

文章编号: 2096-1618(2019)03-0308-08

成渝城市群热环境效应与植被覆盖度关系研究

金凡琦^{1,2}, 程志刚^{1,2}, 靳立亚^{1,2}, 张百平³

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 研究成渝城市群热岛效应和植被覆盖度对城市发展规划和生态文明建设具有重要的指导意义。采用均值-标准差法对成渝城市群热场变化进行研究, 利用热岛指数分析热岛的时空变化, 并通过地表温度和植被覆盖度的变化趋势特征, 进一步分析城市化进程中两者的关系。研究结果表明, 近 16 年来成渝城市群热场发生变化, 城市热岛效应明显增强; 地表温度在春夏季和冬季变化趋势相反; 城市范围地表温度升高(降低)比周围地区明显; 城市发展下, 成渝城市群地表温度与植被覆盖度存在明显的负相关关系。

关键词: 大气科学; 气候变化; 成渝城市群; 热岛效应; MODIS LST; 植被覆盖度

中图分类号: P461⁺.8

文献标志码: A

doi: 10.16836/j.cnki.jcuit.2019.03.017

0 引言

城市热岛(urban heat island effect, UHI)是指城市气温明显高于周围郊区的现象。随着全球经济的发展, 大规模的城市化使城市下垫面性质和结构发生改变, 城市人口的快速膨胀和工业化发展加剧了热排放, 城市热量平衡受到影响, 从而形成城市热岛。城市化的发展造成植被覆盖减少, 空气污染物增加, 使城市生态环境恶化, 城市热岛效应也会对区域气候造成影响。目前, 研究城市热岛的方法主要有 3 种: (1) 站点资料分析, 利用气象台站观测气温资料, 分析城郊气温变化差异。台站观测资料获取方便, 精度高, 时间序列长且连续性好, 但由于观测站点稀少且分布不均匀, 难以全面反映地面热环境的空间分布情况, 并且城郊站的选取也会对研究结果产生影响。(2) 卫星遥感监测, 利用卫星遥感资料反演得到地表温度数据分析城区与郊区地表温度变化。(3) 数值模式模拟, 利用中尺度数值模式如 RAMS、MM5、WRF 等, 对复杂地形和人为热条件下的城市热岛进行模拟, 能够明确地解释热岛的成因。

热岛效应自提出以来, 受到学者们广泛关注。从单一城市热岛效应研究到城市群尺度研究, 但目前大多集中在平原地区的城市群, 如京津冀城市群^[1-3]、长三角城市群^[4-7]、珠三角城市群^[8-10], 而对处在山地地区的成渝城市群相关研究并不多。目前研究多限于成渝城市群“双核”城市——成都、重庆, 许辉熙^[11]利用 3 个时段的卫星遥感数据分析了成都平原 6 个中等城市热岛效应的动态变化特征。程志刚等^[12-13]分析了成都地区夏季城市温度场和城市热岛; 并利用中尺度

模式 WRF 研究了成都城市化对夏季气候变化的影响。李肇洁^[14]利用 WRF 模式对成都地区的热岛效应进行模拟, 探讨成都地区热岛效应的形成机制。陈倩等^[15]利用 3 年 Landsat TM 的夏季遥感数据研究了重庆城市地表热环境与城市扩张及下垫面的关系。白莹莹等^[16]研究了城市化对重庆夏季高温炎热日数和气温的影响。吉莉等^[17]分析了城市化进程对重庆北碚城郊气温的影响。陈艳英等^[18]分析了重庆城市热岛的基本特征以及植被对热岛的影响。李军等^[19]分析了重庆主城区城市热岛的特征及其与不同土地利用类型之间的关系。李晓敏等^[20]从时空两个角度对成都、重庆两市的城市热岛效应现状及其演变进行对比分析, 指出春、秋、冬季成都的热岛强度都强于重庆; 成都强热岛和极强热岛分布范围明显扩大; 相反, 重庆弱热岛和中等热岛的范围扩大。经历了十几年的发展, 成渝城市群内大中小城市发展较快, 其城市热岛效应也必然会出现变化, 因此从整个成渝城市群角度研究不同城市间热岛效应变化差异则显得尤为必要。陈颖锋等^[21]利用 MODIS 数据和土地利用数据, 对成渝城市群内各城市的热岛强度进行对比分析, 结果表明所有城市的热岛效应减弱, 并指出建成区规模与热岛强度显著相关, 但缺乏对整个区域热岛效应的规模及空间分布特征的研究。本文以成渝城市群为研究区域, 分析 2002–2017 年其热场及热岛效应的变化情况, 以及城市化进程中地表温度与植被覆盖度的关系。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

成渝城市群位于中国西南, 是重要的人口、城镇、

收稿日期: 2018-11-21

基金项目: 国家科技基础资源调查专项资助项目(2017FY100900); 国家电网公司总部科技资助项目(SGTYHT/17-JS-199)

产业的聚集地,以成都和重庆两地为“双核”,是引领西部地区加快发展的重要支撑,是国家推进新型城镇化的重要示范区。成渝城市群范围广,横跨四川和重庆,具体包括四川省的成都、德阳、绵阳、眉山、乐山、雅安、宜宾、自贡、内江、资阳、遂宁、南充、广安、达州、泸州15个市,以及重庆市(除彭水、黔江、酉阳、秀山、城口、巫溪、奉节、巫山)的各区县。成渝城市群位于四川盆地的核心地带,地貌以丘陵为主,中间为平原,四周山体环绕,受独特的盆地地形影响,内部热量不易扩散,使成渝城市群的气温高于同纬度其他地区。

1.2 研究资料

MODIS是搭载在美国宇航局对地观测系统(earth observation system,EOS)系列卫星Aqua和Terra上的重要传感器,提供0.4~14.4 μm波段36个通道的对地观测。文中选用的是:(1)2002–2017年MOD11A2逐8d的LST数据,MODIS地表温度产品由31和32热红外波段的数据通过劈窗算法得到^[22],能够有效减少云对数据的干扰^[23],空间分辨率为1 km。(2)2002–2017年MOD13Q1逐16 d的NDVI数据,空间分辨率为250 m。

1.3 研究方法

1.3.1 均值–标准差法

受各种天气和年际变化的影响,不同时相的热场不具有比较性。针对这一问题,采用均值–标准差法^[24]将LST划分为低温、次低温、中温、次高温、高温5个等级。标准差反映偏离平均水平的程度,因此均值–标准差法能够反映各个地区的温度差异,从而更好地表现出热场的空间分布特征。该方法认为,温度高于平均水平的地区更容易形成“城市热岛”,而温度水平达到中温以上基本代表了“城市热岛”的可发展范围。以成渝城市群2002、2017年地表温度为例进行等级划分,温度等级划分标准如表1所示。

表1 地表温度等级划分标准

等级	温度水平	范围/℃
1	低温区	$LST < u - std$
2	次低温区	$u - std \leq LST < u - 0.5std$
3	中温区	$u - 0.5std \leq LST \leq u + 0.5std$
4	次高温区	$u + 0.5std < LST \leq u + std$
5	高温区	$LST > u + std$

注:u为平均温度,std为标准差

1.3.2 热岛指数

为了消除气候背景场对分析热岛年际变化的影响,使结果具有比较性,参考葛伟强等^[4]和董良鹏等^[5]的方法,对成渝城市群MODIS LST值进行热岛指数化处理,定义热岛指数为

$$U_i = LST_i - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n LST_j$$

其中: U_i 为热岛指数; LST_i 、 LST_j 为LST有效像元值; n 为研究区有效像元的个数。经过处理后,研究区域内每个格点的LST值就转化成了一个热岛指数,与平均水平的温差大小表征单位格点的热岛强度,热岛强度划分标准见表2,可用于不同时相、不同地区热岛强度大小的比较。另外,参考谢志清等^[25]的方法,构建2个数据:

$$LST_{cn} = LST_c - LST_n$$

$$LST_{dn} = LST_d - LST_n$$

式中: LST_c 为城市地区平均地表温度, LST_n 为非城市地区平均地表温度, LST_d 为全区域平均地表温度; LST_{cn} 为城市热岛强度, LST_{dn} 反映了城市热岛效应对区域温度的影响程度。根据2010年土地利用数据,认为土地利用类型是城镇用地的点为城市地区,其余点为非城市地区,土地利用分类情况如图1所示。

表2 热岛强度划分等级

等级	热岛强度等级	温差范围/℃
1	强冷岛	< -5
2	较强冷岛	$-5 \sim -3$
3	弱冷岛	$-3 \sim -1$
4	无热岛	$-1 \sim 1$
5	弱热岛	$1 \sim 3$
6	较强热岛	$3 \sim 5$
7	强热岛	> 5

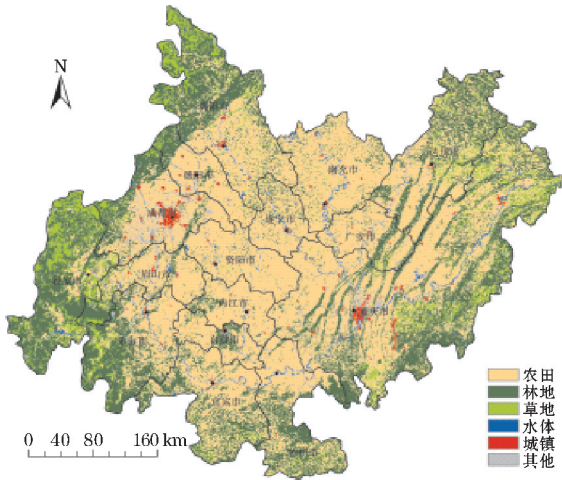


图1 成渝城市群土地利用分类

1.3.3 变化斜率法

利用变化斜率法^[26–27]分析2002–2017年LST和植被覆盖度年际变化趋势的空间差异,计算公式为

$$X = \frac{n \sum_{i=1}^n i \times f_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n f_i}{n \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2}$$

式中: X 为变化趋势斜率, n 为监测年数, f_i 为第*i*年LST/植被覆盖度的值。斜率为正,表明LST/植被覆盖度升高,反之则降低;斜率绝对值越大,变化的幅

度越大,反之变化的幅度越小。趋势显著性检验采用 F 检验,根据各像元的趋势斜率和显著性水平,将变化分为4类:无显著升高/增加($X>0, \alpha>0.01$)、无显著降低/减少($X<0, \alpha>0.01$)、显著升高/增加($X>0, \alpha\leq 0.01$)、显著降低/减少($X<0, \alpha\leq 0.01$)。

1.3.4 植被覆盖度

根据像元二分模型,假设像元由裸土和植被两部分构成, $NDVI_{veg}$ 为有植被覆盖的部分, $NDVI_{soil}$ 为无植被覆盖的裸土部分,植被覆盖度公式^[28-29]为:

$$f_c = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}}$$

采用固定的 $NDVI_{veg}$ 和 $NDVI_{soil}$ 是不准确的,通常情况下, $NDVI_{veg}$ 与 $NDVI_{soil}$ 取给定置信区间内的最大值与最小值,在一定程度可以上消除遥感图像噪声所带来的误差^[30]。根据频率统计表,选取研究范围内累积频率为0.5%的 $NDVI$ 值为 $NDVI_{soil}$,累积频率为99.5%的 $NDVI$ 值为 $NDVI_{veg}$,最后根据公式算出2002-2017各年平均植被覆盖度。

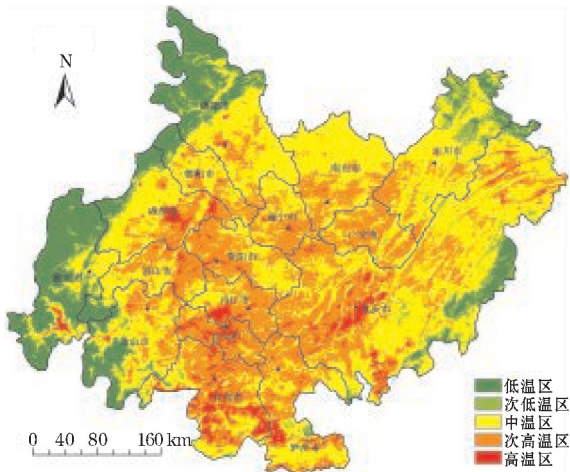
2 结果和讨论

2.1 成渝城市群地区热场变化特征

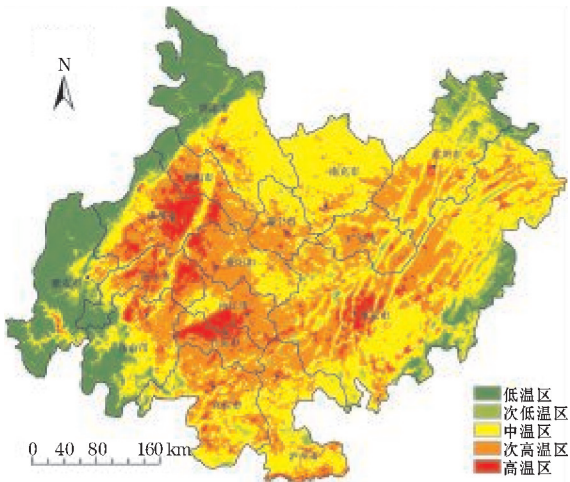
将成渝城市群地区的 LST 值按照均值-标准差法进行等级划分后,结果如图2所示。从热场分布图可以看出,2002年和2017年中温区和次高温区均占整个区域的大部分;与2002年相比,2017年高温区的面积明显增加,尤其是“双核”城市成都和重庆,且高温区将四川省的成都市和德阳市、眉山市、乐山市、资阳市以及内江市和自贡市连在一起形成片状;而低温区和次低温区的分布比较稳定,主要在研究区域边界海拔较高的地区。

为定量了解热场的变化情况,统计了2002、2017年

成渝城市群地区各地表温度等级的面积,结果见表3。从表中可以看出中温区、次高温区的面积呈减小趋势,其中中温区面积减少得最多,为7522 km²;而次高温区减少了1676 km²。相反,低温区、次低温区、高温区分别增长了4055 km²、1194 km²、5965 km²。



(a)2002 年



(b)2017 年

图2 2002年和2017年成渝城市群热场分布图

表3 2002年和2017年成渝城市群地区地表温度各等级面积变化

年份	低温区	次低温区	中温区	次高温区	高温区
2002	28183	12918	96725	64849	8303
2017	32238	14112	89203	63173	14268
变化量	4055	1194	-7522	-1676	5965

为了详细了解各地表温度等级之间的转变情况,制作了地表温度等级空间转化图和面积转化矩阵表,见图3和表4。从表4中可以看出,2017年高温区增加的面积主要来源于中温区和次高温区,其空间分布很好地对应了城市化扩展区域;中温区转化为高温区的面积为2253 km²,占整个高温区面积的16%,主要

分布在成都、德阳和眉山;次高温区转化为高温区的面积为8153 km²,占整个高温区面积的57%。次高温区增加的面积主要来源于中温区,有19323 km²,占整个次高温区面积的32%。从2002年到2017年,低温区和中温区的面积变化最小。整体上,等级升高的面积为32138 km²,而等级降低的面积为34236 km²,由此可

以看出热岛效应不断增加的情况下,局部地区热污染也得到一定缓解。

2.2 成渝城市群热岛时空变化

LST 经热岛指数化处理后,得到 2002 年和 2017 年成渝城市群的热岛分布图,如图 4 所示,可以看出,在 2002 年热中心仅呈零星点状分布,没有表现出明显的城市热岛现象。到 2017 年强热岛面积增加,次强热岛范围显著扩大,主要分布在成都、德阳、眉山、自贡、内江以及重庆等地。热岛效应的空间分布差异也体现了各城市之间城市化的程度不一,城市规模大的地区,热岛的面积也越大;城市发展越好的地区,热岛强度也越明显。对成渝城市群的两个特大城市进行比较,可以看出成都热岛强度增加的面积较重庆更大。

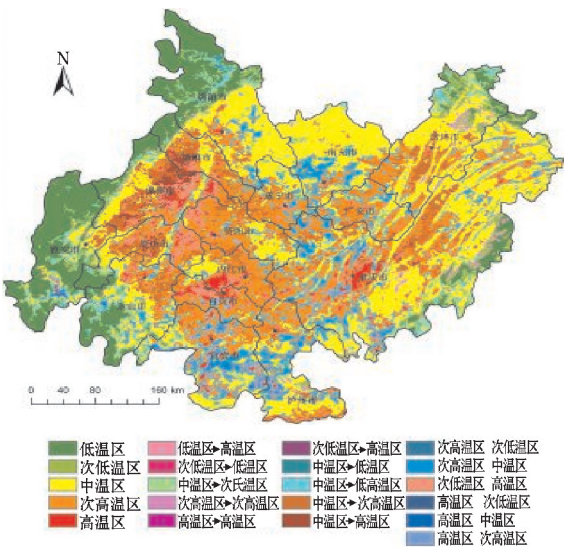
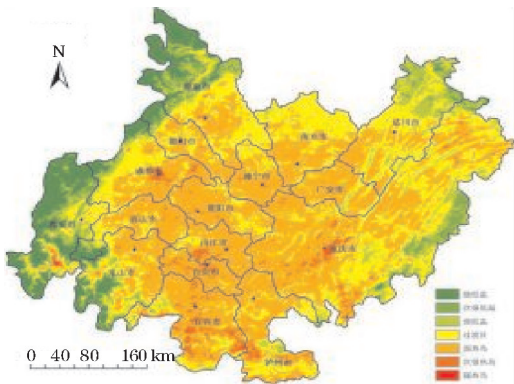


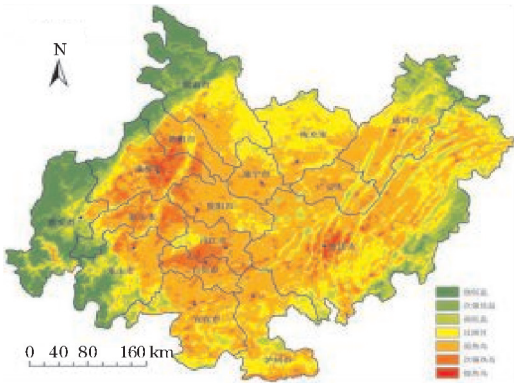
图3 2002–2017 年成渝城市群地表温度等级转化分布图

表4 2002–2017 年成渝城市群地表温度等级转化面积矩阵

2002 年地表 温度等级	2017 年地表温度等级转化面积/km ²					总计/km ²	等级转换 百分比/%
	低温区	次低温区	中温区	次高温区	高温区		
低温区	27304	867	12	0	0	28183	3
次低温区	4388	7000	1501	18	11	12918	46
中温区	546	6033	68570	19323	2253	96725	29
次高温区	0	202	18615	37879	8153	64849	61
高温区	0	10	505	3937	3851	8303	54
总计	32238	14112	89203	61157	14268	210978	



(a) 2002 年



(b) 2017 年

图4 2002 年和 2017 年成渝城市群热岛分布图

为了定量了解热岛的变化情况,统计了 2002、2017 年成渝城市群地区各热岛等级的面积,结果见表 5。从表 5 可以看出,成渝城市群城市次强热岛和强热岛的面积显著增大,其中次强热岛面积增加了 10337 km²,占该等级面积的 66%,增长速度为 646km²/a;强热岛的面积增加了1439 km²,占该等级面积的88%,增长速度为79 km²/a。而过渡区和弱热岛的面积相应减小。相较之下强低温、次强低温、弱低温的面积无明显变化。

对成渝城市群 2002–2017 年逐年城市热岛特征值进行统计,结果见表 6。从表 6 可以看出,成渝城市群城市带平均温度上升了1.22 ℃,而非城市带和全区域的温度无明显变化,整个研究区的热岛强度升高了 1.12 ℃。热岛对区域增温贡献仅有0.02 ℃左右。

2.3 LST 和植被覆盖度年际动态变化

2.3.1 LST 年际和季节变化趋势分析

成渝城市群的地表温度年变化趋势如图 5 所示,从图 5(a)可以看出,各市的地表温度均呈升高趋势。且温度升高区域占 60% 左右,而 40% 区域基本表现为降低趋势。地表温度变化趋势显著性检验表明(图 5b),温度显著升高区域仅占5.44%,主要分布在成都、德阳、眉山、乐山和自贡等地,显著降低的面积仅占0.66%。

表5 2002年和2017年成渝城市群热岛指数像元个数统计表

km²

年份	强低温	次强低温	弱低温	过渡区	弱热岛	次强热岛	强热岛
2002	15934	10718	19609	64982	94297	5263	175
2017	19330	14038	20066	54254	86251	15600	1439
变化量	3396	3320	457	-10728	-8046	10337	1264

表6 2002-2017年成渝城市群城市热岛效应统计表

℃

年份	城市带平均温度	非城市带平均温度	全区域平均温度	热岛强度	热岛增温
2002	25.91	23.17	23.18	2.74	0.01
2003	26.32	23.21	23.23	3.11	0.02
2004	25.65	22.48	22.49	3.17	0.01
2005	25.58	22.34	22.36	3.24	0.02
2006	26.47	23.20	23.21	3.27	0.01
2007	27.12	23.46	23.48	3.66	0.02
2008	26.22	22.87	22.89	3.35	0.02
2009	26.31	22.98	23.00	3.33	0.02
2010	26.28	22.89	22.91	3.39	0.02
2011	26.18	22.69	22.71	3.49	0.02
2012	25.53	21.87	21.89	3.66	0.02
2013	27.43	23.92	23.94	3.51	0.02
2014	26.30	22.41	22.43	3.89	0.02
2015	27.45	23.35	23.37	4.1	0.02
2016	27.39	23.53	23.55	3.86	0.02
2017	27.13	23.27	23.29	3.86	0.02

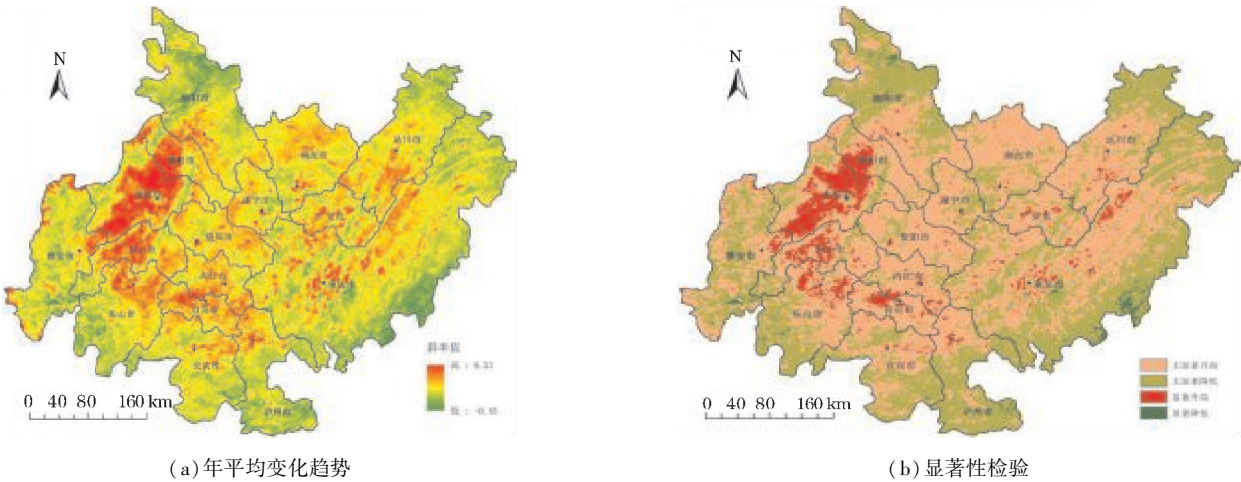


图5 2002-2017年成渝城市群地表温度

以3-5月为春季,6-8月为夏季,9-11月为秋季,12-次年2月为冬季,来分析成渝城市群四季变化趋势,结果如图6所示。从图6可以看出,春季和夏季大部分地区地表温度呈升高趋势,而秋冬季则基本呈下降趋势;春季地表温度仅在成都、德阳等地区表现为显著升高,夏季显著升高的面积增多,而冬季则与春夏两季呈相反趋势,且变化显著区域分布一致,秋季变化不显著。整体上,温度显著变化的面积很小。

2.3.2 植被覆盖度年际变化趋势分析

成渝城市群植被覆盖度年变化趋势如图7所示,从图7(a)可以看出,整体上植被覆盖度呈上升趋势,其中增加幅度明显的地区主要分布在泸州、宜宾、广安和重庆等地,而植被覆盖度明显降低的是成都和重庆的城市区域。16年间,植被增加的面积占92.12%,植被减少的面积占7.88%。图7(b)的F检验表明,显著增加的面积高达53.25%,显著减少的面积占1.26%,主要分布在各市的建成区范围内,说明城市扩张会使植被覆盖减少,也与地表温度升高的地区有很好的对应。

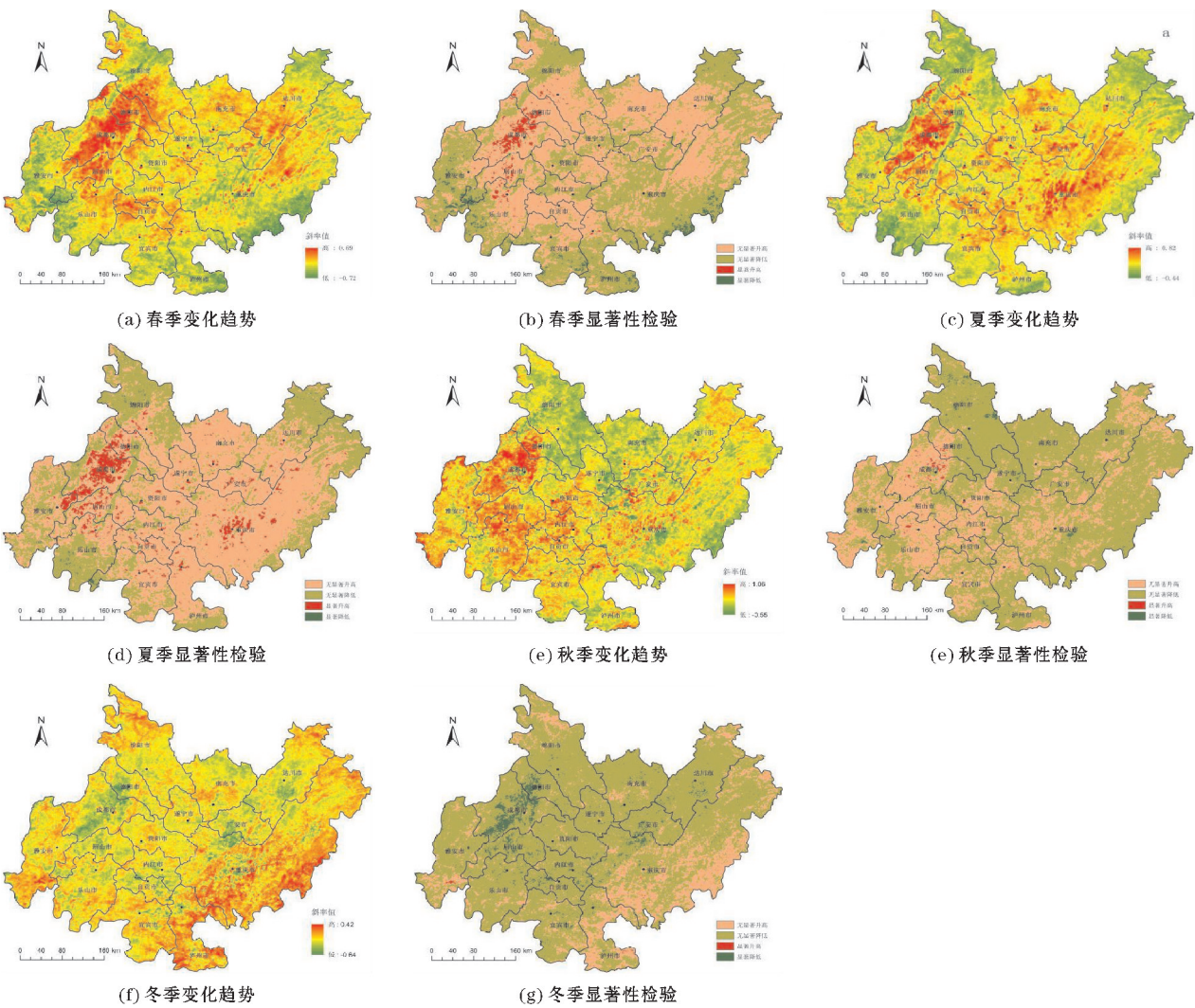


图 6 2002–2017 年成渝城市群地表温度四季平均变化趋势和显著性检验

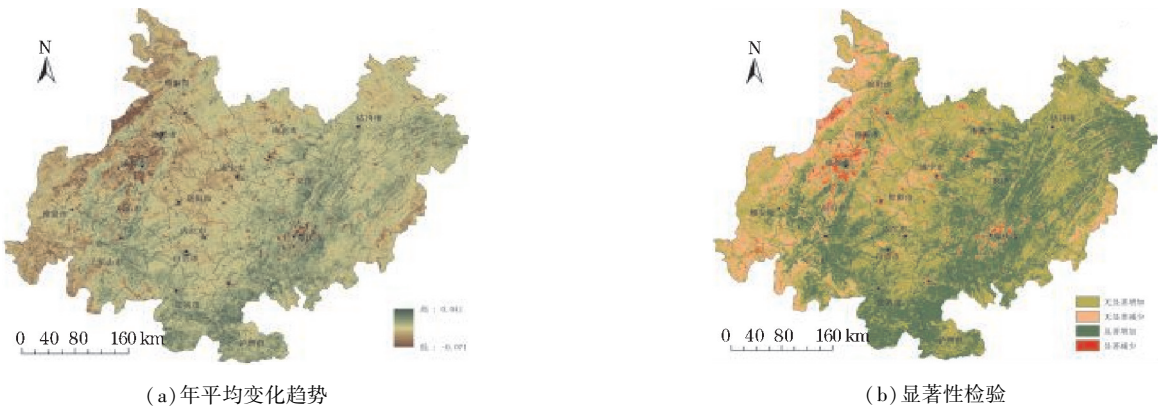


图 7 2002–2017 年成渝城市群植被覆盖度

2.3.3 城市发展中地表温度与植被覆盖度的关系

为进一步研究城市化进程中地表温度与植被覆盖度的关系,根据 2013 年 DMSP/OLS 夜间灯光数据提取像元 DN 值大于 0 的区域,对 2002–2017 年 LST 和植被覆盖度的年平均数据进行掩膜,参考张小飞等^[31]的方法,将植被覆盖度以 0.1 为间隔分层(0~0.1, 0.1~0.2,⋯,0.9~1.0),每层随机采样 100 个,并剔

除土地利用类型为水体的点,分析采样点 T_s 与植被覆盖度之间关系,见图 8。结果表明,地表温度和植被覆盖度之间呈显著负相关,相关系数达-0.78(通过 0.05 显著性检验),即植被覆盖度越小的区域,地表温度越高。由此可以看出,城市化过程中植被的减少对地表温度的升高有显著的贡献,结果也与建成区内地表温度和植被覆盖度的变化趋势相对应。

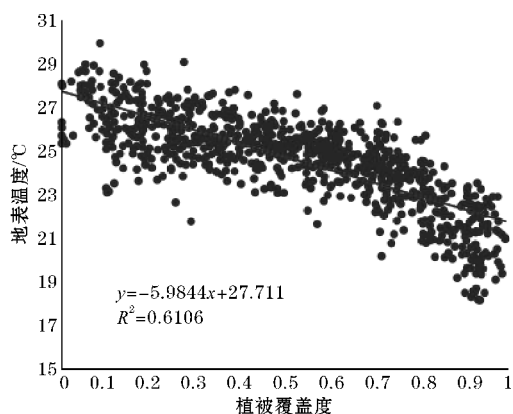


图8 成渝城市群地表温度与植被覆盖度的散点图

3 结论

利用 MODIS LST 数据分析了成渝城市群城市热环境和热岛效应的动态变化特征,并对地表温度与植被覆盖度之间的关系进行研究,得到如下结论。

(1)对成渝城市群热环境的研究结果表明,2017年高温区明显增加,增加面积主要来源于中温区和次高温区,空间分布与城市化扩展区域有很好的对应关系;中温区和次高温区面积呈减少趋势,另外也有部分高温转换为次高温和中温;低温区和次低温区的分布无明显变化。总体来说热环境日益恶化,但局部热污染也有一定缓解。

(2)自2002年以来,成渝城市群强热岛和次强热岛的面积不断增大,弱热岛及过渡区面积大幅减少,从热岛效应的空间分布情况可以看出,成都较重庆城市化现象更明显。相较之下弱低温,次强低温和强低温面积变化幅度并不大。从2002-2017年,成渝城市群城市带平均温度升高了1.22℃,热岛强度升高了1.12℃。

(3)16年来,成渝城市群的大部分地区地表温度呈升高趋势,尤其是成都、德阳、眉山、乐山和自贡等地温度显著升高,与热岛效应增强的区域相对应。整体上,地表温度在春夏季呈上升趋势,秋冬季呈下降趋势;春夏季与冬季趋势显著的区域一致,且呈相反的变化特征,而秋季无显著变化。

(4)成渝城市群植被覆盖度整体呈上升趋势,仅在城市化明显的建成区内植被显著减少。在对地表温度和植被覆盖度的关系研究中,发现两者之间存在明显的负相关关系,植被覆盖的减少对地表温度升高有贡献。

参考文献:

- [1] 丁楠,王娟.京津冀城市群热岛强度时空变化及对比研究[J].北京联合大学学报,2017,31(4):21-28.
- [2] 刘勇洪,房小怡,张硕,等.京津冀城市群热岛定量评估[J].生态学报,2017,37(17):5818-5835.
- [3] 张旻,胡德勇,曹诗颂,等.京津冀城市群热岛强度遥感监测及其城市规模效应分析[J].首都师范大学学报(自然科学版),2018,39(5):72-80.
- [4] 葛伟强,周红妹,杨何群.基于MODIS数据的近8年长三角城市群热岛特征及演变分析[J].气象,2010,36(11):77-81.
- [5] 董良鹏,江志红,沈素红.近十年长江三角洲城市热岛变化及其与城市群发展的关系[J].大气科学学报,2014,37(2):146-154.
- [6] 韩冬锐.长三角城市群热环境时空格局及其对生态安全的影响[D].济南:山东师范大学,2017.
- [7] 方迎波,占文凤,黄帆,等.长三角城市群表面城市热岛日内逐时变化规律[J].地球科学进展,2017,32(2):187-198.
- [8] 张硕,刘勇洪,黄宏涛.珠三角城市群热岛时空分布及定量评估研究[J].生态环境学报,2017,26(7):1157-1166.
- [9] 王志春,徐海秋,汪宇.珠三角城市群集群化发展对热岛强度的影响[J].气象,2017,43(12):1554-1561.
- [10] 朱娟,李锐,谢丹妮,等.珠三角城市群热岛效应时空分布特征[J].环境科学导刊,2018,37(3):11-16.
- [11] 许辉熙.成都平原中等城市的热岛效应动态特征对比研究[J].测绘与空间地理信息,2015,38(1):13-19.
- [12] 程志刚,杨欣悦,孙晨,等.成都地区夏季城市热岛变化及其与城市发展的关系[J].气候变化研究进展,2016,12(4):322-331.
- [13] 程志刚,孙晨,毛晓亮,等.城市化对成都地区夏季气候变化影响的数值模拟研究[J].成都信息工程大学学报,2016,31(4):386-393.
- [14] 李肇洁,曾胜兰.基于WRF模式的成都地区热岛效应的模拟研究[J].成都信息工程大学学报,2016,31(6):629-636.
- [15] 陈倩,周启刚,金亚美.基于Landsat TM的重庆都市区地表热环境时空变化研究[J].水土保持研究,2014,21(6):84-89+2.
- [16] 白莹莹,程炳岩,王勇,等.城市化进程对重庆夏季高温炎热天气的影响[J].气象,2015,41(3):319-327.
- [17] 吉莉,李强,张爽,等.城市化进程对重庆北碚城郊气温变化的影响[J].气象科技,2015,43(2):320-325.

- [18] 陈艳英,赵磊,梅勇,等. 基于MODIS地表温度的重庆城市热岛研究[J]. 南通大学学报(自然科学版),2016,15(3):57-66+95.
- [19] 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.
- [20] 李晓敏,曾胜兰. 成都、重庆城市热岛效应特征对比[J]. 气象科技,2015,43(5):888-897.
- [21] 陈颖锋,王玉宽,傅斌,等. 成渝城市群城镇化的热岛效应[J]. 生态学杂志,2015,34(12):3494-3501.
- [22] Wan Z. MODIS land surface temperature algorithm theoretical basis document [EB/OL]. 1999. http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod11.pdf.
- [23] 于文凭,马明国. MODIS地表温度产品的验证研究——以黑河流域为例[J]. 遥感技术与应用,2011,26(6):705-712.
- [24] 陈松林,王天星. 等间距法和均值标准差法界定城市热岛的对比研究[J]. 地球信息科学学报,2009,11(2):145-150.
- [25] 谢志清,杜银,曾燕,等. 长江三角洲城市带扩展对区域温度变化的影响[J]. 地理学报,2007(7):717-727.
- [26] 宋怡,马明国. 基于GIMMS AVHRR NDVI数据的中国寒旱区植被动态及其与气候因子的关系[J]. 遥感学报,2008(3):499-505.
- [27] 孙华,白红英,张清雨,等. 基于SPOT VEGETATION的秦岭南坡近10年来植被覆盖变化及其对温度的响应[J]. 环境科学学报,2010,30(3):649-654.
- [28] Jing X, Yao W Q, Wang J H, et al. A study on the relationship between dynamic change of vegetation coverage and precipitation in Beijing's mountainous areas during the last 20 years [J]. Mathematical and Computer Modelling, 2011, 54: 1079-1085.
- [29] Jiapaer G L, Chen X, Bao A M. A comparison of methods for estimating fractional vegetation cover in arid regions [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2011, 151: 1698-1710.
- [30] 李苗苗,吴炳方,颜长珍,等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. 资源科学,2004(4):153-159.
- [31] 张小飞,王仰麟,吴健生,等. 城市地域地表温度-植被覆盖定量关系分析——以深圳市为例[J]. 地理研究,2006(3):369-377.

Study on the Relationship between Thermal Environment Effect and Vegetation Coverage in Chengyu Urban Agglomeration

JIN Fanqi¹, CHENG Zhigang^{1,2}, JIN Liya^{1,2}, ZHANG Baiping³

(1. College of Atmospheric Science, Chengdu University of Information and Technology, Chengdu 610225, China; 2. Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610225, China; 3. Institute of Geography and Resources, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: The study of heat island effect and vegetation coverage in Chengyu urban agglomeration has important guiding significance for urban development planning and ecological civilization construction. The Mean-Standard deviation method is used to study the change of thermal field in Chengyu urban agglomeration. Analysis of temporal and spatial variation of heat island by heat island index. Through the change trend characteristics of land surface temperature and vegetation coverage further analyze the relationship between land surface temperature and vegetation coverage in urbanization. The results show that the thermal field of Chengyu urban agglomeration has changed in the past 16 years, and the urban heat island effect is significantly enhanced. The change trend of surface temperature in spring and summer is contrary to in winter. Surface temperature increase(decrease) in urban areas more markedly than that in surrounding areas. Under urban development, there is a significant negative correlation between surface temperature and vegetation coverage in Chengyu urban agglomeration.

Keywords: atmospheric science; climate change; Chengyu urban agglomeration; heat island effect; MODIS LST; vegetation coverage