

重庆市南岸区土地利用与地表温度响应研究

周韩梅¹, 董飞² (1. 西南大学经济管理学院, 重庆 400715; 2. 重庆工商大学环境与资源学院, 重庆 400067)

摘要 以重庆市南岸区为例, 应用遥感技术和地理信息系统技术, 选取 Landsat 5 TM 影像和 Landsat 8 OLI_TIRS 影像作为主要数据源, 基于单窗算法反演地表温度, 并结合该区土地利用变化研究两者的响应关系。结果表明, 南岸区耕地和林地减少, 建设用地在增加, 共有 31.32 km² 的耕地和林地转为建设用地; 南岸区的高温区由西部逐渐转移到中部和南部, 2013 年之前的升温区和降温区呈现东西均匀分布, 2013 年之后大部分区域处于升温区; 南岸区不同土地利用类型的地表温度高低以及升温速率呈现出建设用地>耕地>林地>水域; 城市土地连片扩大会升高地表温度, 林地在规模范围内对地表温度能产生显著的降温效应。

关键词 土地利用; 地表温度; 单窗算法; 响应; 微域尺度; 重庆市南岸区

中图分类号 F323.2 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)15-0079-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.15.021



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research on Response of Land Use and Surface Temperature in Nan'an District of Chongqing City

ZHOU Han-mei¹, DONG Fei² (1. School of Economics and Management, Southwest University, Chongqing 400715; 2. School of Environment and Resources, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067)

Abstract Taking Nan'an District of Chongqing City as an example, remote sensing technology and GIS technology were applied. We used Landsat 5 TM image and Landsat 8 OLI_TIRS image as the main data source, based on the single-window algorithm to invert the surface temperature, and combined with the land use change in the area to study the relationship between the two responses. The result showed that arable land and forest land were being reduced, and construction land was being increased in the Nan'an District, and a total of 31.32 km² of arable land and forest land had been converted to construction land. The high temperature area in Nan'an District gradually shifted from the west to the middle and the south. The warming and cooling areas before 2013 showed an even distribution from east to west, and most of the areas were in the warming area after 2013. The surface temperature of different land use types in Nan'an District and the warming rate presented construction land>arable land>forest land>water areas. The expansion of urban land will increase surface temperature, and the forest land in the scope of land surface temperature can produce a significant cooling response.

Key words Land use; Surface temperature; Single-window algorithm; Response; Microdomain scale; Nan'an District of Chongqing City

土地利用/覆被变化(简称 LUCC)是全球变化研究的重要领域,是学术界最为关注的热点问题之一^[1-2]。目前,农村人口大量涌入城市地区以及城镇化进程加速,快速城市化导致土地利用与覆被格局发生剧烈变化,对城市生态系统的影响主要是不透水地面增加、水域和林地的大量占用、废弃垃圾物品的大量输出等,致使城市地表温度上升。20 世纪 50 年代,Manley 正式将这种现象定义为“城市热岛效应”(urban heat island, UHI)^[3-5]。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)发表的气候变化评估报告指出近百年来地球表面温度将保持上升的趋势^[6]。城市热岛效应、生态用地缩减、雾霾污染等生态问题,对城市人居环境的改善和城市可持续发展造成严重的影响^[7-9]。当前,随着遥感技术和地理信息系统技术的快速发展,将其应用到土地利用覆被变化以及地表温度变化过程中,为两者进行动态监测提供了技术支持^[10-12]。

在 19 世纪 80 年代初,Howard 对比研究伦敦城市中心和郊区地表温度,第一次公布了城市中心与郊区的地表温度具有差异性^[13],此后科学家逐步意识到城市地表温度对气候变化影响的重要性,开始不断地研究地表温度反演方法,使得获取地表温度的途径更加便捷^[14-15]。为了不破坏地表热力学状态,科学家们大多采用地表温度反演的技术去研究城市地表温度。覃志豪等^[16]采用 Landsat 5 TM 数据的第 6 波段,基于单窗算法反演地表温度,该算法基于热辐射强度公

式、亮度温度公式等,将地表辐射率、大气透射率和大气平均温度输入到单窗算法的公式当中即可反演出地表温度,并且地表温度是经过实测值校正过,其误差范围较小。胡德勇等^[17]利用 Landsat 8 热红外数据结合单窗算法反演地表温度,指出 Landsat 8 TIRS 的第 10 波段可以通过改进的单窗算法反演地表温度,并且反演地表温度的平均误差较小,相关系数较大。关于土地利用与地表温度的研究,国内外学者聚焦于城市层面,并取得了许多代表性成果。Hung 等^[1]利用 TERRA/M ODIS 数据和 Landsat 系列影像,研究亚洲 18 个大城市的城市热岛效应强度的空间分布特征,并指出地表温度与植被覆盖度之间的相关性。陈峰等^[18]分别对北京、上海、沈阳和武汉 4 个城市的热岛效应进行分析,并结合城市下垫面的空间分布特征进行了相关性统计分析;刘航等^[19]以武汉市为例,应用遥感技术和地理信息系统技术分析武汉市 11 个辖区城市热岛效应动态变化特征及热岛效应与土地利用变化的关系,结果发现建筑用地面积的增加是城市热岛强度面积扩张的重要影响因素。针对土地利用变化与地表温度变化之间的相关性,学者或是从静态角度出发,研究不同土地利用类型所对应的地表温度高低,揭示出两者的相关性,或是从动态出发,分别研究土地利用类型和地表温度的时空分布特征,将两者叠加揭示出其时空演变格局^[20-23]。基于上述分析,大多文献都集中在城市层面^[24-25],并针对较大区域进行相关性分析,土地利用覆被变化并不只是体现在城市土地扩增方面,在城市化过程中还应考虑到农村耕地面积的减少,并由此带来地表温度变化的现象。因此,笔者选取土地

作者简介 周韩梅(1995—),女,重庆人,硕士研究生,研究方向:土地利用与区域发展、农村经济。

收稿日期 2021-03-22

利用强度高、属于城乡结合部的重庆市南岸区作为研究区域,将运用最新遥感影像,结合遥感技术和地理信息系统技术,利用单窗算法反演微域尺度下的地表温度,进而定量分析该区域土地利用覆被变化和地表温度变化的时空分布特征,并分析两者的响应关系,以期缓解城市热岛效应、合理利用土地等提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 重庆市南岸区是重庆主城九区之一,地理坐标为 $106^{\circ}03'14''\sim 106^{\circ}47'02''E$ 、 $29^{\circ}27'02''\sim 29^{\circ}37'02''N$,南岸区两面临江,长江经西面流向北面辖区,东部和南部与巴南区相邻,与江北区、渝中区、九龙坡区相隔一条长江(图1)。南岸区土地面积为 263.09 km^2 ,辖区内共有8个街道和

7个乡镇。南岸区位于川东平行岭谷区,地处亚热带季风。2018年末南岸区户籍人口达73.68万,较2017年增长了2.4万,增长率约为3.37%,2018年南岸区实现地区生产总值为724.78亿元,同比增长2.9%,人均GDP为79646元。2000年重庆市南岸区城乡、工矿、居民用地面积为 62.89 km^2 ,到2018年末扩增至 94.52 km^2 ,年均扩增至 1.76 km^2 ,并且在此期间耕地面积由 43.44 km^2 减少至 25.99 km^2 ,其土地利用覆被变化强度逐年增强。

该研究以重庆市南岸区作为研究区域,其具有区位独特、社会经济发展速度快、土地利用强度高等特点,属于城市特大都市区,研究其土地利用覆被变化与地表温度变化的响应关系具有极其重要的研究价值和意义。

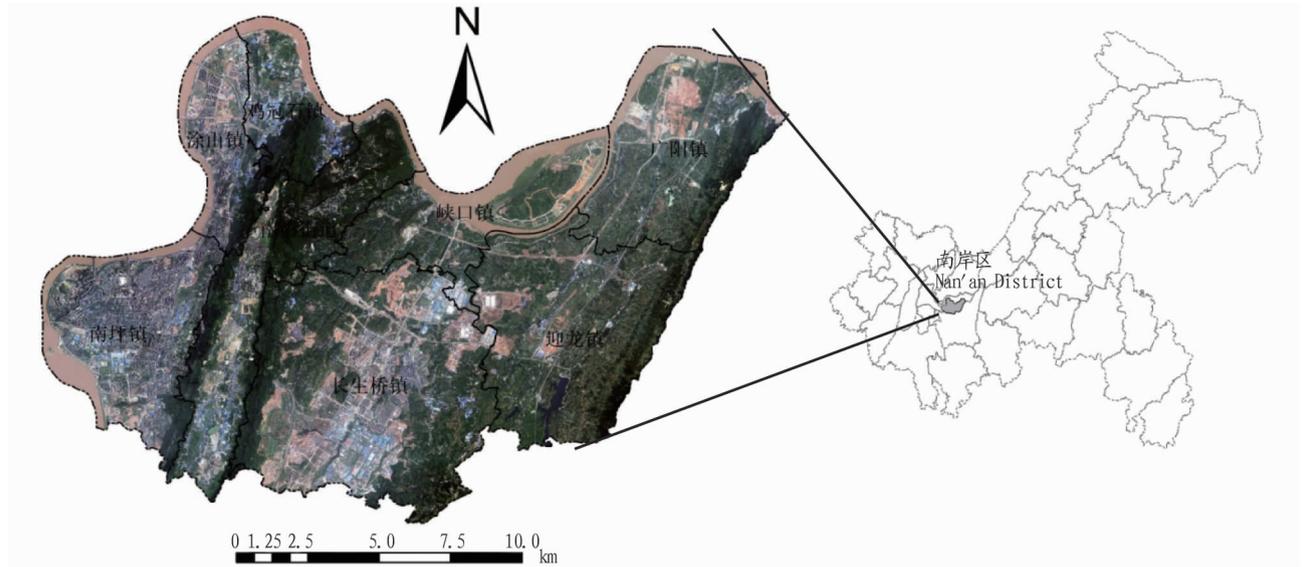


图1 研究区位置

Fig.1 Location of study area

1.2 数据来源及预处理 在地理空间数据云数据库中选择重庆市南岸区(行列号为127/40)Landsat 5 TM影像的2000年7月23日和2007年5月8日以及Landsat 8 OLI_TIRS影像的2013年8月12日和2018年7月22日4个时相的遥感影像图,成像时间均为上午,且空中没有云覆盖,其影像质量较好。借助南岸区规划和自然资源局1:50 000的地形图、南岸区行政区划图作为辅助数据,用于预处理过程以及图像制作阶段。除此之外,还会借助重庆市统计年鉴、重庆市南岸区土地利用规划(2006—2020年)等社会经济发展的相关资料,用来分析该区域的社会因素以及未来的土地利用状况。

在数据预处理过程中主要采取几何精校正、图像配准、大气校正、地形校正、图像融合、图像裁剪等方法,以便使得结果更加精准,提高遥感影像数据的精度和利用率。

1.3 土地利用类型分类与精度检验 根据南岸区实际土地利用类型,主要采取的是中国科学院土地利用覆盖分类体系(表1)。基于ArcGIS 10.2软件的图像识别功能,主要采用监督分类方法对该区土地利用类型进行解译工作^[26-27],结合人工目视解译提高其精确性,按照中国科学院土地利用覆盖分类体系的分类标准将南岸区4期遥感数据进行土地矢量

化处理,并在2000、2007、2013和2018年土地利用类型分类结果中随机选择各地类的50个点,运用混淆矩阵进行精度检验。结果显示4期土地分类精度分别为87.59%、89.21%、91.20%和92.20%,Kappa系数分别为0.85、0.87、0.92、0.93,满足土地利用分类精度要求。

表1 中国科学院土地利用覆盖分类体系

Table 1 Classification system of land use and cover in CAS

代码 Code	一级地类 Class I	二级地类(代码) Class II (Code)
1	耕地	水田(11)、旱地(12)
2	林地	有林地(21)、灌木林(22)、疏林地(23)、其他林地(24)
3	草地	高覆盖度草地(31)、中覆盖度草地(32)、低覆盖度草地(33)
4	水域	河渠(41)、湖泊(42)、水库坑塘(43)、永久性冰川雪地(44)、滩涂(45)、滩地(46)
5	建设用地	城镇用地(51)、农村居民点(52)、其他建设用地(53)
6	未利用土地	沙地(61)、戈壁(62)、盐碱地(63)、沼泽地(64)、裸土地(65)、裸岩石质(66)、其他(67)

1.4 地表温度反演 地表温度反演方法有很多种,如劈窗算法、单窗算法、单通道算法、大气校正法等,基于前人研究

成果和现有资料^[28],基于 Landsat 5 TM 数据的波段 6 和 Landsat 8 数据的波段 10,主要采用覃志豪等^[16]的单窗算法。首先计算热辐射强度,热辐射强度是指单位时间内单位面积所受到的热辐射能量。将影像数据波段 6 和波段 10 的像元灰度值转化为对应热辐射强度值,据辐射定标参数表知,波段 6 和波段 10 的像元灰度转换公式分别为:

$$L_{\lambda} = 0.055\ 156\ 86 \times Q_{dn} + 1.238 \quad (1)$$

$$L_{\lambda} = 0.000\ 334\ 195 \times Q_{dn} + 0.100\ 33 \quad (2)$$

根据 Planck 辐射原理方法,将热辐射强度转换为相应的亮度温度,其公式为:

$$T = K_2 / \ln(1 + K_1 / L_{\lambda}) \quad (3)$$

式中, T 为亮度温度(K), L_{λ} 是上文求出的热辐射强度值, K_1 和 K_2 是常数,Landsat 系列辐射定标参数可在遥感影像头文件(-MTL.txt)中获取^[12]。

采用单窗算法,其反演公式为:

$$T_s = \{a(1-C-D) + [(b-1)(1-C-D) + 1]T - DT_a\} / C \quad (4)$$

式中, T 为亮度温度; a 、 b 是常量; C 、 D 是中间常量,一般 $C = \varepsilon\zeta$, $D = (1-\zeta)[1+(1-\varepsilon)\zeta]$, ε 、 ζ 分别代表地表比辐射率和大气透过率; T_a 为大气平均温度^[29]。

由于遥感影像数据选取的是不同年份间日期相近的时间,且都是处于夏季,但不同影像间绝对地表温度具有差异性,为了将不同年份遥感数据的地表温度进行比较,需要对不同时相的地表温度进行归一化处理^[30-31]。具体公式如下:

$$N_i = (T_i - T_{\min}) / (T_{\max} - T_{\min}) \quad (5)$$

式中, N_i 是第 i 个像元的归一化温度, T_i 是第 i 个像元的地表温度。

2 结果与分析

2.1 土地利用变化时空分析

根据土地利用分类结果发现 2000 和 2007 年的土地利用类型分布格局相差不大,林地

2013 年之后其面积逐渐减少,由 2000 年的 119.9 km² 减少至 105.1 km²;耕地的面积在逐渐减少,由 2000 年的 43.44 km² 减少至 2018 年的 25.99 km²;建设用地逐年在增加,且增长率在 2013 年之后提高至 21.0%。主要原因来自 2010 年重庆市政府提出建设茶园新城区,以致建设用地在 2013 年之后出现了快速增长的现象。

为了定量具体分析该区土地利用类型的动态变化情况,利用 ArcGIS 10.2 软件的空间分析工具对其进行转移矩阵分析,得到表 2 的结果。2000—2007 年南岸区土地利用转移中转出面积最多的是耕地,约为 0.91 km²,转入面积最多的是建设用地,约为 1.05 km²,其中 2000 年的耕地向建设用地转入的面积较多,约为 0.75 km²。2007—2013 年土地利用转移中转出面积最多的是林地,约为 11.73 km²,转入面积最多的是建设用地,约为 14.09 km²,林地转为建设用地的面积约占林地总面积的 8.2%,2013—2018 年土地利用转移中转出面积最多的是耕地,约为 12.76 km²,其次是林地,约为 10.66 km²,其中耕地转为建设用地约为 6.36 km²,而林地约为 10.60 km²,占林地转出总面积的 100%。林地与耕地在城镇化过程当中进行互补,但相对而言退耕还林的速度较快,城镇用地依旧在逐年上升,水域面积出现了下降趋势,城镇化的进程逐步在加快。综合 19 年的土地利用类型转移矩阵分析(表 2),该区土地利用类型转出面积最多的是林地,约为 21.79 km²,其次是耕地,约为 17.66 km²,总体上建设用地的转入面积最多,其中林地约为 20.18 km²,约占林地总面积的 16.8%,耕地约为 11.14 km²,约占耕地总面积的 25.6%,表明南岸区进行城市扩张是以牺牲耕地和林地作为代价。在城镇化过程当中,南岸区的林地和耕地受到大范围的地面破坏,使得环境生态保护和耕地红线的责任越发值得重视。

表 2 2000—2018 年南岸区土地利用类型的转移矩阵

Table 2 Transfer matrix of land use types in Nan'an District from 2000 to 2018

km²

2000 年	2018 年				
	耕地 Arable land	林地 Forest land	水域 Water area	建设用地 Construction land	总计 Total
耕地 Arable land	—	6.51	0.01	11.14	43.44
林地 Forest land	0.07	—	1.54	20.18	119.86
水域 Water area	0.14	0.55	—	0.31	21.80
建设用地 Construction land	0	0	0	—	62.89
总计 Total	25.99	105.13	22.35	94.52	248.00

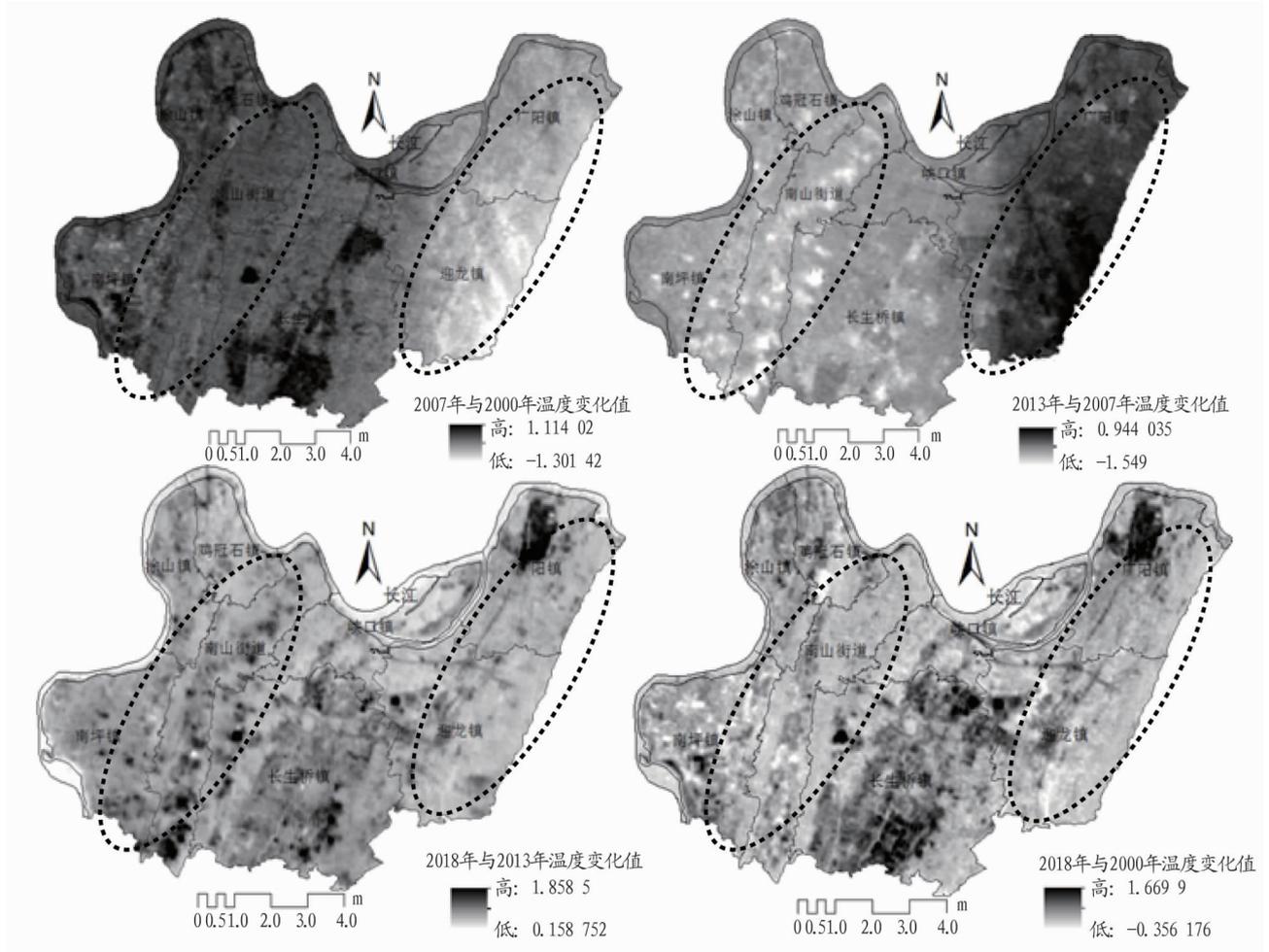
2.2 地表温度变化时空分析

基于覃志豪等^[16]的单窗算法,利用 ENVI 5.0、ArcGIS 10.2 软件处理得到 2000—2018 年的地表温度空间分布特征。2000 年温度较高的地区主要分布在南岸区的西部,温度较低的地区主要分布在该区北面和西面沿江地带,另外也呈带状分布在南山和明月山 2 条山脉处;2007 年该区中部和南面出现局部高温,沿江地带和 2 条山脉处于低温;2013 年地表温度分布较为平均;2018 年较前 3 期地表温度,温度较高地区逐步转移至南岸区中部和南面,温度较低地区与前 3 期的分布具有一致性,基本位于沿江地带和南山、明月山的 2 条山脉处。

为研究南岸区地表温度在研究期间内的时空分布特征,将 4 期地表温度数据在 ENVI 5.0 软件当中进行算术处理,得到 4 期变化结果如图 2 所示。2013 年之前地表温度变化分布较为集中,其中 2007 与 2000 年地表温度升温区集中分布在南岸区中部和西部,降温区集中分布在该区东部,且南岸区南部升温幅度较大;2013 与 2007 年地表温度升温区集中分布在南岸区东部,降温区主要集中分布在该区中部和西部,且在南山街道沿着南山山脉零散地分布着降温幅度较大的区域;2013 年之后地表温度基本上都是升温区,其中 2018 与 2013 年地表温度相差较小区域分布较广,但广阳镇、长生

桥镇和南山街道都零散分布着2期温差较大的区域,在该区沿江地带基本上都分布着2期温差较小的区域;研究期间内,温差较小的区域分布较广,温差较大区域零散分布,主要

散布在长生桥镇和广阳镇,且总体上地表温度在升高,可能原因在于南岸区长生桥镇和广阳镇在近几年中城市化速度较快,导致一系列生态环境的改变。



注:左圈为南山,右圈为明月山

Note: The left circle is Nanshan, the right circle is Mingyueshan

图2 研究期内地表温度变化特征分析

Fig. 2 Analysis on the characteristics of land surface temperature change during the study period

2.3 土地利用与地表温度变化响应分析 对比其他研究表明,利用剖面分析在方向上对土地利用类型和地表温度的关系进行研究。利用 ArcGIS 10.2 软件中的 3D Analysis 工具,对土地利用类型栅格图和地表温度栅格图进行剖面分析。以长生桥北面为中心,东西方向沿着南坪镇西面延伸至迎龙镇东面,跨越长度约为 22 km;南北方向沿着南山街道北面延伸至长生桥镇南面,跨越长度约为 13 km。统计土地利用类型和地表温度分别在东西、南北 2 个方向上的空间分布特征及其差异性,结果发现,在 W-E 方向上,2007 和 2000 年的温度都是逐渐升高,在最西边温度骤降,可能是因为西面长江环绕;在这 4 期数据中,距离东边 20 000 m 处温度都较高,而对应土地利用类型主要是建设用地。在 N-S 方向上,2000 年温度较为稳定,没有太大起伏,而 2007、2013 和 2018 年地表温度沿着南北方向都是逐年下降,在最北面降为最低,而南岸区北面是长江环绕。

为更深入地研究不同土地利用类型下地表温度的变化

和空间分布特征,通过 ArcGIS 10.2 软件的分区统计工具将南岸区土地利用类型和地表温度进行叠加来计算不同土地利用类型的平均地表温度。基于表 3,得到以下 2 个特征:①不同土地利用类型的地表温度存在差异。从土地利用类型来看,不论是 2013 年之前还是 2013 年之后,建设用地的地表温度在 2018 年最高,达 30.33 ℃,其次是耕地、林地、水域,其中水域地表温度在 2013 年最低,达 29.34 ℃,这也验证上文在东西、南北 2 个方向上用剖面分析出该区北面和西面地表温度骤降,主要是南岸区北面和西面由长江环绕。由于下垫面不同,建设用地的地面大多是水泥、沥青等硬化物质所铺成,其吸水性强、吸热能力好,再加上人口集中、建筑物聚集、汽车尾气排放等,导致建设用地的地面散热速度缓慢,从而温度升高;而水域的比热容较大,能够有效地吸收、反射和散射部分太阳辐射,其热传导和热扩散能力小,再加上水汽蒸发能够有效地起到降温效果,使得温度上升缓慢;林地和耕地有植被覆盖,能够有效地阻挡少量太阳辐射,植被也有吸热

散凉特性,但是相对于水域来说其散热能力不强,因此林地和耕地地表温度也不是特别低。②不同时间同一个土地利用类型的地表温度也存在差异。从时间上来看,不论是温度较高的建设用地和耕地还是温度较低的林地和水域,在研究期间内呈现“V”字型增长幅度,地表温度在 2013 年之前是逐年下降,而在 2013 年之后逐渐上升。其中在 2013—2018 年,建设用地地表温度上升最高,约为 $0.73\text{ }^{\circ}\text{C}$,其次是耕地地表温度上升约为 $0.66\text{ }^{\circ}\text{C}$,林地地表温度上升约为 $0.62\text{ }^{\circ}\text{C}$,地表温度上升最慢的是水域,约为 $0.43\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这也验证上文不同土地利用类型的地表温度升高速度不同,也是呈现建设用地>耕地>林地>水域的排列顺序。

表 3 2000—2018 年南岸区不同土地利用类型的平均地表温度

Table 3 Average land surface temperature of different land use types in Nan'an District from 2000 to 2018 $^{\circ}\text{C}$

年份 Year	水域 Water area	林地 Forest land	耕地 Arable land	建设用地 Construction land
2000	29.57	29.83	29.85	29.93
2007	29.39	29.53	29.59	29.75
2013	29.34	29.45	29.50	29.60
2018	29.77	30.07	30.16	30.33

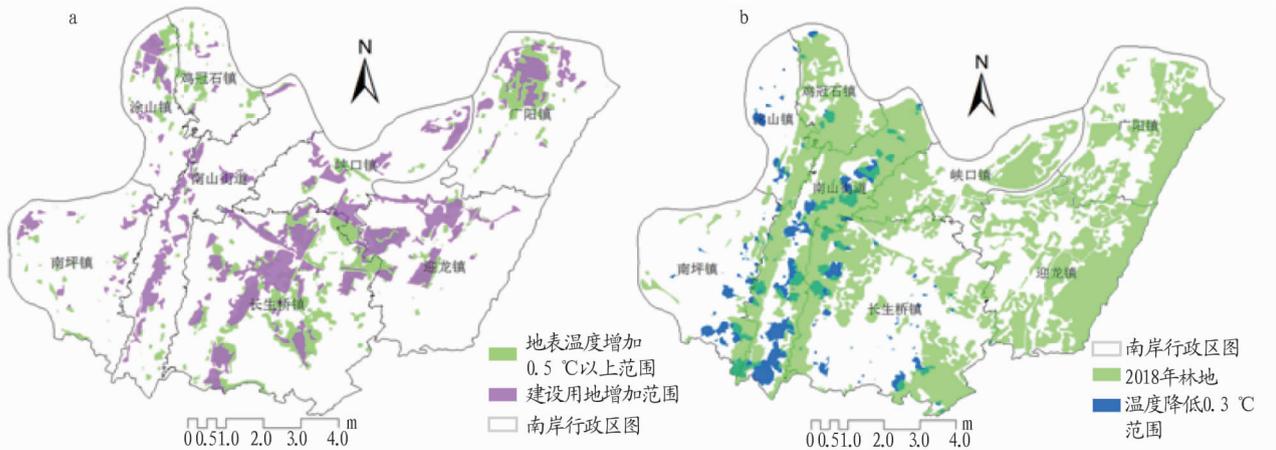


图 3 建设用地 (a) 和林地 (b) 与地表温度变化的叠加分析

Fig. 3 Superposition analysis of typical land use type and land surface temperature change

3 讨论与结论

基于 ArcGIS 10.2、ENVI 5.0、ERDAS 9.1 等软件,对南岸区土地利用类型进行分类和地表温度进行反演处理,结合该区域社会经济因素,分析南岸区在 2000—2018 年土地利用类型的时空分布变化、地表温度的演变特征及二者的响应关系,得出以下结论:

(1)南岸区林地和耕地在减少,建设用地在增加,各类土地利用在 2013 年之后变化速度大于 2013 年之前的变化速度,在研究期间内,南岸区共有 31.32 km^2 的耕地和林地转为了建设用地。因此,在城市化建设过程中,南岸区政府应该控制建成区的增长速度,同时还应加大在耕地占补平衡、退耕还林等生态环境方面的保护力度。

(2)2013 年之前升温区和降温区呈现东西均匀分布,在 2013 年之后基本处于升温区,且长生桥镇和南山街道零散分布着升温较大的区域,相较于建成区较早的南坪镇和涂山镇

考虑到不同土地利用覆被变化其地表温度不同,利用 ArcGIS 10.2 软件将研究期间内土地利用覆被变化的范围与地表温度增减范围的栅格图进行叠加,结果发现(图 3),一是建设用地的增加是地表温度升高的重要因素。建设用地增加范围主要集中在涂山镇北部、南山街道中部、长生桥中北部、迎龙镇中部和广阳镇北部,并呈片状分布;而地表温度增加 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 主要集中在涂山镇北部、长生桥中北部、迎龙镇中部和广阳镇北部,两者分布较为一致。由此可知,建设用地连片扩建土地会导致该区域地表温度上升。二是林地分布对于地表温度降低具有一定规模效用。南山街道在 19 年间增加了 6.4 km^2 的建设用地面积,沿着南山而建,但是地表温度却并没有升高,相反大都降低 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,植被的散热功能带动周边地区有效进行空气循环,降低周边地区的地表温度;另外在长生桥中部也有大部分建设用地在扩建,但由于该镇周围分布着大量林地,城镇化时间比较早,下垫面并未出现太过硬化的物质,使得温度也有少量降低;广阳镇和迎龙镇虽紧邻明月山,也遍布着大量林地,但由于这 2 个镇的建设用地增加范围并未形成建设用地规模效应,对地表温度的变化幅度也不大。

而言,升温面积与速度都较高,因此南岸区热岛效应的主要影响区域为长生桥镇和南山街道。

(3)在不同土地利用类型上面,南岸区地表温度高低以及升温速度呈现建设用地>耕地>林地>水域的顺序,在不同的年份上,4 种土地利用类型都是呈现“V”字型增长,在 2013 年之前南岸区地表温度逐渐下降,但在 2013 年后开始逐年上升。由此可知,城市热岛效应主要是由建设用地面积的增加导致,并且近几年南岸区的热岛效应在逐年增强,热岛效应的扩张趋势应受到广泛关注。

(4)地表温度升温区的空间分布与城市扩张的空间格局基本一致,说明城市土地连片扩建会升高地表温度,并且林地在规模范围内对地表温度能产生显著的降温响应。在一定程度上,南岸区成片扩建的建成区反映了城市化发展对热岛效应的影响,同时,该区域拥有的明月山和南山 2 条山脉的优势环境反映了林地对缓解热岛效应的贡献。因此,在城

城市化建设过程中,应注重考虑优化城市空间布局,在中心城区或者建筑物密度过大区域内种植树木,在城市中适宜密度规划布局公园绿地,在交通拥挤地带种植绿化隔离带,可以有效地降低中心城区的地表温度。

参考文献

- [1] HUNG T,UCHIHAMA D,OCHI S,et al. Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities[J]. International journal of applied earth observation and geoinformation,2006,8(1):34-48.
- [2] YUAN F,SAWAYA K E,LOEFFELHOLZ B C,et al. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities(Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing[J]. Remote sensing of environment,2005,98(2/3):317-328.
- [3] 杨英宝,苏伟忠,江南,等.南京市热岛效应变化时空特征及其与土地利用变化的关系[J].地理研究,2007,26(5):877-886,1070.
- [4] 杨英宝,苏伟忠,江南.基于遥感的城市热岛效应研究[J].地理与地理信息科学,2006,22(5):36-40.
- [5] MANLEY G. On the frequency of snowfall in metropolitan England[J]. Quarterly journal of the royal meteorological society,1958,84(359):70-72.
- [6] 张炜.长江流域土地利用/覆被变化对地表温度的影响[D].武汉:中国地质大学,2018.
- [7] 薛方蓉,卢正,但尚铭,等.基于热红外遥感的四川省内江市城市热岛效应评价[J].测绘与空间地理信息,2012,35(4):38-41.
- [8] 谢哲宇,黄庭,李亚静,等.南昌市土地利用与城市热环境时空关系研究[J].环境科学与技术,2019,42(S1):241-248.
- [9] 王明娜,韩哲,张庆云.21世纪初中国北方半干旱区土地利用变化对地表温度的影响[J].气候与环境研究,2016,21(1):65-77.
- [10] 高志强,宁吉才,高炜.基于遥感的沿海土地利用变化及地表温度响应[J].农业工程学报,2009,25(9):274-281,365.
- [11] 张春玲,余华,宫鹏,等.基于遥感的土地利用空间格局分布与地表温度的关系[J].遥感技术与应用,2008,23(4):378-384.
- [12] 张心怡,刘敏,孟飞.基于RS和GIS的地面温度和土地利用/覆被关系研究进展[J].遥感信息,2005,20(3):66-70,76.
- [13] HOWARD L. The climate of London, deduced from meteorological observations [M]. London:Harvey and Darton,1833:348.
- [14] 岳辉,刘英.基于Landsat 8 TIRS的地表温度反演算法对比分析[J].

科学技术与工程,2018,18(20):200-205.

- [15] 冯鹏,岳昊,刘晓源.基于Landsat 8数据的地表温度反演研究:以哈尔滨主城区为例[J].测绘与空间地理信息,2018,41(9):223-225.
- [16] 覃志豪,ZHANG M H,ARNON KARNIELI,等.用陆地卫星TM6数据演算地表温度的单窗算法[J].地理学报,2001,56(4):456-466.
- [17] 胡德勇,乔琨,王兴玲,等.利用单窗算法反演Landsat 8 TIRS数据地表温度[J].武汉大学学报(信息科学版),2017,42(7):869-876.
- [18] 陈峰,何报寅,龙占勇,等.利用Landsat ETM+分析城市热岛与下垫面的空间分布关系[J].国土资源遥感,2008,20(2):56-61,67.
- [19] 刘航,申格,黄青.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,2017,26(9):1466-1475.
- [20] 周梦宇.土地利用/覆盖变化与热岛效应关系的研究[D].南昌:东华理工大学,2017.
- [21] 王敏,孟浩,白杨,等.上海市土地利用空间格局与地表温度关系研究[J].生态环境学报,2013,22(2):343-350.
- [22] 张小伟,何月,蔡菊珍,等.基于GIS的浙江省土地利用/覆盖与地表温度的关系[J].中国农业气象,2010,31(2):295-299.
- [23] 彭征,廖和平,郭月婷,等.山地城市土地覆盖变化对地表温度的影响[J].地理研究,2009,28(3):673-684.
- [24] 彭文甫,周介铭,罗怀良,等.城市土地利用与地面热效应时空变化特征的关系:以成都市为例[J].自然资源学报,2011,26(10):1738-1749.
- [25] 梁保平,李晓宁.城市LUCC时空格局对地表温度的影响效应研究[J].中国土地科学,2016,30(11):41-49.
- [26] 周媛,石铁矛,胡远满,等.基于城市土地利用类型的地表温度与植被指数的关系[J].生态学杂志,2011,30(7):1504-1512.
- [27] 牟雪洁,赵昕奕.珠三角地区地表温度与土地利用类型关系[J].地理研究,2012,31(9):1589-1597.
- [28] RAO P K. Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite[J]. Bulletin of the American meteorological society,1972,53(7):647-648.
- [29] 朱玲燕,苏维词.典型喀斯特城区土地利用变化对地表温度的影响分析[J].环境保护科学,2016,42(2):60-64.
- [30] 刘超,张永福,徐华君.微域尺度下的地表温度与土地利用/覆被关系研究[J].江苏农业科学,2018,46(12):233-237.
- [31] 史洪超.土地利用/覆被变化(LUCC)研究进展综述[J].安徽农业科学,2012,40(26):13107-13110,13125.

(上接第78页)

- [91] RODRIGUEZ-SEIJO A,LOURENÇ O J,ROCHA-SANTOS T A P,et al. Histopathological and molecular effects of microplastics in *Eisenia andrei* Bouché[J]. Environmental pollution,2017,220:495-503.
- [92] GAYLOR M O,HARVEY E,HALE R C. Polybrominated diphenyl ether (PBDE) accumulation by earthworms (*Eisenia fetida*) exposed to biosolids-, polyurethane foam microparticle, and Penta-BDE-amended soils[J]. Environmental science & technology,2013,47(23):13831-13839.
- [93] ZHU B K,FANG Y M,ZHU D,et al. Exposure to nanoplastics disturbs the gut microbiome in the soil oligochaete *Enchytraeus crypticus*[J]. Environmental pollution,2018,239:408-415.
- [94] ZHU D,CHEN Q L,AN X L,et al. Exposure of soil collembolans to microplastics perturbs their gut microbiota and alters their isotopic composition[J]. Soil biology & biochemistry,2018,116:302-310.
- [95] QI Y,YANG X,PELAEZ A M,et al. Macro-and micro-plastics in soil-plant system: Effects of plastic mulch film residues on wheat (*Triticum aestivum*) growth [J]. Science of the total environment,2018,645:1048-1056.
- [96] 李连祯,周倩,尹娜,等.食用蔬菜能吸收和积累微塑料[J].科学通报,2019,64(9):928-934.
- [97] SANDERS L C,LORD E M. Directed movement of latex particles in the gynocia of three species of flowering plants [J]. Science,1989,243(4898):1606-1608.
- [98] BANDMANN V,MÜLLER J D,KÖHLER T,et al. Uptake of fluorescent nano beads into BY2-cells involves clathrin-dependent and clathrin-independent endocytosis[J]. FEBS Letters,2012,586(20):3626-3632.
- [99] 廖苑辰,娜孜依古丽·加甫别克,李梅,等.微塑料对小麦生长及生理生化特性的影响[J].环境科学,2019,40(10):4661-4667.
- [100] JIANG X,CHEN H,LIAO Y,et al. Ecotoxicity and genotoxicity of polystyrene microplastics on higher plant *Vicia faba*[J]. Environmental pollution,2019,250:831-838.
- [101] BANDOPADHYAY S,MARTIN-CLOSAS L,PELACHO A M,et al. Bio-

degradable plastic mulch films: Impacts on soil microbial communities and ecosystem functions[J]. Frontiers in microbiology,2018,9:819-827.

- [102] YANG X M,BENTO C P M,CHEN H,et al. Influence of microplastic addition on glyphosate decay and soil microbial activities in Chinese loess soil[J]. Environmental pollution,2018,242:338-347.
- [103] ASADISHAD B,CHAHAL S,AKBARI A,et al. Amendment of agricultural soil with metal nanoparticles: Effects on soil enzyme activity and microbial community composition[J]. Environmental science & technology,2018,52(4):1908-1918.
- [104] SUN M M,YE M,JIAO W T,et al. Changes in tetracycline partitioning and bacteria / phage-mediated ARGs in microplastic-contaminated greenhouse soil facilitated by sphorolipid[J]. Journal of hazardous materials,2018,345:131-139.
- [105] JIN X X,AN T T,GALL A R,et al. Enhanced conversion of newly-added maize straw to soil microbial biomass C under plastic film mulching and organic manure management[J]. Geoderma,2018,313:154-162.
- [106] ZHU D,BI Q F,XIANG Q,et al. Trophic predator-prey relationships promote transport of microplastics compared with the single *Hypoaspis aculeifer* and *Folsomia candida*[J]. Environmental pollution,2018,235:150-154.
- [107] OBERBECKMANN S,KREIKEMEYER B,LABRENZ M. Environmental factors support the formation of specific bacterial assemblages on microplastics[J]. Frontiers in microbiology,2017,8:1-12.
- [108] ROCHMAN C M,MANZANO C,HENTSCHEL B T,et al. Polystyrene plastic: A source and sink for polycyclic aromatic hydrocarbons in the marine environment[J]. Environmental science & technology,2013,47(24):13976-13984.
- [109] KONG X,JIN D,JIN S,et al. Responses of bacterial community to dibutyl phthalate (DBP) pollution in a soil-vegetable ecosystem[J]. Journal of hazardous materials,2018,353:142-150.
- [110] WANG J,LV S,ZHANG M,et al. Effects of plastic film residues on occurrence of phthalates and microbial activity in soils[J]. Chemosphere,2016,151:171-177.