

# “源-汇”景观格局的热岛效应研究 ——以武汉市为例

高 静<sup>1</sup>, 龚 健<sup>1,2\*</sup>, 李靖业<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学(武汉)公共管理学院, 武汉 430074; 2. 国土资源部法律评价工程重点实验室, 武汉 430074)

**摘 要:** 论文基于2017年 Landsat 8 遥感影像, 通过 GIS 技术选取城市地表温度、源汇景观密度、源汇景观贡献度和景观效应指数, 结合地理空间分析和数理统计方法, 分析了武汉市局部源汇景观格局对城市地表温度的贡献及其效应。结果表明: ① 武汉市城区热岛(urban heat island, UHI)季节变化明显, 夏季热岛强度大、范围广, 呈“大”字型分布, 工业集聚区和经济开发区产生的 UHI 更显著; ② 武汉市城区平均地表温度(land surface temperature, LST)在距市中心约 8 km 处达到峰值后沿城乡梯度逐渐下降, 呈现“倒钩型”特征, 这一现象与景观密度变化密切相关; ③ LST 与源(正向)、汇(负向)景观密度存在极强相关性, 不透水表面是城区热岛的主要贡献因子; ④ 相同密度的水体和绿地, 水体更具有削弱城市热岛效应的功能; ⑤ 一般当汇-源景观面积比>0.89(汇区密度>0.47)时, 局部景观格局对城市热岛有缓解作用, 且局部汇区越集中缓解效果越显著。

**关键词:** 地表温度; 源汇景观; 城市热岛; 城乡梯度; 武汉

城市热岛(Urban Heat Island, UHI)是指城市地区温度高于周围农村地区的一种温度差异性现象, 由英国学者 L. Howard 在 1818 年首次提出(引自 Voogt et al, 2003), 之后越来越受到学术界的关注(Bokaie et al, 2016; Li et al, 2017; Miles et al, 2017; Zhang et al, 2017)。城市热岛不仅影响区域气候环境, 引发城市高温, 使城市居民的高温健康风险增加(Santamouris, 2014), 还加剧了城市能源消耗和大气污染, 导致城市生态环境质量下降, 因此如何缓解城市热岛效应成为亟待解决的城市生态环境问题之一(Zhou et al, 2011)。一般来说, UHI 的形成主要是由于城市发展引起了景观格局改变, 最终导致地表温度(Land Surface Temperature, LST)升高, 无论城市的大小和位置如何均会产生 UHI(Zhou et al, 2017)。更具体地说, 随着城市化进程加快, 原始的绿地等自然表面被沥青、金属、水泥等不透水表面

替代, 影响了地表对太阳辐射的吸收(黄元等, 2017), 是城市化形成热岛效应的重要途径; 而这种地表下垫面改变的过程直接体现在城市景观的异质性格局中。因此, 厘清城市热岛效应与景观格局的关联机理, 是对景观格局与生态过程互馈研究在城市地域的进一步深化, 将为优化景观格局、缓解 UHI 提供科学依据(刘焱序等, 2017)。

目前, 景观格局与 UHI 之间的关系受到广泛关注(陈爱莲等, 2012; 张昌顺等, 2015; 江颖慧等, 2018)。一方面, 国内外学者普遍探讨了 LST 与不同土地覆盖类型(LUCC)之间的关联和规律, 大量的研究发现建设用地和裸地对 UHI 影响最大(Mathew et al, 2016; 李斌等, 2017), 而其他用地类型如林地、水等有助于减轻 UHI(张建明等, 2012); 另一方面, 也有众多学者研究了景观组成和结构对 LST 的影响(Song et al, 2014; 袁振等, 2017), 然而,

收稿日期: 2018-12-25; 修订日期: 2019-01-25。

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(CUGL170408)。[Foundation: the Fundamental Research Funds for the Central Universities, China University of Geosciences (Wuhan), No. CUGL170408.]

第一作者简介: 高静(1995—), 女, 内蒙古鄂尔多斯人, 博士生, 研究方向为土地利用变化及其生态环境效应评价。

E-mail: GJing@cug.edu.cn

\*通信作者简介: 龚健(1977—), 男, 湖南常德人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为土地评价、土地利用规划和土地信息系统研究。E-mail: gongjian@cug.edu.cn

引用格式: 高静, 龚健, 李靖业. 2019. “源-汇”景观格局的热岛效应研究: 以武汉市为例 [J]. 地理科学进展, 38(11): 1770-1782. [Gao J, Gong J, Li J Y. 2019. Effects of source and sink landscape pattern on land surface temperature: An urban heat island study in Wuhan City. Progress in Geography, 38(11): 1770-1782.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2019.11.012

简单的景观格局指数计算与分析,对景观格局指数的内涵重视不够(陈利顶等, 2006)。由于景观格局指数受到景观空间异质性的影响,仅从数量关系上计算得到的指数往往无法真实体现景观格局的生态效应。源-汇景观理论的引入(陈利顶等, 2006)和应用(Xu, 2009),是对景观生态学格局与过程互馈的重要实践探索,通过分析源-汇景观在空间上的平衡,可以为面向缓解热岛效应的景观规划提供量化的途径和方法。

“源”“汇”概念最出现在于大气污染中,源指污染物的来源,而汇与源相反,是指可以消耗或吸收污染物的区域,随后被应用于碳移动路径(蒋金亮等, 2014)、生态环境变化(许凯等, 2017; 杨守业等, 2018)等领域。然而目前应用源-汇理论将生态过程的内涵融于景观格局分析中的研究仍然较少(李丽光等, 2013);此外,如何将景观格局对UHI的贡献率识别结果与景观优化设计相结合,并确定不同控制变量下景观格局影响UHI的关键阈值,成为研究的重点问题(刘焱序等, 2017)。武汉市是湖北省省会城市、中部地区中心城市和国家中心城市,区位优势突出;随着经济社会的快速发展,城区面积迅速扩张,城镇化率不断提高,导致武汉市热岛特征突出(梁益同等, 2010),热岛面积不断扩大(刘航等, 2017)。科学反映武汉市城市景观格局影响UHI的机制对于快速城镇化区域优化国土空间格局具

有重要借鉴意义。

综上,本文利用2017年Landsat 8遥感数据,建立基于“源-汇”景观理论的源汇景观贡献度(CI)和景观效应指数(LI),通过城乡梯度距离法分析不同景观类型对LST的贡献,并评价局部空间尺度下景观组分对UHI的作用,识别景观格局显著驱动热岛效应的阈值,以为面向缓解热岛效应的景观规划提供量化的景观组分控制范围,为构建舒适的城市热生态环境提供决策保障。

## 1 研究区概况、数据来源与方法

### 1.1 研究区概况

武汉市位于江汉平原东部、长江与汉水交汇处,市内江河纵横、湖港交织,水域面积占全市总面积的1/4。地理位置介于 $29^{\circ}58' \sim 31^{\circ}22'N$ 、 $113^{\circ}41' \sim 115^{\circ}05'E$ 之间,地形以平原为主,地势平坦;属于北亚热带季风性(湿润)气候,具有常年雨量丰沛、热量充足、四季分明等特点,年平均气温 $15.8 \sim 17.5^{\circ}C$ 。近年来,武汉市社会经济的快速发展使武汉城区面积迅速扩张,城市下垫面变化很大。武汉市总面积 $8494 km^2$ ,包括13个市辖区,其中江岸区、江汉区、硚口区、汉阳区、武昌区、洪山区、青山区、江夏区、东西湖区、黄陂区、新洲区、蔡甸区、汉南区。截至2017年末,武汉市城镇人口达到871.87万人,因此本文以长江与汉江交汇处为中心

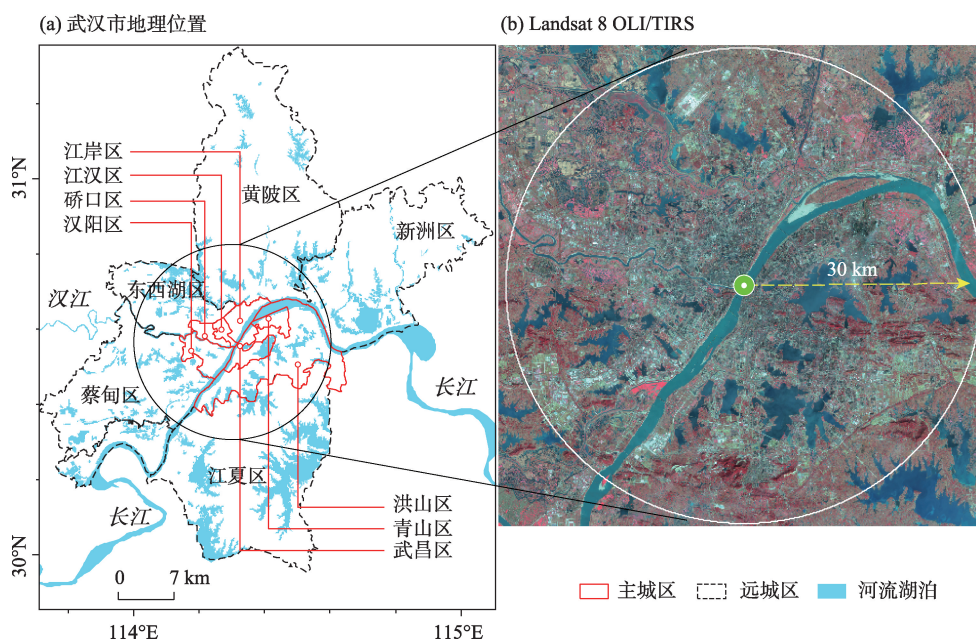


图1 武汉市地理位置

Fig.1 The location of study area

向外辐射 30 km 为半径的城市主城区作为研究区研究武汉的 UHI 特征(图 1b)。

## 1.2 数据来源及预处理

根据成像时间一致性与高质量影像要求,本文采用 Landsat 8 陆地成像仪和热红外线传感器影像数据对武汉地区夏季、冬季城市热岛格局进行研究,遥感数据来源于美国地质调查局网站(<http://earthexplorer.usgs.gov>)。分别选取 2017 年 7 月 26 日和 12 月 17 日覆盖研究区的遥感影像反演夏季、冬季的地表温度。辅助数据包括武汉市行政区划图,用于校正和裁剪遥感影像。

Landsat 8 OLI/TIRS 图像包含 11 个波段:8 个多光谱(波段 1~7 和波段 9)、1 个全色(波段 8)和 2 个热波(波段 10 和波段 11)。为真实反映地物状况,消除太阳高度、地形、大气等因素引起的影像数据重叠、辐射亮度失真等问题,预先对影像进行辐射定标、大气校正、图像镶嵌等预处理工作,其中武汉市夏季影像有少量薄云覆盖(云量为 1.6%),对其进行剔除。

## 1.3 研究方法

### 1.3.1 地表温度反演

LST 作为城市热岛效应研究的重要指标,其重要性不言而喻,尤其是随着遥感数据的逐步应用,劈窗算法、单通道算法和 IB 算法等多种算法成为目前最常用的地表温度反演算法(江振蓝等, 2018)。相比较传统的辐射传输方程,单通道算法具有模型简单、计算效率高、所需参数较少的优点。本文选择 Weng 等(2004)的单窗算法计算地表温度,公式如下:

$$LST = \frac{T_b}{1 + \left( \frac{\lambda T_b}{\rho} \right) \ln \varepsilon} - 273.15 \quad (1)$$

式中:LST 为地表温度(°C); $T_b$ 为辐射亮温(K); $\lambda=10.8 \mu\text{m}$ (波段 10 中心波长); $\rho=hc/\delta=1.438 \times 10^{-2} \text{ mK}$ , $\delta$ 为玻尔兹曼常数, $\delta=1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ;  $h$ 为普朗克常数, $h=6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$ ;  $c$ 为光速, $c=2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$ ;  $\varepsilon$ 是地表比辐射率;273.15 为开氏温度和摄氏温度转换常数。辐射亮温  $T_b$ 、地表比辐射率  $\varepsilon$  计算过程如下。

#### (1) 地表亮温反演

通过遥感影像反演地表温度,首先需要将 Landsat 8 热红外波段(波段 10 和波段 11)的 DN 值转换为辐射亮度值,然后使用这些辐射值推导地表亮度温度(即黑体温度),在统一发射率的假设下计算并使用发射前校准常数,并根据景观的性质校正光

谱发射率。对热红外波段(本文用波段 10)数据经辐射定标之后,根据普朗克函数求解地表亮度温度,其计算公式为(Estoque et al, 2017):

$$T_b = \frac{K_2}{\ln(1 + K_1/L_i)} \quad (2)$$

式中: $L_i$ 为热红外波段辐射亮度值; $K_1$ 和  $K_2$ 为热红外波段的定标常数,TIRS 波段 10 的  $K_1=774.89 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ,  $K_2=1321.08 \text{ K}$ 。

#### (2) 地表比辐射率估算法

当前,计算地表比辐射率的算法包括利用最大与最小比辐射率的差值估算地表比辐射率、NDVI 估算法、利用多时相数据确定地表比辐射率。其中 NDVI 法应用广泛,同时具有相对较高的精度,主要计算过程如下(Sobrino et al, 2004):

$$\varepsilon = m \times P_v + n \quad (3)$$

式中: $m=(\varepsilon_v - \varepsilon_s) - (1 - \varepsilon_s)F\varepsilon_v$ ,  $n=\varepsilon_s + (1 - \varepsilon_s)F\varepsilon_v$ , 其中  $F$  是形状因子, $\varepsilon_s$  和  $\varepsilon_v$  分别是土壤发射率和植被的发射率,此处引用 Sobrino 等(2004)的结果确定  $m$  为 0.004,  $n$  为 0.986;  $P_v$  是植被比率,其计算公式为(Estoque et al, 2015):

$$P_v = \left( \frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}}{\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min}} \right)^2 \quad (4)$$

式中:NDVI 是通过 Landsat 8 波段 4(RED)和波段 5(NIR)表面反射率  $\rho$  计算得到的归一化差异植被指数(Estoque et al, 2015):

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{RED}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{RED}}} \quad (5)$$

### 1.3.2 景观类型划分

使用基于光谱指数的方法将研究区域的遥感图像分为 4 类景观,分别为不透水面、绿地、水体和其他(表 1)。首先使用修正的归一化差异水指数(MNDWI)从图像中提取水体[表 1, 式(6)],MNDWI 被证实比原始的归一化差异水指数(NDWI)的提取结果更精确(徐涵秋, 2005)。各景观分类的阈值确定基于各计算指标图像、原始 Landsat 8 图像和 Google Earth 的高分辨率图经反复测试不同阈值之后手动校准确定。

其次使用可见的红色波段(RED)和近红外波段(NIR)建立  $V_{\text{NIR\_BI}}$  指数,从图像中提取不透水表面[表 1, 式(7)]。Estoque 等(2015)评估并比较了 6 个光谱建成指数,发现  $V_{\text{NIR\_BI}}$  优于其他评估指数,原因是它的结构允许其更准确地分离不透水面与裸地。首先从  $V_{\text{NIR\_BI}}$  图像中屏蔽掉水体,然后应用手动确定的阈值 -0.425 提取不透水表面(表 1)。



表1 景观分类

Tab.1 Landscape categories

景观类别	描述	光谱指数	阈值确定
水体	包括所有的水体(如河流、湖泊、池塘等)	MNDWI	≥0.295
绿地	包括基于植被指数提取的所有植被(如城市绿地、草地、林地、农田等)	NDVI	≥0.350
不透水表面	包括建筑物、道路和所有其他不透水的表面	V <sub>i</sub> NIR_BI	≥-0.425
其他	未被归类为水体、绿地和不透水面的剩余土地	NDVI	<0.350 (除去水体和不透水表面)

$$MNDWI = \frac{\rho_{GREEN} - \rho_{SWIR1}}{\rho_{GREEN} + \rho_{SWIR1}} \tag{6}$$

$$V_iNIR\_BI = \frac{\rho_{RED} - \rho_{NIR}}{\rho_{RED} + \rho_{NIR}} \tag{7}$$

式中： $\rho_{GREEN}$ 、 $\rho_{RED}$ 、 $\rho_{NIR}$ 、 $\rho_{SWIR1}$  分别代表 Landsat 8 影像波段 3~6 的反射率。

第三,使用 NDVI 从图像中提取绿地(表 1),得出研究区域的 NDVI 图之后,去除从前面步骤得到的水体和不透水表面,施加 0.350 的阈值(表 1)仅将较为密集且健康的绿色植被识别为绿地。NDVI 值低于阈值的剩余像素被归类为“其他”。最后,将提取的 4 个类别(水体、不透水表面、绿地和其他)组合起来,得到研究区域的 4 类土地景观图。

1.3.3 相对热岛强度

热岛强度是评价城市热岛效应的一个重要指标,其反映的是城市中某区域温度高于周围区域温度的现象。引入相对热岛强度(刘航等, 2017)来表征城市的热岛效应,热岛强度越高,则相应区域内热岛效应越明显。提取研究区 30 km 范围内的平均温度作为参考,计算热岛强度的公式如下:

$$H = \frac{LST_i - LST_{mean}}{LST_{mean}} \tag{8}$$

式中: $H$ 为相对热岛强度,是一个无量纲值; $LST_i$ 为研究区第  $i$  点的地表温度; $LST_{mean}$ 为区域平均地表温度。

1.3.4 源汇景观贡献度

在过程与格局的研究中,异质景观可以分为源和汇 2 种景观类型,其中源景观是指能促进过程发展的景观类型,汇景观是指能阻止或延缓过程发展的景观类型(陈利顶等, 2006)。因此,根据源汇景观理论及其生态学意义,将影响热岛强度的景观分为 2 类,源景观表示增强 UHI 的工业和开发区、商业区、机场和住宅等区域,汇景观表示减缓 UHI 的植被、城市绿地、农田和水等。在本文中,将基于遥感影像提取的不透水表面作为源景观,将绿地、水体和其他土地作为汇景观,通过源区/汇区与区域平均温

度的差值及面积百分比的乘积来确定其对热岛的贡献度 CI,公式如下(Xu, 2009):

$$CI = (T_i - T_{mean}) \times S_i / S \tag{9}$$

式中: $T_i$ 、 $S_i$ 分别表示某一区域汇区或源区的平均温度与面积; $T_{mean}$ 、 $S$ 分别表示该区域的平均地表温度和面积。一般源区其 CI 值>0,对于汇区其 CI 值<0。

1.3.5 景观效应指数

区域城市热岛的强度取决于区域源景观或汇景观对热岛的贡献度。为实现不同区域城市地表热岛效应的对比分析,文章引入景观效应指数 LI,并将其定义为汇景观与源景观贡献指数比值的绝对值,其公式如下(Xu, 2009):

$$LI = |CI_{sink} / CI_{source}| \tag{10}$$

式中: $CI_{sink}$ 和  $CI_{source}$ 分别为汇区、源区的景观贡献指数。LI 值>1,表征该源汇景观可减缓城市热岛效应;LI 值<1,表征该源汇景观对城市热岛有促进作用;LI 值=1,表明既不促进也不减缓。

1.3.6 城乡梯度分析

通过城乡梯度法分析 LST 的空间异质性及其与不透水面、绿地和水体密度的城乡梯度空间分布。通过以长江与汉江的交汇点为地理中心创建多个环形缓冲区来实现,距离间隔为 1 km。由于城市中心在两江交汇处,1 km 范围内的城市景观以水域为主,不具代表性,因此,本文仅对 2~30 km 的区域进行分析。在每个缓冲区域中,计算 LST 的平均值、源汇景观密度,不透水表面、绿地、水体的密度及其贡献率,并通过双变量相关分析和散点图来确定平均 LST 与源汇景观格局的相互关系。

2 结果与分析

2.1 武汉市地表温度的空间格局分析

为分析武汉城市热岛的空间异质特性,以长江和汉水交汇点为地理中心进行半径为 1 km 的多环缓冲分析(图 2a,图 2b),研究武汉市城乡梯度下的



温度差异特征。就平均LST而言,随着距城市中心距离的增加,夏季平均LST有先升高后降低的态势,而冬季LST表现为波动降低(图2c)。在30 km范围内,夏季平均LST出现3次顶点值,在城市中心平均LST较低,随着距离的增加平均LST逐渐升高,在距地理中心约8 km处达到顶峰后沿着城乡梯度开始逐渐下降,随后分别在16、23 km处出现第2个和第3个顶点值,之后平均LST沿着郊区方向持续下降。冬季平均LST在8 km范围内与夏季呈现出相反的变化特征,8 km后基本保持一致。主要原因为:此范围内的主城区夏季、冬季温度差异显著,夏季主城区以高温为主,属于典型的热岛区域;而冬季主城区以冷岛为主,温度较高的区域出现在青山区的南部、蔡甸区的东北部和江夏区的西北部。从最高LST来看(图2d),夏季与冬季的温度波动起伏较为一致,沿着城乡梯度距离的增加,最高温度

有上升趋势。冬季最低LST沿着城乡梯度方向呈波动下降,而夏季由于河流表面温度最低,因此最低LST基本保持平稳(图2e)。

## 2.2 武汉市热岛强度分区

进一步以武汉市相对热岛强度( $H$ )为依据,分别对武汉市夏季、冬季热岛进行分区,以掌握武汉市不同季节的热岛空间分布特征。通过自然断点法对相似值进行分级,使各个分区之间的相对热岛强度差异最大化。从热岛强度空间分布结合Google影像图来看(表2、图3),武汉市热岛的空间分布基本与城市建成区的布局相一致,集中在工商业集中和人口密集的地区,温度以这些区域为中心向周围扩散降低。这体现了城市扩张带来的景观类型的改变对UHI分布的决定性作用。

分季节来看,夏季武汉市热岛占据主城区绝大部分区域(图3a),其中东北—西南向的长江沿线与

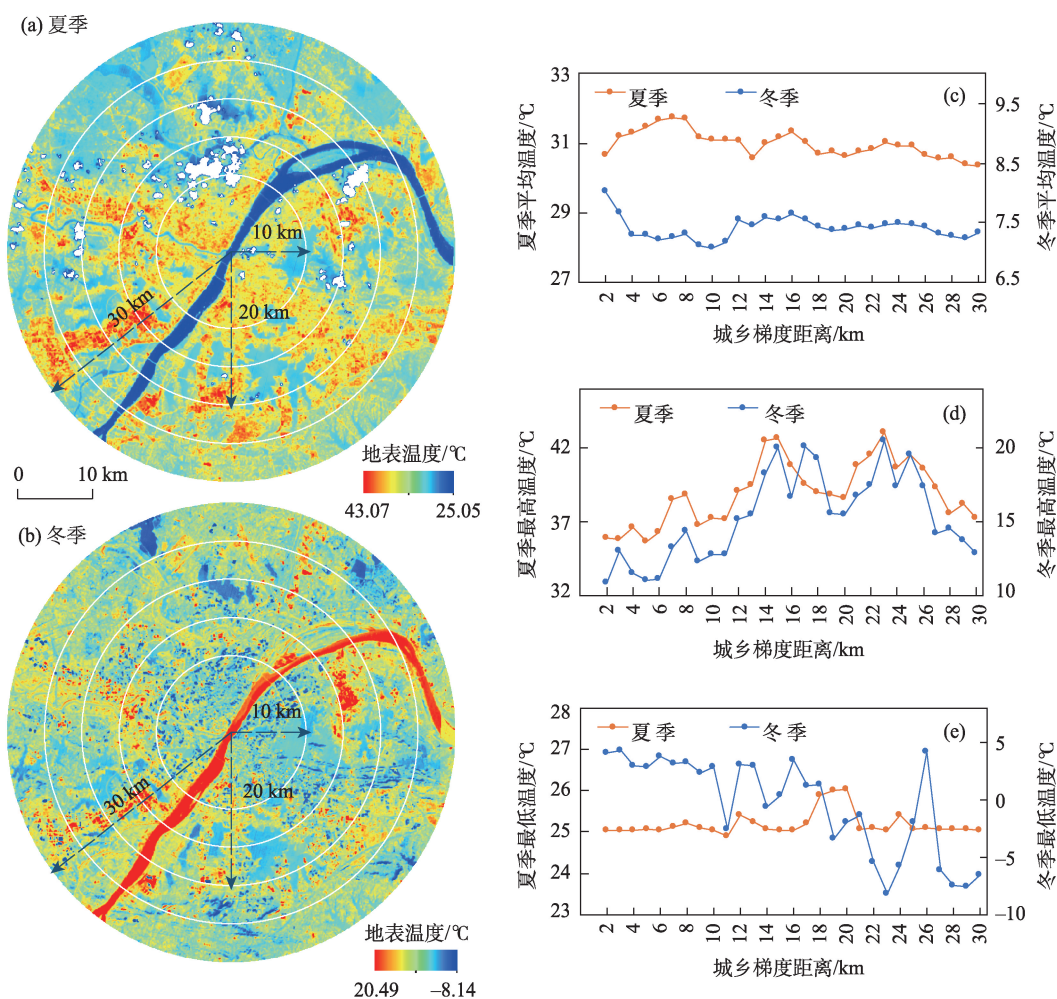


图2 武汉市夏季(a)与冬季(b)地表温度空间分布与城乡梯度下的平均地表温度(c)、最高地表温度(d)、最低地表温度(e)  
Fig.2 Spatial distribution of land surface temperature in summer (a) and winter (b) in Wuhan City; average surface temperature (c), highest surface temperature (d), and lowest surface temperature (e) plots along the urban-rural gradient

表 2 武汉市热岛强度分级标准

Tab.2 Standard of summer urban heat island intensity classification in Wuhan City

等级	极强热岛	中强热岛	次强热岛	弱热岛	弱冷岛	次弱冷岛	中强冷岛	极强冷岛
H(夏季)	>0.13	0.08~0.13	0.04~0.08	0~0.04	-0.03~0	-0.06~-0.03	-0.12~-0.06	≤-0.12
H(冬季)	>0.61	0.29~0.61	0.11~0.29	0~0.11	-0.10~0	-0.22~-0.10	-0.69~-0.22	≤-0.69

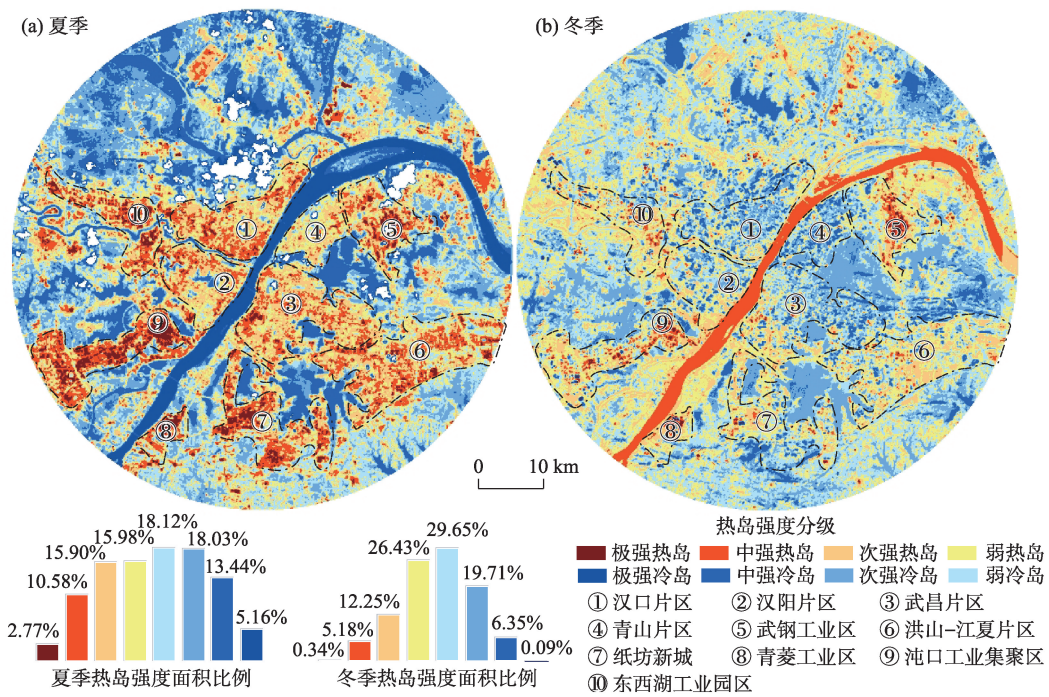


图 3 武汉市夏季(a)与冬季(b)热岛强度空间分布

Fig.3 Spatial distribution of urban heat island intensity grades in summer (a) and winter (b) in Wuhan City

西北—东南方向的汉江水平轴线构成热岛的主十字轴,以江夏纸坊新城与蔡甸沌口工业区为主的热岛集聚区分布在长江两侧,将长江轴一分为二,而长江、汉江、东湖、汤逊湖、马鞍山等大面积自然水域和生态区域穿插在热岛周围,城市热岛整体在空间上呈现出“大”字型的格局。强热岛中心出现在蔡甸沌口片区、武钢工业区、东西湖片区、青菱工业集聚区和江夏纸坊产业新城等 5 个区域,呈现出多中心极强热源的特点;中强热岛以城市建成区为主;次强热岛围绕强热岛中心向外延展;弱热岛则主要分布在沿江、临湖和近山区域;长江、汉水、东湖、汤逊湖、后官湖、马鞍山等大面积自然水域和山体绿地则呈现出明显的冷岛特征。与夏季不同,武汉市冬季呈现出大面积的冷岛效应(图 3b),汤逊湖、东湖、金银湖等较大的水体和其他小型水域仍然是主要的冷岛区,而在二环内的江汉、汉阳、武昌等建成区与夏季相反,也出现冷岛效应;冬季热岛分布

较少,极强、中强热岛仅占研究区面积的 5.52%,分散分布在蔡甸、武钢、青菱工业集聚区。造成以上城区热岛效应的空间分布差异和季节差异,与周围地形、自然水域、建筑构成、区域气候环境、人口活动等因素有关。

2.3 源汇景观类型与地表温度的关系

不同下垫面覆盖类型的地表温度有很大差异,对城市热岛效应贡献不同(张建明等, 2012)。以武汉市 UHI 更为显著的夏季温度数据为基础,统计不同源/汇景观的地表温度情况。由表 3 可知,汇景观的平均 LST 均低于研究区域的平均温度,而不透水面的平均 LST 明显高于研究区的平均温度,达到了 31.65 ℃;水体的温度最低,其平均 LST 只有 28.06 ℃,可见不透水面对 LST 的升高有巨大贡献,而水体则是武汉市最主要的降温汇区。从城乡梯度来看(图 4a),随距城市中心距离的增加,热源的平均 LST 开始逐渐下降,而汇区温度趋于上升,但其



表3 不同源、汇景观类型的地表温度特征

Tab.3 Land surface temperature characteristics of different source-sink landscape types

景观类型		平均LST/℃	相对热岛强度H
汇景观	水体	28.06	-0.07
	绿地	30.06	0.03
	其他	31.03	0.01
源景观	不透水表面	31.65	0.07
武汉市研究区域		30.82	—

平均LST一直低于源区;在4类源汇景观(图4b)中,不透水面、其他用地和绿地的变化具有较高的一致性,即随着距离城市中心的位置越来越远,温度逐渐开始降低,水体温度虽趋于上升,但其一直是四者中的最低温度,因此区域平均LST沿着城乡梯度逐渐减小。

用密度来表示不同区域源汇景观的面积比例组合,表4为武汉市2017年的夏季LST与不透水面、绿地、水体和其他土地密度之间的相关系数。由表4可知,LST与源、汇景观因素显著相关,具体表现为与源景观即不透水面具有极大的正相关性,二者相关系数为0.831,说明不透水面增加会促使城市LST升高,促进城市热岛形成;热汇中水体密度与LST则表现出明显的负相关,二者相关系数为-0.781,因此保护和利用城市水体和湿地能有效抑制或缓解城市热岛效应;而绿地密度与LST相关性不明显,由于武汉市夏季地表温度很高,但主城区绿地核心面积较小且较为分散,削弱了绿地对地表温度的降温效果,因此与地表温度的相关性较弱。

此外根据散点图(图5b),发现不透水表面对平均LST的影响(斜率绝对值为5.7236)大于水体(5.5401)和绿地(0.3653)。进一步分析平均LST与景观密度的变化(图5a),发现武汉市夏季平均LST与不透水面密度均在8 km处达到最大值,之后开始逐渐下降,随着缓冲距离的增加,平均LST先后在17 km和23 km处达到区域温度最高值,而热源密度同样在这2处出现顶点值;相反,平均LST与汇景观密度变化则表现为相反趋势,汇景观的密度随着城乡梯度距离的增加而增加,但平均LST却逐渐降低。由此可见,源汇景观分布对LST有决定性作用。

2.4 基于城乡梯度的源汇景观贡献度分析

将整个研究区域划分为以长江和汉江交汇点为中心的30个环形区域,并提取每个环形上的景观指数和LST的平均值,进一步衡量不同源汇景观类型及组成对LST的贡献与空间异质性。由图6a可知,热岛源区CI指数在30 km处出现负值,原因是该区域源景观的平均LST低于研究区的平均值,其余区域均为正值(图6a),并沿着城乡梯度向外逐渐减小;热岛汇区CI指数均为负值,在8 km的区域内汇区CI的绝对值不断下降,这也是平均LST在0~8 km范围内不断升高的主要原因,随后汇区CI的绝对值呈波动变化。在高温区,热源景观占有绝对优势,因而在地理中心周围源景观对热岛效应的贡献值也最高,随着城乡梯度距离的增加,热源所占比例逐渐减少,汇区的比重明显增加,热岛效应开始减弱,源景观对热岛效应的贡献度也随之降低。而随着距城市中心距离的增加,水体的密度逐渐降

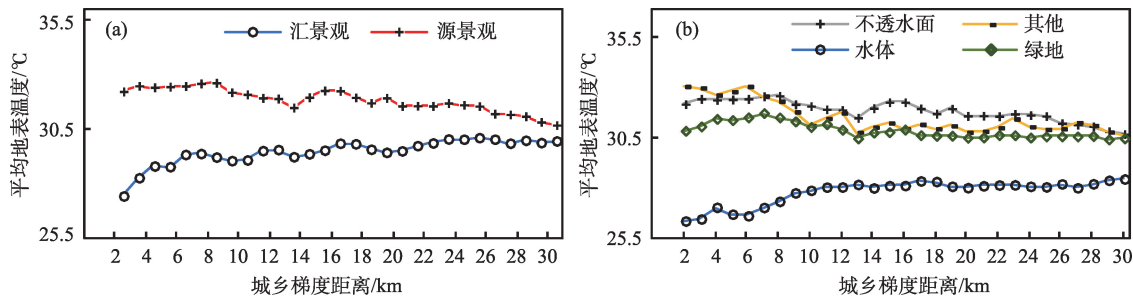


图4 不同源汇景观平均地表温度变化

Fig.4 Average land surface temperature change of different source-sink landscapes

表4 地表平均温度与源汇景观密度相关性

Tab.4 Correlation between surface mean temperature and source-sink landscape density

景观密度	源景观密度	不透水面密度	汇景观密度	水体密度	绿地密度	其他土地密度
与平均地表温度的Pearson相关性	0.831**	0.831**	-0.831**	-0.781**	-0.049	-0.153

注:\*\*、\*分别表示在0.01、0.05水平(双侧)上显著相关。



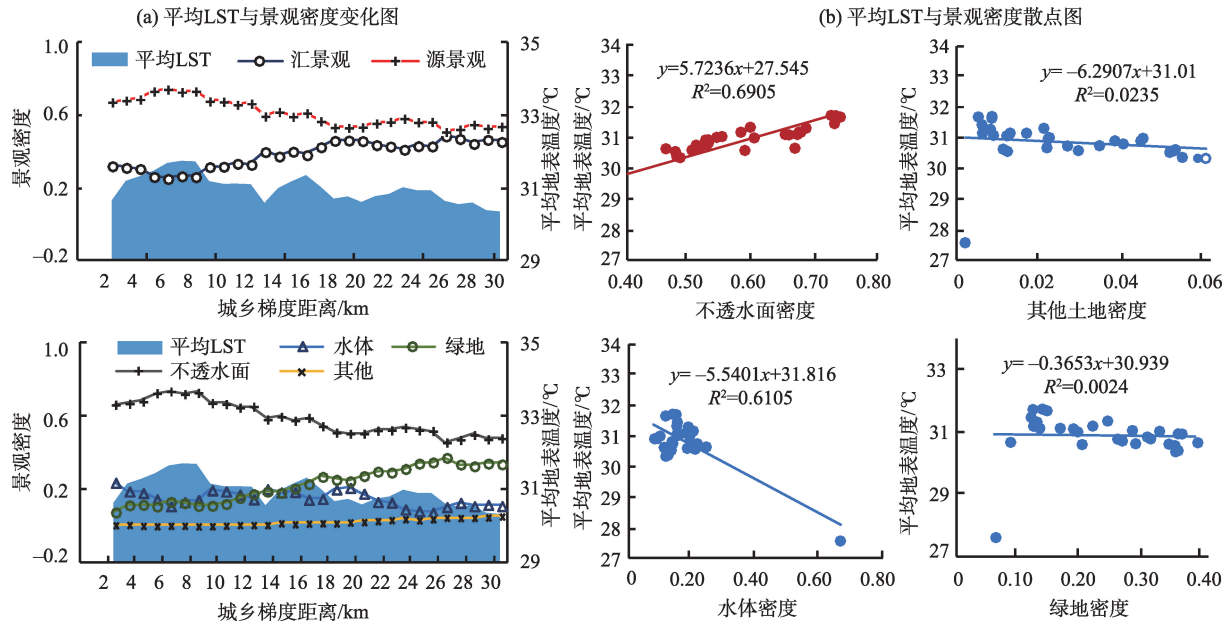


图5 城乡梯度下的地表平均温度与源汇景观密度变化

Fig.5 Land surface temperature and density change of source-sink landscapes along the urban-rural gradient

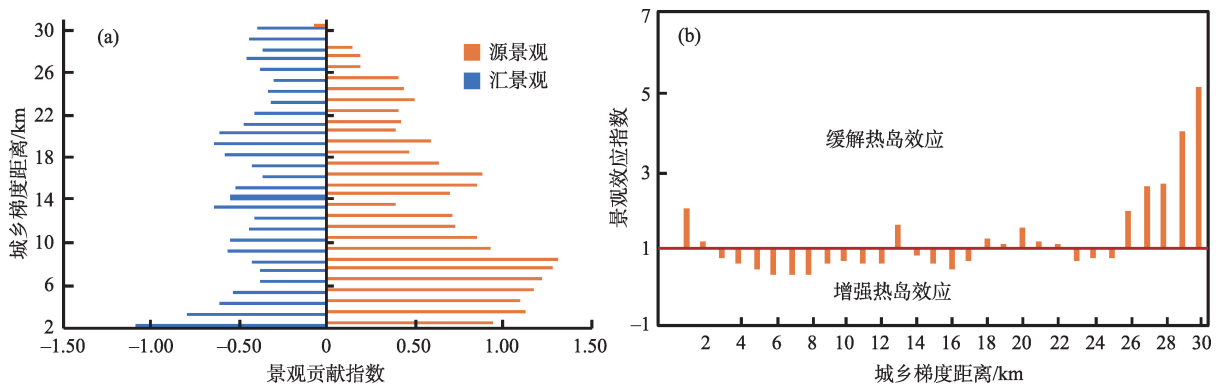


图6 城乡梯度距离下源汇景观贡献指数(a)与景观效应指数(b)变化

Fig.6 Source and sink landscapes contribution index (a) and landscape effect index (b) along the urban-rural gradient

低,绿地的密度逐渐变大(图 5a),在 13 km 后成为主要的汇景观类型,但其 CI 的绝对值仍然小于水体,说明水体是主要的热汇贡献因子,因此在提倡增加绿地的同时,需格外注重河流、湖泊、坑塘等自然水体和湿地的保护。

## 2.5 景观效应评价

景观效应指数能够有效反映局部区域景观对 UHI 的贡献(Xu, 2009; 李丽光等, 2013)。计算城乡梯度下的景观效应指数 LI,  $LI > 1$ , 表征该景观格局对 UHI 有减缓作用,数字越大减缓效果越好;  $LI < 1$  时,表征该景观组分对 UHI 有促进作用,且数字越小促进作用越强。从图 6b 可以看出,在距城市中心 17 km 的范围内,源汇景观格局以加剧热岛效应为

主;而在 17 km 后,沿着城乡梯度的景观组分以减缓热岛效应为主,且在 26~30 km 的区域内,LI 值逐渐增大,表明局部尺度对城市整体的 UHI 的减缓作用越来越大。但在 23~25 km 的范围内存在  $LI < 1$  的情况,主要原因是在该区域存在着青菱工业区这一极强热岛中心,使局部源区温度显著高于区域平均温度,因而  $LI < 1$ ,加剧了整个研究区域的城市热岛。进一步分析可减缓城市热岛区域的源汇景观格局(图 7),发现  $LI > 1$  的区域其汇-源景观面积比表现出  $> 0.89$  的特征。其中在 23~25 km 处汇-源景观密度比  $> 0.89$ ,但由于极强热岛的存在,局部温度与研究区平均温度差值很大,因此仍以促进热岛效应为主;同时在 26~30 km 的连续范围内,汇-源景观面

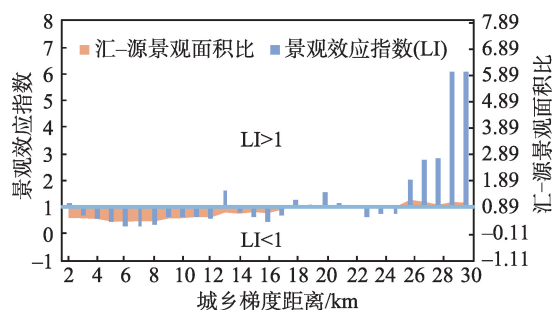


图7 景观效应指数与景观密度变化

Fig.7 Landscape effect index and landscape density change

积比较接近,但其景观效应指数LI却逐渐增大,可见局部汇景观的聚集更有助于减缓UHI。综合来看,当汇-源景观面积比 $>0.89$ (汇景观密度 $>0.47$ )时,局部景观格局对城市热岛有缓解作用,且局部汇区越集中缓解效果越显著。

### 3 讨论

#### 3.1 武汉市冬夏季节热岛特征

武汉市夏季与冬季UHI存在明显差异。夏季长江表面温度最低,其次是大型湖泊等水体以及公园、山体等绿地,在主城区二环线以内则表现为集中连片的热岛效应;冬季与夏季相反,武汉市主城区内温度比其他区域温度低,从而形成一个冷岛,这与刘帅等(2014)研究结果相同;但不同于汉阳、武昌、汉口等城市中心区域,武钢工业区、蔡甸沌口产业集聚区和青菱工业产业区在夏季与冬季均呈现出强烈的热岛特征,证明工业集聚区和经济开发区比人口密集的商业中心和住宅区产生的UHI更明显,杨敏等(2018)通过研究北京市工厂区和住宅区与UHI之间的关系,得出相同结论,即工厂区对热分布的影响远远大于住宅区对热分布的影响。因此城市规划者和设计者更应该重视对工业集聚区和经济开发区的安排和布局。

#### 3.2 武汉市城市热岛强度空间分布

武汉市UHI整体在空间上呈现“大”字型格局分布。其中密集的工业区和经济开发区成为极强热岛中心;城市中心区的相对热岛强度次之;而越靠近研究区边缘,热岛强度越小,且呈碎片化分布;城市中的冷岛区域以块状或面状分布的城市公园、湖泊和山体为主。武汉市UHI强度空间分布与源汇景观格局基本一致。武汉主城区大部分区域为不透水面即源景观,尤其是长江与汉江沿线呈连片

布局,覆盖范围大、城市化程度较高,因此UHI较为明显;汇景观则呈环形分布在不透水面周围,其中城市绿地主要集中分布于武汉东湖风景区、严西湖湿地生态园等大型山体周围,其他则呈点状分散分布于城市建成区;城市水体则以带状分布的长江、汉江,以及面状或块状分布的东湖、南湖、汤逊湖、后宫湖等城市湖泊为主,也是主要的冷岛区。可见源汇景观分布对UHI有显著影响。

#### 3.3 源汇景观与城乡梯度下的LST变化

在城乡梯度距离下分析平均LST与源汇景观的密度变化特征,发现平均LST的变化与源区景观的密度变化呈现高度一致性,与汇区景观密度变化表现为相反趋势。武汉市夏季平均LST在8 km附近达到峰值之后趋缓,在此范围内不透水面即热源密度同样不断增大直到8 km后开始逐渐下降,随着缓冲距离的增加,平均LST先后在17 km和23 km处达到区域温度最高值,而热源密度同样在这2处出现顶点值;而随着城乡梯度距离的增加,汇景观的密度趋于增加,平均LST逐渐降低。由此可见源汇景观分布对LST有决定性作用。

此外,结果表明武汉市平均LST在距市中心约8 km处达到峰值,呈现出中心或边缘温度小、中间温度大的“倒钩型”特点。该结果与Estoque等(2017)的研究结果(曼谷、雅加达、马尼拉的平均LST分别在距离市中心约9、3、10 km处达到峰值)类似。研究还发现,在2~8 km的地区温度最高,但绿地等汇景观密度最低。因此,建议政策管理者和城市规划者应该着重注意减缓这些地区的UHI影响。例如,应鼓励建立绿化屋顶,提高住宅区绿化面积,发展城市公园等以增加绿地面积,缓解城市热岛效应。

#### 3.4 源汇景观对城市热岛效应的贡献

研究结果表明,平均LST与基于沿城乡梯度的缓冲区测量的源密度(正)和汇密度(负)显著相关(表4、图5)。从图5散点图中可以看出,在源汇景观中,不透水表面对LST的影响大于水体和绿地。从同一图中可以看出,绿地对武汉市的平均LST影响较小,这与绿地和平均LST的Pearson相关系数值结果相同,即绿地和LST不存在显著相关关系,谢启娇等(谢启娇等, 2018)关于武汉市的研究得出相同结论,主要原因为武汉市夏季地表温度很高,但主城区绿地核心面积较小且较为分散,削弱了绿地对地表温度的降温效果,因此与地表温度的相关性

较弱。但也有研究认为绿地和UHI存在显著相关关系(张昌顺等, 2015; 袁振等, 2017),

通过分析源汇景观指数和平均LST的关系,发现源汇景观对城市热岛效应具有重要影响。城市的不透水表面对LST有巨大贡献,是城市热岛强度的主要贡献因子。在城市中心周围源汇景观对热岛效应的贡献值最高,距离中心越远,热岛效应越不明显,源景观对热岛效应的贡献度也随之降低;同样地,越靠近城市中心,汇景观对减缓热岛效应的贡献就越大。此外发现,相同面积比例的绿地和水体,绿地的CI绝对值小于水体,表明水体更具有削弱城市热岛效应的功能。这与上文结果相同,即水体对LST的影响大于绿地,说明水体可以显著降低地表温度,水体的降温作用对分割和控制城市热岛效应的分布具有重要的实际意义。因此,合理布局城市建设用地和规划城市发展方向,优化城市景观格局,保护自然水域,避免自然水域向耕地、建设用地的转变有助于缓解城市热岛效应。

此外,研究发现景观效应指数LI能够有效反映局部区域景观组分对UHI的贡献,一般当汇-源景观面积比 $<0.89$ ,即源景观密度 $>0.53$ 时,该景观格局将显著驱动城市的热岛效应。此外,当局部地区存在极强热岛中心时,需要比 $0.89$ 更大的景观面积比,即需要比一般情况下更多的汇区密度才能缓解区域城市热岛效应。但值得一提的是,本文的研究是基于 $1\text{ km}$ 的城乡梯度距离进行统计分析,而不同的统计粒度和幅度也许会产生不同的阈值。因此下一步研究的重点方向是确定不同空间和统计尺度下,可有效缓解UHI的源汇景观组分的阈值区间,以及处于不同经纬度地区的阈值变化。

## 4 结论

本文利用Landsat 8 OLI/TIRS数据结合地理空间分析和数理统计方法,在掌握武汉市地表温度和热岛空间分布特征的基础上,考虑过程与格局的生态内涵,研究了武汉市LST与不透水面、水体、绿地等源汇景观密度的关系及其贡献度,研究发现平均LST与源(正向)、汇景观(负向)密度之间存在显著的相关性,不透水面对LST影响最大,其次是水体,绿地的贡献最小;在城市中心,源、汇景观对热岛的贡献最大,之后沿着城乡梯度方向逐渐减小。使用景观效应指数评价局部景观组分对武汉市UHI的作

用,发现在 $17\text{ km}$ 左右,区域景观格局由促进城市升温转为以降温为主,结果还表明当汇-源景观面积比 $>0.89$ 时,局部景观格局将显著缓解城市热岛效应,且局部汇区越集中对UHI的缓解效果越显著。这一面积配比阈值可为城市绿色基础设施规划和城市景观规划提供参考。

同时,本文研究结果还强调城市规划者和政策制定者应着重关注距城市中心 $2\sim 8\text{ km}$ 之间的区域,因为这些区域内的平均LST很高但绿地密度低。此外,结果突出了水体在减轻UHI影响方面的重要作用,这是一项重要的城市生态系统服务。因此,在景观和城市规划中除了考虑绿地的丰富度和空间格局外,更需要注重河流湖泊和坑塘水面等自然水域的保护。建议城市规划者和决策者限制自然水域向耕地、建设用地等其他用地的转变,同时通过聚集植被以及分散不透水表面(例如建筑物、道路和停车场)来优化城市景观的空间布局,以减轻UHI影响,使城市可以拥有更健康、舒适的城市生活环境。

## 参考文献(References)

- 陈爱莲, 孙然好, 陈利顶. 2012. 基于景观格局的城市热岛研究进展 [J]. 生态学报, 32(14): 4553-4565. [Chen A L, Sun R H, Chen L D. 2012. Studies on urban heat island from a landscape pattern view: A review. Acta Ecologica Sinica, 32(14): 4553-4565. ]
- 陈利顶, 傅伯杰, 赵文武. 2006. “源”“汇”景观理论及其生态学意义 [J]. 生态学报, 26(5): 1444-1449. [Chen L D, Fu B J, Zhao W W. 2006. Source-sink landscape theory and its ecological significance. Acta Ecologica Sinica, 26(5): 1444-1449. ]
- 黄元, 岳德鹏, Di Y, 等. 2017. 基于数据同化与CA模型的包头市热岛模拟预测研究 [J]. 资源科学, 39(11): 2197-2207. [Huang Y, Yue D P, Di Y, et al. 2017. Simulation of heat island based on data assimilation and CA model in Baotou City. Resources Science, 39(11): 2197-2207. ]
- 江颖慧, 焦利民, 张博恩. 2018. 城市地表温度与NDVI空间相关性的尺度效应 [J]. 地理科学进展, 37(10): 1362-1370. [Jiang Y H, Jiao L M, Zhang B E. 2018. Scale effect of the spatial correlation between urban land surface temperature and NDVI. Progress in Geography, 37(10): 1362-1370. ]
- 江振蓝, 龚振彬, 潘辉, 等. 2018. 空间自相关局部指标在城市热岛界定中的应用 [J]. 国土资源遥感, 30(3): 136-142. [Jiang J L, Gong Z B, Pan H, et al. 2018. Application of lo-



- cal spatial autocorrelation indices to the delimitation of urban heat island. *Remote Sensing for Land & Resources*, 30(3): 136-142. ]
- 蒋金亮, 徐建刚, 吴文佳, 等. 2014. 中国人-地碳源汇系统空间格局演变及其特征分析 [J]. *自然资源学报*, 29(5): 757-768. [Jiang J L, Xu J G, Wu W J, et al. 2014. Patterns and dynamics of China's human-nature carbon source-sink system. *Journal of Natural Resources*, 29(5): 757-768. ]
- 李斌, 王慧敏, 秦明周, 等. 2017. NDVI、NDMI与地表温度关系的对比研究 [J]. *地理科学进展*, 36(5): 585-596. [Li B, Wang H M, Qin M Z, et al. 2017. Comparative study on the correlations between NDVI, NDMI and LST. *Progress in Geography*, 36(5): 585-596. ]
- 李丽光, 许申来, 王宏博, 等. 2013. 基于源汇指数的沈阳热岛效应 [J]. *应用生态学报*, 24(12): 3446-3452. [Li L G, Xu S L, Wang H B, et al. 2013. Urban heat island effect based on urban heat island source and sink indices in Shenyang, Northeast China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 24(12): 3446-3452. ]
- 梁益同, 陈正洪, 夏智宏. 2010. 基于RS和GIS的武汉城市热岛效应年代演变及其机理分析 [J]. *长江流域资源与环境*, 19(8): 914-918. [Liang Y T, Chen Z H, Xia Z H. 2010. Decades change and mechanism of the urban island effect in Wuhan based on RS and GIS. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 19(8): 914-918. ]
- 刘航, 申格, 黄青. 2017. 近10a武汉市城市热岛效应演变及其与土地利用变化的关系 [J]. *长江流域资源与环境*, 26(9): 1466-1475. [Liu H, Shen G, Huang Q. 2017. Evolution of urban heat island effect and its relationship with land use change in Wuhan City in recent 10 years. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 26(9): 1466-1475. ]
- 刘帅, 李琦, 朱亚杰. 2014. 基于HJ-1B的城市热岛季节变化研究: 以北京市为例 [J]. *地理科学*, 34(1): 84-88. [Liu S, Li Q, Zhu Y J. 2014. Study on seasonal variation of urban heat island with HJ-1B satellite imagery: A case study of Beijing. *Scientia Geographica Sinica*, 34(1): 84-88. ]
- 刘焱序, 彭建, 王仰麟. 2017. 城市热岛效应与景观格局的关联: 从城市规模、景观组分到空间构型 [J]. *生态学报*, 37(23): 7769-7780. [Liu Y X, Peng J, Wang Y L. 2017. Relationship between urban heat island and landscape patterns: From city size and landscape composition to spatial configuration. *Acta Ecologica Sinica*, 37(23): 7769-7780. ]
- 谢启姣, 段吕晗, 汪正祥. 2018. 夏季城市景观格局对热场空间分布的影响: 以武汉为例 [J]. *长江流域资源与环境*, 27(8): 1735-1744. [Xie Q J, Duan L H, Wang Z X. 2018. Impact of urban landscape pattern on spatial distribution of thermal field in summer: A case study of Wuhan. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 27(8): 1735-1744. ]
- 徐涵秋. 2005. 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*, 9(5): 589-595. [Xu H Q. 2005. A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI). *Journal of Remote Sensing*, 9(5): 589-595. ]
- 许凯, 余添添, 孙姣姣, 等. 2017. 顾及尺度效应的多源遥感数据"源""汇"景观的大气霾效应 [J]. *环境科学*, 38(12): 4905-4912. [Xu K, Yu T T, Sun J J, et al. 2017. Effect of atmospheric haze based on multi-source remote sensing data considering the size effect of landscape sources and sinks. *Environmental Science*, 38(12): 4905-4912. ]
- 杨敏, 杨贵军, 王艳杰, 等. 2018. 北京城市热岛效应时空变化遥感分析 [J]. *国土资源遥感*, 30(3): 213-223. [Yang M, Yang G J, Wang Y J, et al. 2018. Remote sensing analysis of temporal-spatial variations of urban heat island effect over Beijing. *Remote Sensing for Land & Resources*, 30(3): 213-223. ]
- 杨守业, 印萍. 2018. 自然环境变化与人类活动影响下的中小河流沉积物源汇过程 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 38(1): 1-10. [Yang S Y, Yin P. 2018. Sediment source-to-sink processes of small mountainous rivers under the impacts of nature environmental changes and human activities. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 38(1): 1-10. ]
- 袁振, 吴相利, 臧淑英, 等. 2017. 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*, 37(10): 1600-1608. [Yuan Z, Wu X L, Zang S Y, et al. 2017. Cooling effect of green patches based on TM image in Harbin downtown city. *Scientia Geographica Sinica*, 37(10): 1600-1608. ]
- 张昌顺, 谢高地, 鲁春霞, 等. 2015. 北京城市绿地对热岛效应的缓解作用 [J]. *资源科学*, 37(6): 1156-1165. [Zhang C S, Xie G D, Lu C X, et al. 2015. The mitigating effects of different urban green lands on the heat island effect in Beijing. *Resources Science*, 37(6): 1156-1165. ]
- 张建国, 王鹏龙, 马宁, 等. 2012. 河谷地形下兰州市城市热岛效应的时空演变研究 [J]. *地理科学*, 32(12): 1530-1537. [Zhang J M, Wang P L, Ma N, et al. 2012. Spatial-temporal evolution of urban heat island effect in basin valley: A case study of Lanzhou City. *Scientia Geographica Sinica*, 32(12): 1530-1537. ]
- Bokaie M, Zarkesh M K, Arasteh P D, et al. 2016. Assessment of urban heat island based on the relationship between land

- surface temperature and land use/land cover in Tehran [J]. *Sustainable Cities and Society*, 23: 94-104.
- Estoque R C, Murayama Y, Myint S W. 2017. Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia [J]. *Science of the Total Environment*, 577: 349-359.
- Estoque R C, Murayama Y. 2015. Classification and change detection of built-up lands from Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI/TIRS imageries: A comparative assessment of various spectral indices [J]. *Ecological Indicators*, 56: 205-217.
- Li W, Cao Q, Lang K, et al. 2017. Linking potential heat source and sink to urban heat island: Heterogeneous effects of landscape pattern on land surface temperature [J]. *Science of the Total Environment*, 586: 457-465.
- Mathew A, Khandelwal S, Kaul N. 2016. Spatial and temporal variations of urban heat island effect and the effect of percentage impervious surface area and elevation on land surface temperature: Study of Chandigarh City, India [J]. *Sustainable Cities and Society*, 26: 264-277.
- Miles V, Esau I. 2017. Seasonal and spatial characteristics of urban heat islands (UHS) in Northern West Siberian cities [J]. *Remote Sensing*, 9(10), doi: 10.3390/rs9100989.
- Santamouris M. 2014. Cooling the cities: A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments [J]. *Solar Energy*, 103: 682-703.
- Sobrino J A, Jimenez-Munoz J C, Paolini L. 2004. Land surface temperature retrieval from Landsat TM 5 [J]. *Remote Sensing of Environment*, 90(4): 434-440.
- Song J, Du S, Feng X, et al. 2014. The relationships between landscape compositions and land surface temperature: Quantifying their resolution sensitivity with spatial regression models [J]. *Landscape and Urban Planning*, 123: 145-157.
- Voogt J A, Oke T R. 2003. Thermal remote sensing of urban climates [J]. *Remote Sensing of Environment*, 86(3): 370-384.
- Weng Q, Lu D, Schubring J. 2004. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies [J]. *Remote Sensing of Environment*, 89(4): 467-483.
- Xu S. 2009. An approach to analyzing the intensity of the daytime surface urban heat island effect at a local scale [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 151(1-4): 289-300.
- Zhang X, Estoque R C, Murayama Y. 2017. An urban heat island study in Nanchang City, China based on land surface temperature and social-ecological variables [J]. *Sustainable Cities and Society*, 32: 557-568.
- Zhou B, Rybski D, Kropp J P. 2017. The role of city size and urban form in the surface urban heat island [J]. *Scientific Reports*, 7(1): 4791. doi: 10.1038/s41598-017-04242-2.
- Zhou X, Wang Y. 2011. Spatial-temporal dynamics of urban green space in response to rapid urbanization and greening policies [J]. *Landscape and Urban Planning*, 100(3): 268-277.

## Effects of source and sink landscape pattern on land surface temperature: An urban heat island study in Wuhan City

GAO Jing<sup>1</sup>, GONG Jian<sup>1,2\*</sup>, LI Jingye<sup>1</sup>

(1. School of Public Administration, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. The Key Laboratory of the Ministry of Land and Resources for Legal Evaluation Engineering, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Due to its adverse impacts on urban ecological environment and the overall livability of cities, the urban heat island (UHI) phenomenon has become a major research focus in various interrelated fields. This study sought to evaluate the intensity of land surface temperature (LST) and the spatial pattern of source and sink landscape in the metropolitan areas of Wuhan City at a local scale, by examining urban surface temperature, landscape density of source and sink, contribution of source and sink, and landscape effect index. Landsat 8 OLI/TIRS data and geospatial approaches as well as statistical analysis were used to facilitate the analysis. The results shows that: 1) The UHI effect in Wuhan City has obvious seasonal changes and the intensity of UHI is strong in summer; the UHI generated by industrial agglomeration areas and economic development zones is more significant. 2) The mean LST of the city gradually declines along the urban-rural gradient after reaching the peak at about 8 km from the city center, showing a "barb-shaped" feature, which is closely related to the change of landscape density. 3) We found a significant strong correlation between mean LST and the density of source (positive) and sink (negative) landscape, and impervious surface is the main contributing factor of UHI. 4) With the same density of water and green spaces, water has greater potential of weakening the UHI effects. 5) Generally, when the areal ratio of sink-source landscape is greater than 0.89 (sink density greater than 0.47), the local landscape pattern has a mitigating effect on UHI. The more concentrated the local sink areas, the more significant the mitigation effect is.

**Keywords:** land surface temperature (LST); source and sink landscape; urban heat island (UHI); urban-rural gradient; Wuhan City