9.66	7.52
中温	36.29	31.63	5.56	56.43	40.78	50.46	21.74	37.45
次高温	46.12	6.01	0.84	36.83	28.96	5.50	67.82	48.44
高温	11.73	0.19	0.13	1.86	9.84	0.36	0.10	4.66

7月,由陆地向河流每减少 30 m,建设用地平均温度减少 1.05~1.26℃,绿地平均温度减少 0.63~0.9℃;在 2016 年 3 月,由陆地向河流每减少 30 m,建设用地平均温度减少 0.51~0.78℃,绿地平均温度减少 0.45~0.57℃;在 2016 年 7 月,由陆地向河流每减少 30 m,建设用地平均温度减少 0.93~0.99℃,绿地平均温度减少 0.57~0.99℃;由于 2016 年 11 月河流周边 120 m 范围内建设用地平均温度、绿地平均温度与缓冲距离线性关系较差,因此未进行线性拟合分析。2013 年 7 月河流的降温作用最强,2016 年 3 月河流降温作用最弱。在 7 月,浏阳河对河流周边 120 m 范围内建设用地和绿地的降温作用均最强,由陆地向浏阳河每减少 30 m,在 2013 年 7 月,建设用地平均温度减少 1.26℃,绿地平均温度减少 0.9℃;在 2016 年 7 月,建设用地和绿地平均温度均减少 0.99℃。在 3 月,湘江对河流周边 120 m 范围内建设用地降温作用最强,捞刀河对绿地降温作用最强。由陆地向河流每减少 30 m,湘江周边建设用地平均温度减少 0.78℃,捞刀河周边绿地平均温度

减少 0.57℃。

河流的降温强度与河水温度和距离河流 120 m 以上的地表温度的差值大小有关,与河流宽度关系较弱。虽然湘江的河流宽度最大,河流温度最低,浏阳河河流温度最高,河流宽度远远小于湘江(见表 7),但是浏阳河的降温作用在 7 月份却强于湘江。主要是由于浏阳河周边区域建设用地比例最高(见图 7),距离河流 120 m 以上的建设用地温度与浏阳河的河水温度相差较大,导致其降温作用较强。而在 3 月,由于城区热岛效应较弱,浏阳河河水温度与距离河流 120 m 以上的地表温度差异减小,湘江水温最低,所以湘江对建设用地降温作用最强。虽然捞刀河距离 120 m 范围内建设用地比例也较高,但是由于湘江、浏阳河周边的建设用地多为地表温度相对较高的工厂、居民小区和商业用地,而捞刀河周边的建设用地多为地表温度相对较低的农村自建房,距离河流 120 m 以上的地表温度与河流温度差异较小,因此捞刀河对周边地区的降温作用较弱。

表 10 缓冲距离与各类土地覆盖的地表平均温度拟合分析

Table 10 Correlation between buffer distance and LST in different land cover types

日期	缓冲区 120 m 内地表平均温度	湘江		浏阳河		捞刀河	
		拟合公式	$R^2$	拟合公式	$R^2$	拟合公式	$R^2$
2013-07-31	建设用地平均温度	$y_1=30.04+0.042x$	0.984	$y_1=31.06+0.044x$	0.994	$y_1=31.08+0.035x$	0.980
	绿地平均温度	$y_2=29.26+0.024x$	0.991	$y_2=30.64+0.03x$	0.986	$y_2=30.39+0.021x$	0.992
2016-03-01	建设用地平均温度	$y_1=17.77+0.026x$	0.989	$y_1=18.67+0.022x$	0.988	$y_1=18.20+0.017x$	0.995
	绿地平均温度	$y_2=17.25+0.016x$	0.981	$y_2=18.20+0.015x$	0.968	$y_2=16.54+0.019x$	0.934
2016-07-23	建设用地平均温度	$y_1=28.85+0.031x$	0.982	$y_1=29.18+0.033x$	0.992	$y_1=29.06+0.032x$	0.979
	绿地平均温度	$y_2=27.54+0.023x$	0.991	$y_2=28.35+0.033x$	0.982	$y_2=28.99+0.019x$	0.976

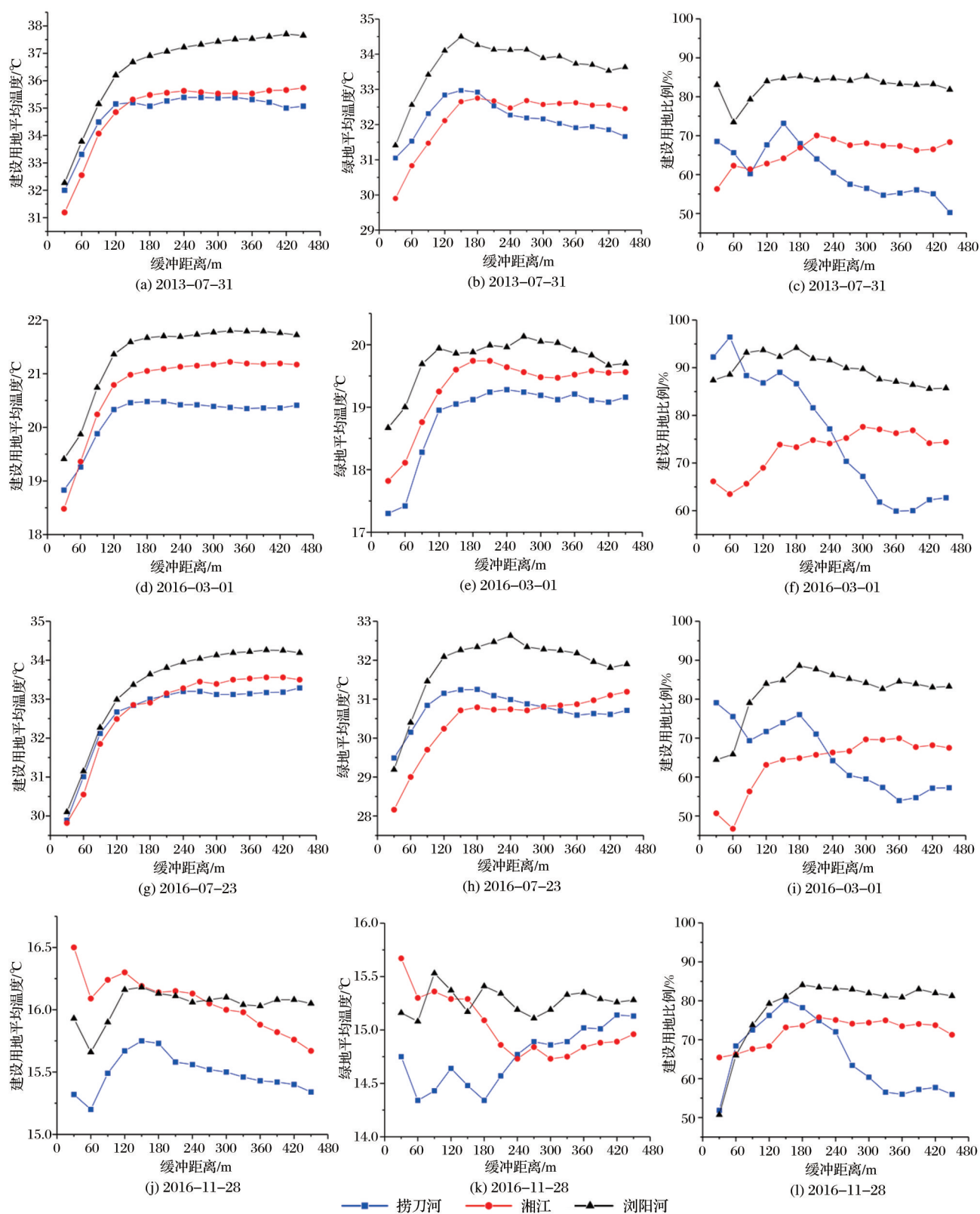


图7 缓冲区地表温度与建设用地比例图

Fig.7 Buffer zone LST and the proportion of construction land

#### 4.4 MNDWI指数与地表温度相关性分析

MNDWI与地表温度的散点关系图(图8)中呈多边形结构。对水体和其它地表类型分别做了相

关性分析,但是结果表明MNDWI与地表温度的相关性均较差,除了在2013年7月和2016年3月水体相关性分析中的决定系数 $R^2$ 为0.55以上,其他各个



时期的决定系数 $R^2$ 均较低。因为各类地表类型中的样点在散点图中分布离散,所以MNDWI不适合与地表温度进行线性相关的分析。水体的MNDWI与地表温度在3月和7月呈负相关,但是在11月却呈正相关。结合图4和图5,由于河流的MNDWI值高于湖泊的MNDWI值,11月气温低,河流的温度高于湖泊的温度,所以导致11月水体的MNDWI与地表温度呈正相关。

在不同月份,由于天气状况、日出时间、各类地表类型性质的差异等因素导致遥感指数与地表温度的相关性呈现出明显的差异。在7月,水体温度最低,绿地温度高于水体低于建设用地和裸地,建设用地和裸地温度最高。在3月绿地与大部分建设用地温度相差不大,而在11月,绿地、水体与建设用地的地表温度差异更小。

各地表覆盖类型在MNDWI指数散点图中基本呈属性特征的团块状分布(见图8)。在随机点的选取中,各类地表覆盖类型所拥有的随机点个数也

会影响拟合效果。因此,在随机点选取时,各类地表覆盖类型的数量应当按各类地表覆盖类型面积占研究区总面积的比重进行选取,得到的拟合方程才能符合所在研究区的实际状况。

#### 4.5 屋顶材质与地表温度相关性分析

在长沙市主城区地表温度反演中发现,2016年3月1日、7月23日和11月28日3期影像中长沙主城区多个地区不同类型的屋顶地表温度也不一样,并且地表温度差异较大,本次分析主要针对长沙比亚迪汽车公司厂房(图9(a))。因部分厂房在2016年11月以前未建设完成,以下选用2016年11月28日遥感影像反演结果与近期高清卫星影像进行分析。

根据高清卫星影像(图9(a))可知,图9(a)的右侧为高反射率屋顶的厂房,左侧为低反射率屋顶的厂房。图9(b)中右侧高反射的厂房比左侧低反射的厂房温度低,右侧厂房温度主要介于 $-6.2\sim 13.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,而左侧厂房主要介于 $17.4\sim 28.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。其中,

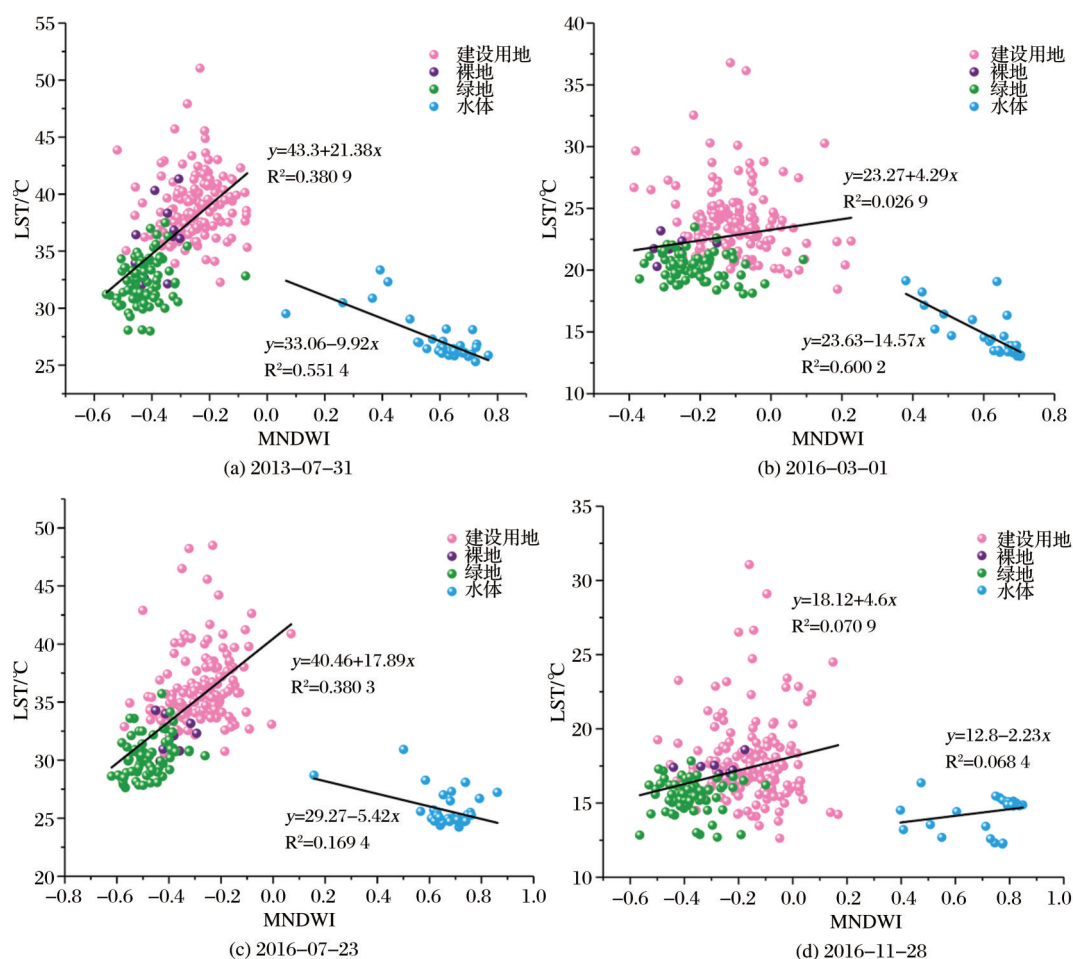


图8 LST与MNDWI关系图

Fig.8 Correlation between LST and MNDWI

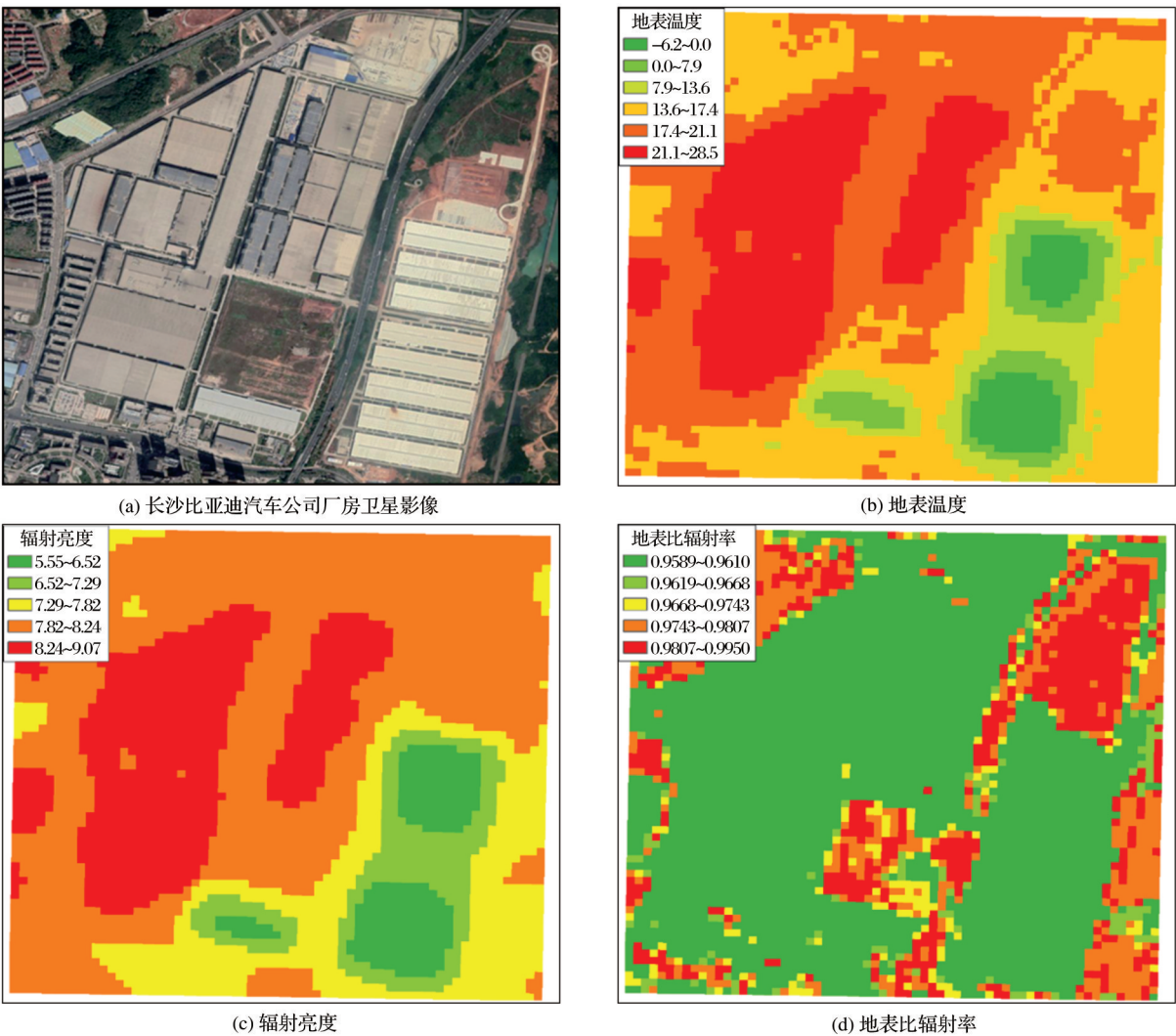


图9 表 11 不同材质屋顶的地表温度、辐射亮度与地表比辐射率的分布图  
调整地表比辐射率及其对应的地表温度变化

Fig.9 Table 11 Distribution of surface temperature, radiant brightness and emissivity of roofs with different materials  
Adjustment of emissivity and corresponding surface temperature changes

右侧厂房大部分区域温度都低于 0℃。通过 Band10 的辐射亮度图像(图 9(c))可以看出,图 9(c)中右侧高反射厂房的辐射亮度比左侧低反射厂房区低,且右侧高反射率厂房的辐射亮度值大部分在 5.55~5.90 W/(m<sup>2</sup>·sr·μm)之间。在地表比辐射率的图像(图 9(d))中,右侧厂房与左侧厂房的地表比辐射率一致,均为 0.9589,针对建设用地中不同材质屋顶地表比辐射率的差异有待进一步研究。

为了进一步分析比辐射率对地表温度的影响,将反演地表温度的计算公式除地表比辐射率以外的其他参数设为固定值(见表 11)。其中,大气透过率为 0.8612,辐射亮度为 5.55 W/(m<sup>2</sup>·sr·μm),大气平均作用温度为 279.73 K。当地表比辐射率为 0.82~0.96 时,地表比辐射率每减少 0.01,地表温度

增加值在 0.47~0.63℃之间。并且地表比辐射率越小,对地表温度的影响越大。

目前针对地表比辐射率的反演方法多是依据 NDVI 进行估算,但是建设用地的 NDVI 值相对一致,难以区分高反射率屋顶和其他类型屋顶。因此,针对高反射率材质的屋顶对地表比辐射率的影响有待进一步细化分析。

### 5 结 语

实验通过分析地表温度的时空分布特征,河流对周边地区的热缓解效应,MNDWI 指数与地表温度的相关性,地表比辐射率的变化对地表温度的影响得出以下结论:

(1)长沙火车站沿线、高桥大市场和部分工厂

表 11 调整地表比辐射率及其对应的地表温度变化

Table 11 Adjustment of emissivity and corresponding surface temperature changes

地表比辐射率	地表温度/℃	增加量/℃	地表比辐射率	地表温度/℃	增加量/℃	地表比辐射率	地表温度/℃	增加量/℃
0.96	-6.31	—	0.91	-3.86	0.51	0.86	-1.13	0.57
0.95	-5.84	0.47	0.9	-3.34	0.52	0.85	-0.55	0.58
0.94	-5.36	0.48	0.89	-2.81	0.53	0.84	0.05	0.60
0.93	-4.87	0.49	0.88	-2.26	0.55	0.83	0.66	0.61
0.92	-4.37	0.50	0.87	-1.71	0.56	0.82	1.29	0.63

在各个时期均为高温区。2016年7月相比2013年7月浏阳河周边区域热岛效应缓解,主要由天气情况的不同以及拆迁改变地表覆盖性质等造成的。3月建设用地中比率最大的为中温,7月建设用地中比率最大的为次高温。3月和7月,绿地中比率最大的为次低温,水体中比率最大的为低温。而11月,建设用地和绿地中比率最大的为中温,水体中比率最大的次高温。

(2)在3月和7月河流对120 m范围内的降温作用明显,地表温度随距离河流的距离的增加而迅速增加,但是距离河流120 m以上,温度趋于平稳。而在11月河流对周边区域降温作用不明显。河流周边120 m范围内,由陆地向河流每减少30 m,7月建设用地平均温度减少0.93~1.26℃,绿地平均温度减少0.57~0.99℃;3月建设用地平均温度减少0.51~0.78℃,绿地平均温度减少0.3~0.57℃。河流的降温强度与河水温度和距离河流120 m以上的地表温度的差值大小有关,与河流宽度相关性较小。

(3)负的MNDWI与地表温度呈正相关关系,正的MNDWI与地表温度3月和7月呈负相关关系,11月呈正相关关系。

(4)地表比辐射率对地表温度反演的结果影响显著,利用NDVI估算地表比辐射率难以区分高反射率的屋顶与其他类型的建设用地。针对高反射率材质的屋顶对地表比辐射率的影响有待进一步细化分析。

综上所述,地表覆盖是引起城市热岛效应变化的重要原因,在地表覆盖分类中应当采用空间分辨率更高的影像,提高地表覆盖分类的准确度。此外,可深入分析屋顶材质对地表比辐射率的影响,建筑物阴影对地表温度的影响方面的研究,以期得到更高精度的城区地表温度,为缓解城市热岛效应提供技术支持。

致谢:感谢美国地质调查局(USGS)免费提供

Landsat 8 卫星影像,感谢美国国家环境资讯中心(NCEI)免费提供气象数据!

#### 参考文献(References):

- [1] Ji Chongping, Liu Weidong, Xuan Chunyi. Impact of urban growth on the Heat Island in Beijing[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2006(1):69-77.[季崇萍,刘伟东,轩春怡.北京城市化进程对城市热岛的影响研究[J].地球物理学报,2006(1):69-77.]
- [2] 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 Application, 2006, 21(5):432-435.[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,2006,21(5):432-435.]
- [3] Hu Hualang, Chen Yunhao, Gong Adu. Advances in the application of remotely sensed data to the study of Urban Heat Island[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2005(3):5-9, 13.[胡华浪,陈云浩,宫阿都.城市热岛的遥感研究进展[J].国土资源遥感,2005(3):5-9,13.]
- [4] Xiao Rongbo, Ouyang Zhiyun, Li Weifeng, *et al.* A review of the eco-environmental consequences of Urban Heat Islands[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(8):2055-2060.[肖荣波,欧阳志云,李伟峰,等.城市热岛的生态环境效应[J].生态学报,2005,25(8):2055-2060.]
- [5] Xiao Rongbo, Ouyang Zhiyun, Zhang Zhaoming, *et al.* Advances in methodology of Urban Heat Island[J]. Meteorological Monthly, 2005(11):4-7.[肖荣波,欧阳志云,张兆明,等.城市热岛效应监测方法研究进展[J].气象,2005(11):4-7.]
- [6] Ye Ke, Qin Zhihao. A Study of Urban Heat Island in summer of Nanjing based on MODIS data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2006, 21(5):426-431.[叶柯,覃志豪.基于MODIS数据的南京市夏季城市热岛分析[J].遥感技术与应用,2006,21(5):426-431.]
- [7] Yang Yingbao, Su Weikang, Jiang Nan. Time-space character analysis of Urban Heat Island effect in Nanjing City using remote sensing[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2006, 21(6):488-492, 479.[杨英宝,苏伟忠,江南.南京市热岛效应时空特征的遥感分析[J].遥感技术与应用,2006,21(6):488-492,479.]
- [8] Zhang Yong, Yu Tao, Gu Xingfa, *et al.* Land surface temper-



- ature retrieval from CBERS-02 IRM SS thermal infrared data and its applications in quantitative analysis of Urban Heat Island effect[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2006, 10(5): 789-797.[张勇, 余涛, 顾行发, 等. CBERS-02 IRMSS 热红外数据地表温度反演及其在城市热岛效应定量分析中的应用[J]. *遥感学报*, 2006, 10(5): 789-797.]
- [9] Wang Jiankai, Wang Kaicun, Wang Pucui. Urban Heat (or Cool) Island over Beijing from MODIS land surface temperature[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2007, 11(3): 330-339.[王建凯, 王开存, 王普才. 基于MODIS地表温度产品的北京城市热岛(冷岛)强度分析[J]. *遥感学报*, 2007, 11(3): 330-339.]
- [10] Wang Meiya, Xu Hanqiu, Li Xia, *et al.* Analysis on spatio-temporal variation of Urban Impervious Surface and its influence on Urban Thermal Environment: Fuzhou City, China[J]. *Journal of Basic Science and Engineering*, 2018, 26(6): 1316-1326.[王美雅, 徐涵秋, 李霞, 等. 不透水面时空变化及其对城市热环境影响的定量分析——以福州市建成区为例[J]. *应用基础与工程科学学报*, 2018, 26(6): 1316-1326.]
- [11] Wang Meiya, Xu Hanqiu, Fu Wei, *et al.* Spatio-temporal variation of Urban Surface Water and its influence on Urban Thermal Environment[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(7): 1099-1105.[王美雅, 徐涵秋, 付伟, 等. 城市地表水体时空演变及其对热环境的影响[J]. *地理科学*, 2016, 36(7): 1099-1105.]
- [12] Chen Yanhong, Cai Yuanbin, Tong Chuan. Temperature effect under the green space evolution based on remote sensing: a case study of Fuzhou, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(7): 1-13.[陈燕红, 蔡莞嫔, 仝川. 基于遥感的城市绿色空间演化过程的温度效应研究——以福州主城区为例[J]. *生态学报*, 2020, 40(7): 1-13.]
- [13] Liu Xuemei, Gao Xiaohong, Jia Wei. Spatio-temporal change of Urban Heat Island effect in Xining from landsat image[J]. *Journal of Earth Environment*, 2019, 10(2): 166-176.[刘雪梅, 高小红, 贾伟. 基于遥感影像的近30年西宁市热岛效应时空变化[J]. *地球环境学报*, 2019, 10(2): 166-176.]
- [14] Zhang Qifei, Wen Ya, Wu Zhifeng, *et al.* Seasonal variations of the Cooling Effect of Water landscape in high-density Urban built-up area: A case study of the center urban district of Guangzhou[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2018, 27(7): 1323-1334.[张棋斐, 文雅, 吴志峰, 等. 高密度建成区湖泊水体的热缓释效应及其季相差异——以广州市中心城区为例[J]. *生态环境学报*, 2018, 27(7): 1323-1334.]
- [15] Nie Chong, Yang Jun, Huang Conghong. Analysis of the regulation effect of surface water bodies in urban Beijing on its thermal environment[J]. *Journal of Basic Science and Engineering*, 2019, 27(6): 1258-1268.[聂冲, 杨军, 黄从红. 北京城区地表水体对城市热环境的调节作用分析[J]. *应用基础与工程科学学报*, 2019, 27(6): 1258-1268.]
- [16] Li Xiaoyong, Kuang Wenhui. The effects of urban land cover composition and structure on land surface temperature in Beijing, Tianjin, and Shijiazhuang[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(10): 3057-3065.[李孝永, 匡文慧. 北京、天津和石家庄城市地表覆盖组分与结构特征对地表温度的影响[J]. *生态学杂志*, 2019, 38(10): 3057-3065.]
- [17] Lin Zhongli, Xu Hangqiu. Comparative Study on the Urban Heat Island effect in “Stove Cities” during the last 20 years[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2019, 34(3): 521-530.[林中立, 徐涵秋. 近20年来新旧“火炉城市”热岛状况对比研究[J]. *遥感技术与应用*, 2019, 34(3): 521-530.]
- [18] Ma Jing, Wang Qingmei, Ji Mengda, *et al.* Remote sensing analysis of Heat Island effect in Changchun city[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2019, 44(8): 61-69.[马晶, 王青妹, 纪梦达, 等. 长春市城区热岛效应遥感分析[J]. *测绘科学*, 2019, 44(8): 61-69.]
- [19] Xia Junshi, Du Peijun, Zhanghairong, *et al.* The Quantitative relationship between land surface temperature and land cover types based on remotely sensed data[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2010, 25(1): 15-23.[夏俊士, 杜培军, 张海荣, 等. 基于遥感数据的城市地表温度与土地覆盖定量研究[J]. *遥感技术与应用*, 2010, 25(1): 15-23.]
- [20] Bai Yang, Wang Min, Meng Hao, *et al.* Relationship between land surface temperature and land cover in rapid urbanization process of Shanghai[J]. *Environmental Pollution & Control*, 2013, 35(6): 49-54, 77.[白杨, 王敏, 孟浩, 等. 上海市快速城市化过程中地表温度与地表覆盖的关系研究[J]. *环境污染与防治*, 2013, 35(6): 49-54, 77.]
- [21] Liang Baoping, Ma Yifang, Li Hui. Research on cooling effect of the landscape green space and urban water in Guilin City[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2015, 24(2): 278-285.[梁保平, 马艺芳, 李晖. 桂林市典型园林绿地与水体的降温效应研究[J]. *生态环境学报*, 2015, 24(2): 278-285.]
- [22] Zhou Yi, Qi Hua. The Spatio-temporal pattern and change of Urban Heat Island in Chengdu based on Landsat 8[J]. *Geomatics World*, 2019, 26(2): 7-12, 20.[周毅, 齐华. 基于Landsat 8的成都市城市热岛时空格局变化研究[J]. *地理信息世界*, 2019, 26(2): 7-12, 20.]
- [23] Situ Yanna. Study on thermal environment effect of urban water body in Guangzhou[D]. Guangzhou: Sun Yat-sen University, 2017.[司徒艳娜. 广州市城市水体的热环境效应研究[D]. 广州: 中山大学, 2017.]
- [24] Tian Pengfei, Cai Najia, Zhang Ling, *et al.* Correlation analysis on Urban Heat Island effect and land surface parameters & study on effect of water on Urban Heat Island[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2013(13): 232-235.[田鹏飞, 蔡娜佳, 张玲, 等. 热岛效应与地表参数的相关性分析及水体对热岛的影响研究[J]. *现代农业科技*, 2013(13): 232-235.]
- [25] Li Donghai, Ai Bin, Li Xia. Urban water body alleviating

- Heat Island effect based on RS and GIS: A Case Study of Dongguan City [J]. *Tropical Geography*, 2008, 28 (5): 414-418.[李东海, 艾彬, 黎夏. 基于遥感和GIS的城市水体缓解热岛效应的研究——以东莞市为例[J]. *热带地理*, 2008, 28 (5): 414-418.]
- [26] Lin Hao, Niu Jiqiang, Ma Huiqin, *et al.* Urban water body reduce of Heat Island Effect: A case study of Nanjing city [J]. *Journal of Xinyang Normal University (Natural Science Edition)*, 2017, 30 (2): 234-238.[林昊, 牛继强, 马会钦, 等. 城市水体对热岛的消减效应——以南京市为例[J]. *信阳师范学院学报(自然科学版)*, 2017, 30 (2): 234-238.]
- [27] Yue Wenzhe, Xu Lihua. Thermal environment effect of urban water landscape [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33 (6): 1852-1859.[岳文泽, 徐丽华. 城市典型水域景观的热环境效应[J]. *生态学报*, 2013, 33 (6): 1852-1859.]
- [28] Zeng Suping, Shi Zhuo, Zhao Meifang, *et al.* The variation of buffer performance of water bodies on Urban Heat Island along riverbank distance [J]. *Acta Ecologica Sinica*. 2020, 40 (15): 5190-5202.[曾素平, 时琢, 赵梅芳, 等. 城市水体对热岛的缓冲性能沿河岸距离的变化规律[J]. *生态学报*, 2020, 40 (15): 5190-5202]
- [29] Le Tongchao, Nie Sen, Pan Hui, *et al.* Land surface temperature retrieval and Urban Heat Island effect based on Landsat 8 image in Fuzhou city [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2019, 34 (5): 154-160.[乐通潮, 聂森, 潘辉, 等. 基于Landsat 8卫星影像的地表温度反演及福州春季城市热岛效应分析[J]. *西北林学院学报*, 2019, 34 (5): 154-160.]
- [30] Yuan Zhen, Wu Xiangli, Zang Shuying, *et al.* Cooling effect of green patches based on TM image in Harbin downtown city [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37 (10): 1600-1608.[袁振, 吴相利, 臧淑英, 等. 基于TM影像的哈尔滨市主城区绿地降温作用研究[J]. *地理科学*, 2017, 37 (10): 1600-1608.]
- [31] Xiong Ying, Zhang Fang. Thermal environment effects of urban human settlements and influencing factors based on multi-source data: A case study of Changsha city [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75 (11): 2443-2458.[熊鹰, 章芳. 基于多源数据的长沙市人居环境效应及其影响因素分析[J]. *地理学报*, 2020, 75 (11): 2443-2458.]
- [32] Ye Yü, Qin Jianxin, Hu Shunshi. Spatial-temporal evolution of Urban Heat Island Effects in Changsha city [J]. *Journal of Geo-information Science*, 2017, 19 (4): 518-527.[叶钰, 秦建新, 胡顺石. 长沙市热岛效应时空特征变化研究[J]. *地球信息科学学报*, 2017, 19 (4): 518-527.]
- [33] He Bingwei, Han Qinzhe. Study on urban thermal environment effect of Changsha based on Landsat 8 OLI/TIRS Image [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2020, 59 (11): 69-75, 80.[何炳伟, 韩沁哲. 基于Landsat-8 OLI/TIRS影像的长沙市城市热环境效应研究[J]. *湖北农业科学*, 2020, 59 (11): 69-75, 80.]
- [34] Wang Z, Liu M, Liu X, *et al.* Spatio-temporal evolution of surface Urban Heat Islands in the Chang-Zhu-Tan urban agglomeration [J]. *Physics and Chemistry of the Earth*. 2020, 117: 102865. DOI: 10.1016/j.pce.2020.102865.
- [35] Changsha Municipal People's Government. Brief Introduction of Changsha [EB/OL]. <http://www.changsha.gov.cn/zjcs/kncs/dlwz/>. [2019-05-19]. [长沙市人民政府. 走进快乐长沙 [EB/OL]. <http://www.changsha.gov.cn/zjcs/kncs/dlwz/>. [2019-05-19.]
- [36] Hu Deyong, Qiao Kun, Wang Xingling, *et al.* Land surface temperature retrieval from Landsat 8 thermal infrared data using mono-window algorithm [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2015, 19 (6): 964-976.[胡德勇, 乔琨, 王兴玲, 等. 单窗算法结合Landsat 8热红外数据反演地表温度[J]. *遥感学报*, 2015, 19 (6): 964-976.]
- [37] Wang F, Qin Z, Song C, *et al.* An Improved mono-window algorithm for Land Surface Temperature retrieval from Landsat 8 thermal infrared sensor data [J]. *Remote Sensing*, 2015, 7: 4268-4289. DOI: 10.3390/rs70404268.
- [38] Qin Zhihao, Li Wenjuan, Xu Bin, *et al.* The estimation of land surface emissivity for Landsat TM6 [J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2004 (3): 28-32, 36-41, 74.[覃志豪, 李文娟, 徐斌, 等. 陆地卫星TM6波段范围内地表比辐射率的估计[J]. *国土资源遥感*, 2004 (3): 28-32, 36-41, 74.]
- [39] Sobrino J A, Jiménez-Munoz J C, Soria G, *et al.* Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2008, 46: 316-327. DOI: 10.1109/TGRS.2007.904834.
- [40] Deng Shubin, Cheng Qiujin, Du Huijian, *et al.* ENVI remote sensing image processing method (2nd Edition) [M]. Beijing: Higher Education Press, 2014.[邓书斌, 陈秋锦, 杜会建, 等. *ENVI遥感图像处理方法(第二版)* [M]. 北京: 高等教育出版社, 2014.]
- [41] Han Ling, Zhang Yu, Wang Xiaofeng, *et al.* Land use change and Heat Island effect in Xi'an city [M]. Beijing: Science Press. 2018.[韩玲, 张瑜, 王晓峰, 等. 西安市土地利用变化及热岛效应[M]. 北京: 科学出版社, 2018.]
- [42] Qiao Zhi, Huang Ningyu, Xu Xinliang, *et al.* Spatio-temporal pattern and evolution of the urban thermal landscape in metropolitan Beijing between 2003 and 2017 [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74 (3): 475-489.[乔治, 黄宁钰, 徐新良, 等. 2003~2017年北京市地表热力景观时空分异特征及演变规律[J]. *地理学报*, 2019, 74 (3): 475-489.]
- [43] Xun Hanqiu. A study on information extraction of water body with the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2005, 9 (5): 589-595.[徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. *遥感学报*, 2005, 9 (5): 589-595.]

## Typical Land Cover Impacts on Land Surface Temperature of Changsha Metropolitan Area

Guo Junyu<sup>1,2,3</sup>, Dai Liyun<sup>2</sup>, Liang Ji<sup>1,3</sup>, Wang Qiong<sup>1,3</sup>

(1. *National-Local Joint Engineering Laboratory of Geo-Spatial information Technology in the Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;*

2. *Northwest Institute of Eco-Environment and Resources Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;*

3. *School of resource Environment and Safety engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)*

**Abstract:** Urban heat island is a phenomenon that the temperature of urban area is higher than suburb, which can change the natural and social process of city and causes a series of environmental problems. In this paper, Single-channel algorithm for Landsat 8 TIRS10 band (TIRS10\_SC algorithm) is used to retrieval the land surface temperature of four landscape Landsat 8 images in Changsha metropolitan area in July 2013, March 2016, July 2016 and November 2016. This paper further analyzes the influence of typical land surfaces such as construction land, green land, rivers and roofs of different materials on the land surface temperature, the results indicate that: (1) The areas with high LST were located in Changsha Railway Station, the Gaoqiao Market and some factories at all times. Compared with July 2013, the heat island effect in the surrounding area of Liuyang River was alleviated in July 2016, which was mainly caused by the different weather conditions and the change of land cover nature by demolition. The largest ratio of construction land in March was moderate LST zone. The highest ratio of construction land in July was sub-high LST zone. In March and July, the highest ratio among green areas is sub-low LST zone, the largest ratio in water is low LST zone. In November, the highest ratio of construction land and green space was medium LST zone, and the sub-highest LST zone in water was the highest; (2) Within 120 m around the river, for every 30 m decrease from land to river, the average temperature of construction land decreased by 0.93~1.26 °C and the average temperature of green land decreased by 0.57~0.99 °C in July. The average temperature of construction land decreased by 0.51~0.78 °C and the average temperature of green land decreased by 0.3~0.57 °C in March. The cooling intensity of the river is related to the difference between the river temperature and LST more than 120 m away from the river; (3) Negative MNDWI is positively correlated with land surface temperature and positive MNDWI is negatively correlated with land surface temperature in March and July. However, MNDWI is positively correlated with land surface temperature in November; (4) Emissivity has a significant effect on the results of land surface temperature inversion. It is difficult to distinguish the high reflectivity roofs and other types of construction land by using NDVI to estimate emissivity. Therefore, the influence of high-reflectivity roofs on emissivity needs to be further studied to improve the inversion accuracy of land surface temperature and provide a reference for mitigating the urban heat island effect.

**Key words:** Land Surface Temperature; River; MNDWI; Emissivity