

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

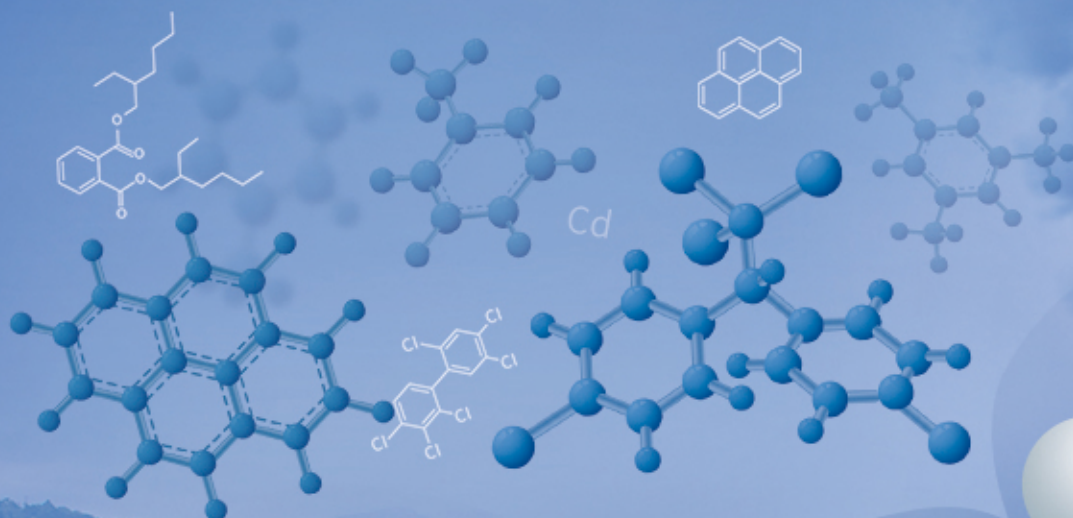
环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

升金湖水体优先污染物筛选与风险评价

龚雄虎, 丁琪琪, 金苗, 薛滨, 张路, 姚书春, 王兆德, 卢少勇, 赵中华



PAHs

VOCs

HMs

PCBs

PAEs

OCPs

ANTs

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2021年10月

第42卷 第10期
Vol.42 No.10

目次

PM _{2.5} 化学组分连续观测在污染事件源解析中的应用	蔡凡涛, 尚玥, 戴维, 谢鸣捷 (4575)
汾渭平原 PM _{2.5} 空间分布的地形效应	黄小刚, 赵景波, 孙从建, 汤慧玲, 梁旭琦 (4582)
华中地区冬季灰霾天气下 PM _{2.5} 中重金属污染特征及健康风险评价: 以湖北黄冈为例	李星谕, 毛瑶, 陈展乐, 刘威杰, 程铖, 石明明, 许安, 苏业旺, 胡天鹏, 祁士华, 邢新丽 (4593)
华北区域大气中羰基化合物体积分数水平及化学反应活性	黄禹, 陈曦, 王迎红, 刘子锐, 唐贵谦, 李杏茹 (4602)
成都市春季 O ₃ 污染特征及关键前体物识别	韩丽, 陈军辉, 姜涛, 徐晨曦, 李英杰, 王成辉, 王波, 钱骏, 刘政 (4611)
基于边界观测的长三角某工业区 O ₃ 来源特征	黄晴, 黄银芝, 张珊, 金丹, 高松, 修光利 (4621)
廊坊开发区 8~9 月 O ₃ 污染过程 VOCs 污染特征及来源分析	张敬巧, 王宏亮, 方小云, 刘锐泽, 丁文文, 凌德印, 王淑兰 (4632)
广东省家具行业基于涂料类型的 VOCs 排放特征及其环境影响	曾春玲, 邵霞, 刘锐源, 姚懿娟, 李银松, 侯墨, 刘洋, 范丽雅, 叶代启 (4641)
厦门湾空气质量对新冠疫情管控的响应	徐超, 吴水平, 刘怡靖, 钟雪芬 (4650)
北京平原和延庆地区山谷风异同及对污染的影响	吴进, 李琛, 马志强, 孙兆彬, 韩婷婷, 邱雨露, 马小会, 李颖若, 朱晓娟 (4660)
两湖盆地冬季区域大气颗粒物污染特征及独特的风场和下垫面影响	朱燕, 赵天良, 白永清, 徐家平, 孙晓芸, 胡未央, 常嘉成, 杨婕, 朱从祯 (4669)
燃煤电厂颗粒物中硫酸根与硝酸根离子的转化规律	杨柳, 何晴, 盛重义 (4678)
长江流域主要干/支流化学特征及外源酸的影响	王琪, 于爽, 蒋萍萍, 孙平安 (4687)
土地利用对太湖入流河道营养盐的影响	连心桥, 朱广伟, 杨文斌, 康丽娟, 朱梦圆, 许海 (4698)
基于 eDNA 技术的渭河浮游动物多样性及关键种生态位特征	梁东, 夏军, 宋进喜, 常剑波, 吴琼, 程丹东, 张怡恒, 孔飞鹤, 任源鑫 (4708)
三亚市水体中 PPCPs 的污染水平、分布特征及生态风险评价	任丙南, 耿静 (4717)
升金湖水体优先污染物筛选与风险评价	龚雄虎, 丁琪琪, 金苗, 薛滨, 张路, 姚书春, 王兆德, 卢少勇, 赵中华 (4727)
天目湖沙河水库水生态安全状况长期变化及影响因素	杨文斌, 段文秀, 崔扬, 朱广伟, 吴天浩, 许海, 朱梦圆 (4739)
华中地区供水水库抗生素抗性基因的季节变化及影响因素	张凯, 辛蕊, 李观家, 王倩, 王亚南, 许智恒, 崔向超, 魏巍 (4753)
快速城镇化进程中珠江三角洲硝酸型地下水赋存特征及驱动因素	吕晓立, 刘景涛, 韩占涛, 朱亮, 张玉玺 (4761)
盐城地区地表水化学空间特征及控制因素分析	王建, 张华兵, 许君利, 彭俊 (4772)
基于沉积物中总氮和总磷垂向分布与吸附解吸特征的白洋淀清淤深度	周亚婷, 陈兴宏, 李立青, 张伟军, 张美一, 王东升, 王洪杰 (4781)
硼酸和磷酸对 PMS/Co ²⁺ 均相催化氧化有机物的影响因素与机制	万琪琪, 陈铸昊, 曹瑞华, 王静怡, 文刚 (4789)
磁性生物炭负载 α-MnO ₂ 活化过一硫酸盐降解 2,2',4,4'-四溴联苯醚	李鑫, 尹华, 罗昊昱, 欧阳晓芳, 刘航, 祝铭韩 (4798)
紫外活化过硫酸钠灭活水中噬菌体 MS2 的特性及机制	张崇森, 杨昊明, 王真 (4807)
铈改性水葫芦生物炭对磷酸盐的吸附特性	王光泽, 曾薇, 李帅帅 (4815)
低温地下水净化工艺中氨氮去除性能及机制	李冬, 刘孟浩, 张瑞苗, 曾辉平, 张杰 (4826)
我国城市污泥中重金属的赋存形态与生态风险评价	耿源濂, 张传兵, 张勇, 黄豆豆, 闫姝晓, 孙腾飞, 程柳, 王静, 毛宇翔 (4834)
不同气候类型下污水厂活性污泥中微生物群落比较	杨思航, 秦泽生, 梁漫春 (4844)
部分亚硝化-厌氧氨氧化协同反硝化处理生活污水脱氮除碳	秦彦荣, 袁忠玲, 张明, 张民安, 刘安迪, 付雪, 马娟, 陈永志 (4853)
同步短程硝化-厌氧氨氧化-短程反硝化颗粒污泥培育过程及其性能	周峰, 刘勇弟, 厉巍 (4864)
多种微塑料提取方法在中国典型土壤中的应用	赵小丽, 刘子涵, 从辰宇, 韩剑桥 (4872)
柴达木盆地表土重金属污染与来源分析	陈亮, 张西营, 唐启亮, 耿盛, 王二龙, 李姜瑶 (4880)
快速城市化区域不同用地类型土壤重金属含量分布特征及生态风险	李梦婷, 沈城, 吴健, 黄沈发, 李大雁, 王敏 (4889)
广西都安县典型水田晒地球化学特征及影响因素	刘飞, 杨柯, 徐仁廷, 唐世琪 (4897)
炭化苹果枝通过减少土壤 DTPA-Cd 降低苹果砷木镉积累和镉伤害	邓波, 荀咪, 张玮玮, 杨洪强 (4908)
海南省集约化种植园中谷物、蔬菜和水果中重金属累积程度及健康风险	杨剑洲, 王振亮, 高健翁, 严慧, 胡树起, 唐世新, 龚晶晶 (4916)
环境中抗生素抗性基因丰度与抗生素和重金属含量的相关性分析: 基于 Web of Science 数据库检索	苗荪, 陈磊, 左剑恶 (4925)
银川市农田土壤中四环素类抗生素的污染特征及生态风险评估	张小红, 陶红, 王亚娟, 马志义, 周泽英 (4933)
施用不同来源粪肥对土壤中抗生素淋溶的影响	李斌绪, 朱昌雄, 宋婷婷, 马金莲, 张治国, 李红娜 (4942)
我国典型森林土壤微生物驱动的氮代谢途径特征解析	吕雪丽, 赵永鹏, 林清火, 彭显龙, 尹云锋, 蒋先军 (4951)
青藏高原高寒湿地春夏两季根际与非根际土壤反硝化速率及 nirS 型反硝化细菌群落特征分析	李玉倩, 马俊伟, 高超, 霍守亮, 夏星辉 (4959)
松嫩平原芦苇湿地退化与修复过程中土壤细菌和甲烷代谢微生物的群落结构	王秋颖, 王娜, 刘颖, 陈功, 何辉, 高婕, 庄绪亮, 庄国强 (4968)
不同轮作休耕下潮土细菌群落结构特征	南镇武, 刘柱, 代红翠, 张磊, 王娜, 徐杰, 刘开昌, 孟维伟, 王旭清 (4977)
稻田土壤光合细菌群落对镉污染的响应	罗路云, 金德才, 王殿东, 陈昂, 张德咏, 曾军, 匡炜, 张卓, 刘勇 (4988)
铁尾矿芦苇根际微生物和根内生菌群落分布及其限制性因子解析	曹曼曼, 王飞, 周北海, 陈辉伦, 袁蓉芳 (4998)
有机无机氮配施对不同程度盐渍土硝化和反硝化作用的影响	周慧, 史海滨, 张文聪, 王维刚, 苏永德, 闫妍 (5010)
水稻产量、稻田 CH ₄ 和 N ₂ O 排放对长期大气 CO ₂ 浓度升高的响应	于海洋, 宋开付, 黄琼, 王天宇, 张广斌, 马静, 朱春梧, 徐华 (5021)
原料和热解温度对生物炭中可溶性有机质的影响	闫代红, 马亚培, 宋凯悦, 马红亮, 高人, 尹云锋 (5030)
中国 84 个主要城市大气热岛效应的时空变化特征及影响因素	李宇, 周德成, 闫章美 (5037)
室内建筑装饰装修材料气味物质及其释放研究进展	张万众, 张彭义 (5046)
《环境科学》征订启事 (4814) 《环境科学》征稿简则 (4871) 信息 (4907, 5009, 5029)	

中国 84 个主要城市大气热岛效应的时空变化特征及影响因子

李宇, 周德成*, 闫章美

(南京信息工程大学应用气象学院, 南京 210044)

摘要: 日益加剧的城市化致使我国城市热岛效应日趋严重, 进而严重影响区域环境和人类健康。目前有关我国城市热岛效应的研究多基于卫星遥感获取的辐射温度, 有关大气热岛效应时空变化格局的认识相对薄弱。本文选取 84 个代表性城市, 基于 1960~2017 年逐日气温观测数据, 分析了我国大气城市热岛的地理分布特征及其昼夜、年内和年际变化趋势。结果表明, 所有城市平均热岛强度为 $(0.9 \pm 1.1)^\circ\text{C}$, 不同地区热岛强度差异明显, 北部地区明显高于南部地区, 华北地区最大, 年均强度达 $(1.4 \pm 1.4)^\circ\text{C}$; 不同时间和季节热岛强度差异大, 尤其东北和西北地区, 整体表现为夜晚 $[(1.2 \pm 1.1)^\circ\text{C}]$ 明显高于白天 $[(0.5 \pm 1.2)^\circ\text{C}]$, 白天夏季高于冬季, 夜晚冬季高于夏季; 从年际变化来看, 大部分城市年平均热岛强度呈明显增加态势, 平均增长速率达到 $0.040^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 但在 2009 年后出现明显减弱趋势; 通过分析热岛强度与局地气候和不透水面的关系, 结果发现大气热岛强度空间分布受气候背景和气象站点位置影响较大, 而长期变化受不透水面比例影响较大。本研究将深化对我国大气热岛效应变化规律的认识, 为制定缓解高温热浪的城市土地利用策略提供参考。

关键词: 城市化; 城市热岛; 时空格局; 大气温度; 影响因子

中图分类号: X16 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2021)10-5037-09 DOI: 10.13227/j.hjxx.202102003

Spatiotemporal Variations in Atmospheric Urban Heat Island Effects and Their Driving Factors in 84 Major Chinese Cities

LI Yu, ZHOU De-cheng*, YAN Zhang-mei

(School of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Accelerating urbanization seriously intensifies urban heat island effects in China, which in turn affects regional environment and human health. However, the spatiotemporal patterns of atmospheric urban heat island effects remain poorly understood in China as previous research is mostly based on satellite-sensed radiation temperatures. Using long-term daily meteorological observations from 1960 to 2017, this study explored the geographical distribution of atmospheric urban heat islands over diurnal, intra-annual, and inter-annual timescales in 84 major cities in China. The results show that on average, the intensity of the urban heat island reaches $(0.9 \pm 1.1)^\circ\text{C}$, although large geographical variations were detected. The intensity was, overall, larger in northern China than in southern China; North China showed the largest annual intensity of $(1.4 \pm 1.4)^\circ\text{C}$, and seasonal intensity variations were high in northeast and northwest China. Here, significantly higher intensity effects were measured at night $[(1.2 \pm 1.1)^\circ\text{C}]$ than during the day $[(0.5 \pm 1.2)^\circ\text{C}]$, and in summer than winter during the day, and in winter than summer during the night. Inter-annually, the annual mean urban heat island effect has increased by an average of 0.040°C per decade, although this trend weakens after 2009. Furthermore, we found that the spatial patterns of atmospheric heat island intensity was greatly affected by climatic background conditions and the location of meteorological stations, while the long-term trends were strongly influenced by the impervious surface area. This study improves understanding of the atmospheric urban heat island effect in China and provides important insights for formulating urban land-use strategies to alleviate high temperatures and heatwaves.

Key words: urbanization; urban heat island; spatial and temporal pattern; atmospheric temperature; impact factor

我国城市化正快速推进, 2011 年我国城市人口首次超过农村人口, 预测 2050 年我国城市人口数量达 10.9 亿, 占总人口的 80%^[1]. 城市化导致自然地表被沥青、水泥和金属等不透水表面所代替, 加上人为热排放的增加, 进而可能导致明显的城市热岛效应 (urban heat island, UHI), 即城区温度高于周边郊区或乡村的现象^[2,3]. 城市热岛不仅会改变局地生态环境^[4,5], 如植被生长、水及空气质量, 而且严重影响人类健康, 如增加发病率和死亡率等. 因此, 城市热岛效应成为近年来国内学者研究的热点^[6,7].

城市热岛效应的研究根据观测手段的不同, 整体可划分为大气和地表 UHI 两类. 地表 UHI 主要基

于遥感获取的辐射地表温度. 遥感技术因其具有全球覆盖、一致性、高空间分辨率和低成本等优势, 成为近年来城市热岛研究的主要手段^[8], 但其广泛应用受到数据和气象条件的极大限制^[6,9]. 一方面, 遥感获取的地表温度仅反映晴空条件地球表皮温度, 其精度受大气效应纠正、地表发射率、视场角以及传感器系统误差等的严重影响; 另一方面, 大气 UHI 与城市环境以及人类健康关系更为密切, 但

收稿日期: 2021-02-01; 修订日期: 2021-03-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41501465); 江苏高校“青蓝工程”项目 (R2019Q02)

作者简介: 李宇 (1997~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为城市气象, E-mail: 852440395@qq.com

* 通信作者, E-mail: zhoude@nuist.edu.cn

大气与地表 UHI 之间并非简单的线性关系,导致地表 UHI 研究成果应用困难.相对而言,大气 UHI 主要基于地面气象站观测资料,能够更加精准地反映城市热环境变化,因此本文主要关注大气热岛效应.

然而,有关大区域尺度大气热岛效应的认识仍相对薄弱.部分学者对我国大气热岛效应进行了研究,并取得重要进展,但多针对经济相对发达的特大城市或城市群,不能有效刻画城市热岛效应的时空变化格局.例如,Wang 等^[10]利用上海市过去 144 年的气象资料,对上海市城市热岛的时空变化特征进行了分析,结果发现上海市气温增长明显,但在 2005 ~ 2016 年间,上海市城市热岛强度降低了 0.58℃.少数研究通过对比气象观测与气候再分析资料温度变化趋势差异^[11~14],从较大区域或全国尺度评估了城市化与其它土地利用对区域温度的影响,但这类研究较难区分其它土地利用与城市化的相对贡献.因此,亟需从国家尺度全面评估我国大气城市热岛效应的时空变化特征.

本文以我国 84 个代表城市为例,基于气温观测、城市人口和城市不透水面比例等多源数据,分析了 1960 ~ 2017 年我国大气城市热岛效应的时空变化特征及其与气候背景和城市化发展的关系,通过深化对我国大气城市热岛效应演变规律的认识,以期制定缓解热岛效应的土地利用策略提供参考.

1 材料与方法

1.1 数据资料

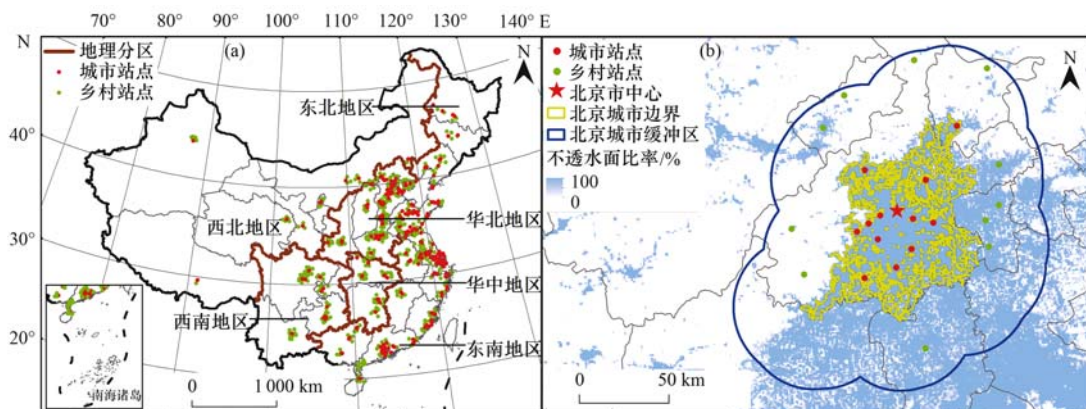
本研究所用的数据资料主要包括气象数据、城市不透水面和人口数据.气象数据包括来源于中国气象局 2 419 个地面气象观测站日平均气温、日最高气温、日最低气温和日累积降水量,数据时间跨度为 1960 ~ 2017 年.需要注意的是,历史气象观测的

两个数据质量问题需要在此提及:①不均匀性.对于长期气象数据集,Wijngaard 等^[15]的研究指出,如果不恰当地考虑数据的不均匀性,可能会在很大程度上影响研究结果的稳健性.遗憾的是,由于缺乏台站历史元数据的信息,无法调整数据的同质性.常用 Pettitt 检验来检验这些变量时间序列的均匀性,大多数站点的每个变量都能通过 5% 水平的显著性检验.②缺失值.尽管存在一些数据缺口,但每年有超 10 多个月的数据可用,可以利用线性回归方程,根据附近站点的数据来填充缺失值^[16].城市用地数据来源于 Gong 等^[17]研发的我国 1978 ~ 2017 年 30 m 分辨率居民区产品.人口数据来源于 2015 年联合国统计的全球各城市人口数据(<https://population.un.org/wup/Download/>).

1.2 城市与城乡对比气象站点的选取

根据 2015 年城市人口数据,选取全国人口超一百万的地级以上城市以及省会城市,共计筛选 107 个城市(图 1).利用全国 2015 年 30 m 分辨率的不透水面数据,基于移动窗口法计算 1 km² 格网尺度的城市不透水面比例.以城市不透水面比例超过 50% 为阈值,通过聚类生成各城市城区范围边界^[18],并将位于城区边界范围内的气象站点定义为城市站点[图 1(b)].进而以城区范围为边界,以位于城区外 50 km 缓冲区内的气象站为乡村站点,并剔除落在其他城市边界内或者城市不透水面比例超过 50% 的站点.此外,本文还进一步剔除了少数湿润地区因对比站点代表性差而出现明显冷岛效应的城市.经过上述步骤,最终筛选出 84 个满足对比气象站点要求的城市,并将中国划分为华中、华北、东北、西北、东南和西南这 6 个地区,以区分不同地区城市热岛差异[图 1(a)].

为了分析不透水面比例阈值对城乡气象站点选取的影响,本研究以 40% 和 60% 为阈值提取城区边



(a) 全国地理分区及城乡站点; (b) 北京市城乡站点分布示意

图 1 研究区示意

Fig. 1 Map of the study area

界,进而筛选城乡站点.结果表明,城市不透水面阈值的选取对城乡站点的选取结果影响较小(图2),

与 50% 阈值相比,大约 3/4 城市的城市站和乡村站点未发生变化或仅相差 1 个站点.

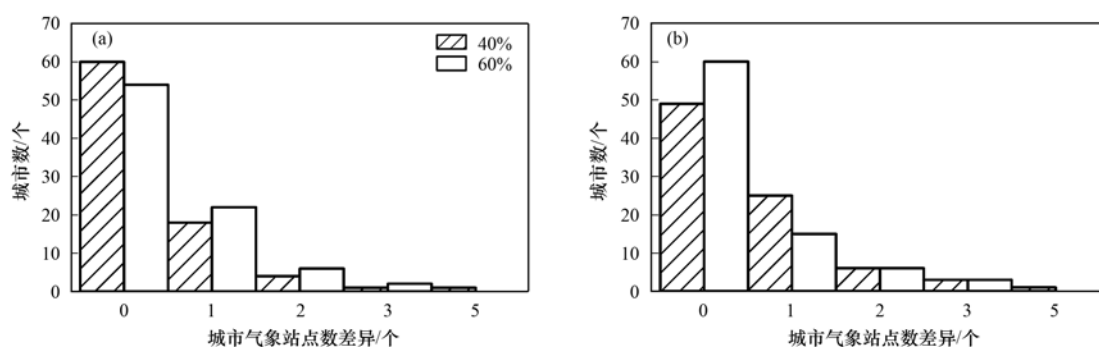


图2 基于不同不透水面比例阈值筛选城乡气象站点与本文结果的差异

Fig. 2 Differences in the urban and rural meteorological stations based on different thresholds of impervious surface area relative to that of this study

1.3 城市热岛强度的计算

本文将城市热岛强度定义为城市与乡村温度之差.首先,以城市站经纬度平均值代表城市中心经纬度;其次,计算每个城市站和乡村站与城市中心位置的海拔差,以海拔每升高 100 m 温度降低 0.6℃ 的递减率对所有气象站点的温度进行订正;最后,利用反距离加权法^[19]计算每个城市对应城市中心位置的城市和乡村温度,计算公式如下:

$$T(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i \times T(s_i) \quad (1)$$

式中, $T(s_0)$ 为对应的城市站或参考乡村站温度; N 为城市或乡村站点数量; $T(s_i)$ 为经海拔订正后的城市站或乡村站温度; λ_i 为各城市站或乡村站 (s_i) 反距离权重,计算公式如下:

$$\lambda_i = \frac{1/[(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2]}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}} \quad (2)$$

式中, x_i 和 y_i 为 s_i 处的气象站点的经纬度; x_0 和 y_0 为城市中心 s_0 处的经纬度.

本文分别基于日平均气温 (T_{ave})、日最高气温 (T_{max})、日最低气温 (T_{min}) 和气温日较差 (DTR) 这 4 种温度数据计算了城乡温度差. T_{max} 和 T_{min} 所得城乡温度差分别表征白天和夜晚城市热岛强度.

1.4 城市热岛强度时空变化及其驱动因子分析方法

因各城市气象观测数据开始时间有所不同,为确保各城市均有观测数据,本文首先利用 2007 ~ 2017 年多年平均强度代表各城市热岛强度,并计算了不同地理分区的平均强度,以反映城市热岛强度的空间分布特征及其日变化和年内变化特征.进而根据各城市观测数据情况,分别计算了 1960 ~ 1990 年和 1990 ~ 2017 年城市热岛年际变化趋势.此外,本文还逐年计算了所有城市平均热岛强度,以分析

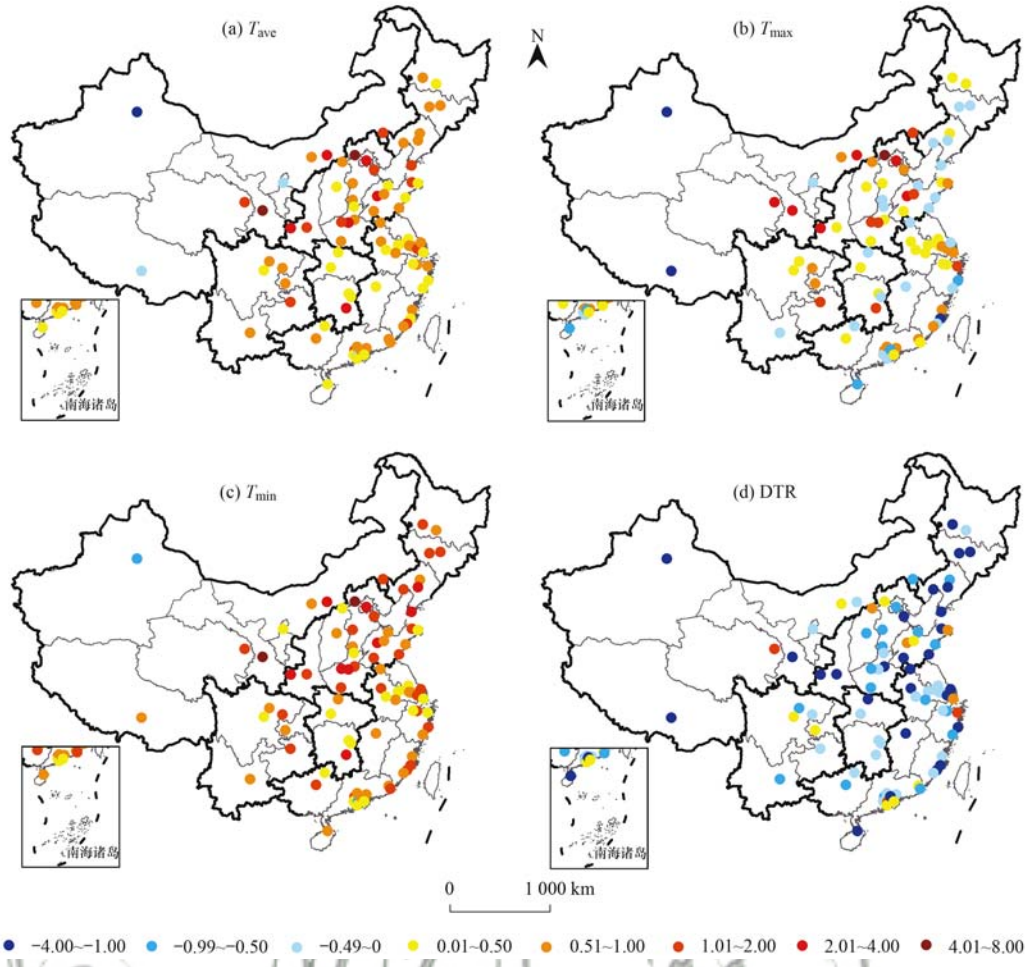
1960 ~ 2017 年城市热岛的整体变化趋势,考虑到不同年份拥有观测数据城市个数差异对整体变化趋势的可能影响,同时计算了 27 个拥有完整时间序列观测数据城市的平均热岛强度,结果发现二者年际变化趋势类似.

驱动因子分析主要计算了城市热岛与气候背景 (降水量与平均温度) 和不透水面比例的皮尔逊相关系数.各城市的平均温度和降雨量利用同时期所有气象站 (城市和乡村站) 的平均值表示,不透水面比例的城乡差采用与城市热岛强度相同方法计算.关于城市热岛年际变化趋势与上述因子的关系,由于不透水面比例数据时段相对较短,本研究仅计算了 1990 ~ 2017 时段的相关系数.

2 结果与分析

2.1 城市热岛效应的空间分布

除少数西北干旱区城市外,绝大部分城市均表现出明显的热岛效应,且不同城市和区域热岛强度差异明显 (图 3).我国平均热岛强度为 $(0.9 \pm 1.1)^\circ\text{C}$,白天平均热岛强度为 $(0.5 \pm 1.2)^\circ\text{C}$,夜晚为 $(1.2 \pm 1.1)^\circ\text{C}$.张家口、兰州和北京等城市日平均热岛强度最高,热岛强度超过 5.8°C ,相对而言,乌鲁木齐、银川和拉萨城市则表现出明显的冷岛效应,乌鲁木齐降温幅度达 -1.5°C [图 3(a)];另外,城市热岛昼夜变化明显,超 80% 的城市热岛强度夜晚明显大于白天,最高昼夜差达 2.8°C ,平均昼夜差达 0.7°C ,特别是约 35% 的城市在白天出现微弱的冷岛效应 [图 3(b) ~ 3(d)];整体上,我国的城市热岛强度有明显的南北差异,北方地区的城市热岛强度高于南方,华北地区最高,达 $(1.4 \pm 1.4)^\circ\text{C}$,且各地区夜晚热岛强度均高于白天,尤其东北地区,昼夜热岛差达 $(1.6 \pm 0.8)^\circ\text{C}$ (图 4).



数值表示城市热岛强度,单位℃; T_{ave} 表示日平均气温, T_{max} 表示日最高气温, T_{min} 表示日最低气温, DTR 表示气温日较差

图3 中国84个主要城市大气城市热岛强度的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of the atmospheric urban heat island intensity in 84 major cities of China

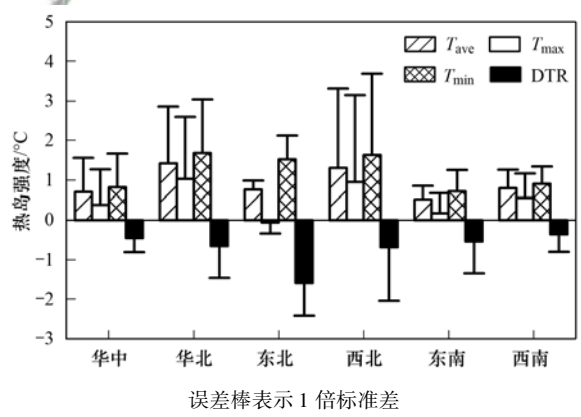


图4 不同地区城市热岛强度

Fig. 4 Urban heat island intensity in different geographic regions

2.2 城市热岛效应的年内变化

城市热岛年内变化明显,且不同地区趋势差异较大(图5和图6).各地区白天城市热岛表现为夏季强冬季弱,而夜晚和平均城市热岛正好相反.夜晚的热岛年内变化幅度大于白天,东南和西南地区的白天热岛季节变化相对平缓[图5(e)和5(f)],而夏季的昼夜热岛差小于冬季.从变化程度上看,东北

和西北地区的年内较差较大,尤其是东北地区夜晚热岛强度的年内差值最大,超过了 $(2.2 \pm 1.0)^\circ\text{C}$,但该地区白天热岛强度的年内变化幅度只有平均热岛的一半大小,西南地区热岛强度的变化小,且不同时间下相差小,平均月差值为 $(0.5 \pm 0.3)^\circ\text{C}$.

2.3 城市热岛效应的长期变化趋势

1960~2017年,绝大部分城市热岛强度呈增加态势,特别在1990~2017时段(图7),最高增长速率(吉林市)达 $0.406^\circ\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$,但同时也有近33%城市出现明显的降低趋势.前30a,城市热岛呈增长趋势的城市主要分布在东南地区,平均以 $(0.056 \pm 0.064)^\circ\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 的速率增长.后30a,除西北和华中地区外,其他地区大部分城市的热岛均呈显著增长态势,尤其东北地区达 $(0.101 \pm 0.159)^\circ\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ (图8).东北后30a的增长速率是前30a的近3倍,东南地区在后30a的增长速率则减弱一半以上.所有城市年平均热岛强度逐年变化趋势如图9所示,各城市年平均热岛强度在整个时段整体呈显著增加趋势,平均增长速率达到了

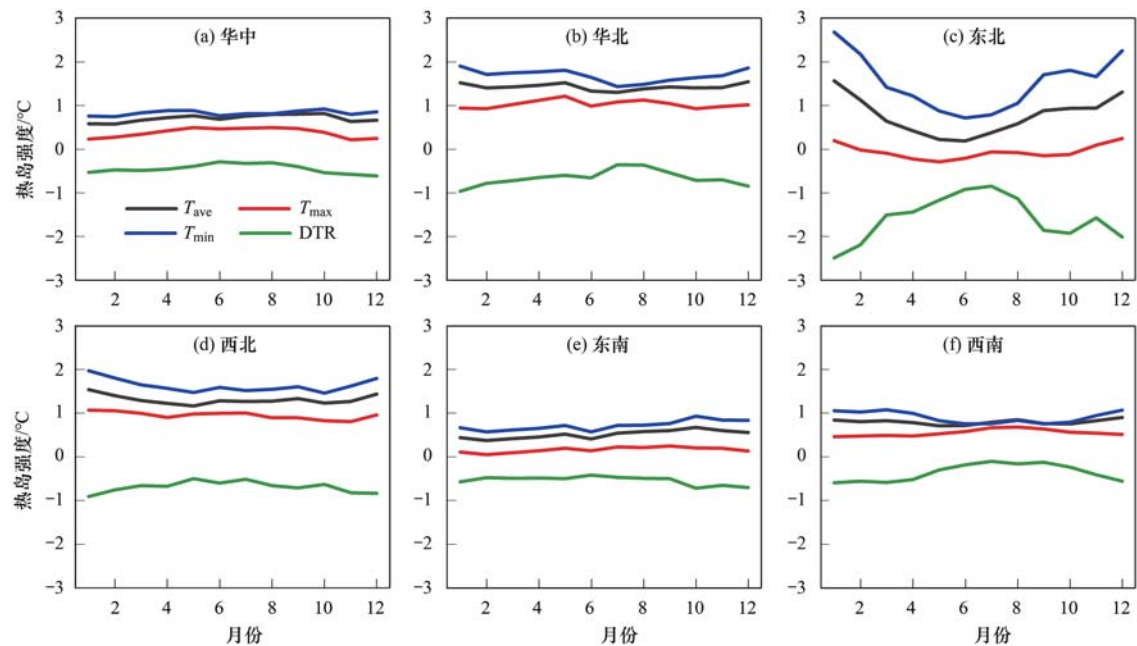


图 5 不同地区城市热岛强度逐月变化趋势
Fig. 5 Monthly trends in urban heat island intensity in different geographic regions

$0.040\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,但在 2009 年左右出现明显的降低趋势,且其降低速率 $[-0.283\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}]$ 明显高于前期的增加速率 $[0.057\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}]$.通过进一步分析 27 个具有完整时间序列观测数据城市的平均热岛强度,结果发现其年际变化趋势与所有城市变化趋势高度一致,说明 2009 年可能是我国城市热岛效应整体出现好转的拐点年份.

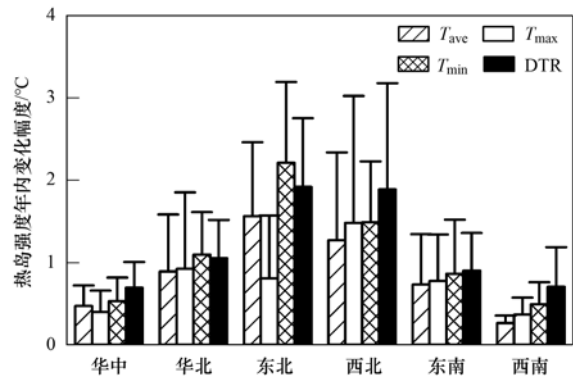
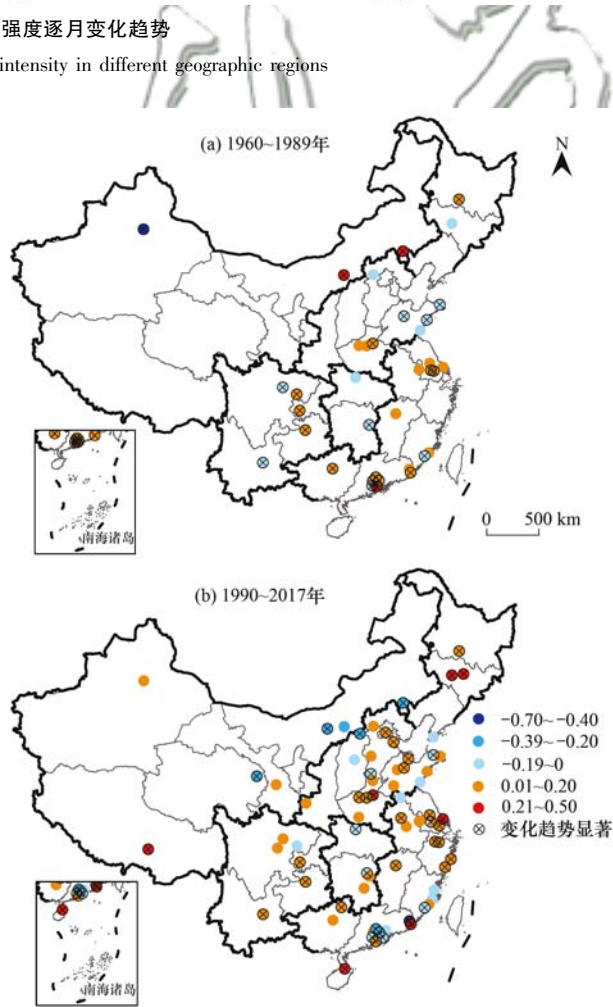


图 6 不同地区城市热岛强度年内变化幅度
Fig. 6 Magnitudes of intra-annual variations in urban heat island intensity in different geographic regions

2.4 城市热岛与气候因子和不透水面比例的关系

城市热岛地理分布与降水量和气温呈显著负相关关系($P < 0.05$),与不透水面比例呈不显著的正相关关系,且夜晚热岛强度与各因子相关性高于白天(表 1).对比之下,城市热岛日较差与各因子的关系相反,但关系不显著.从长期变化趋势来看,不同城市与各因子的相关性差异较大(图 10),除个别城市外,1990~2017 年城市热岛变化与降水量和气温的相关系数的绝对值都小于 0.5,白天城市热岛变



数值表示城市热岛强度变化率,单位 $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$
图 7 中国主要城市年平均城市热岛强度年际变化趋势
Fig. 7 Interannual-trend in the annual average urban heat island intensity in major Chinese cities

化与累积降水量和气温之间呈负相关的城市比夜晚更多,主要集中在西部地区 and 东南地区;超半数城

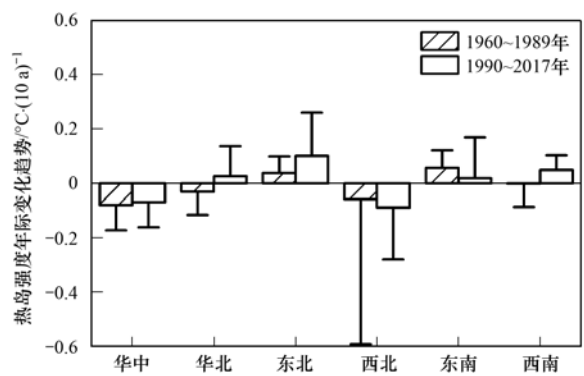


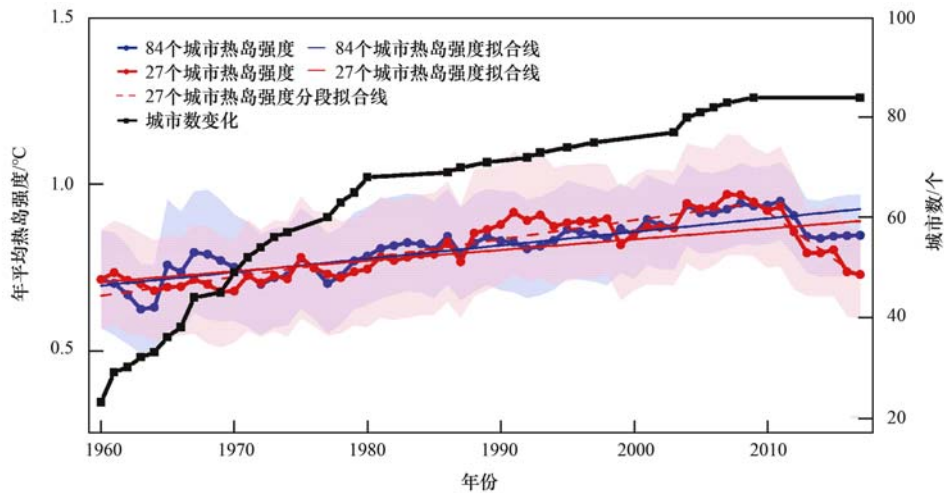
图8 不同地区日平均城市热岛年际变化趋势
Fig. 8 Interannual-trends in the daily average urban heat islands in different geographic regions

表1 中国84个主要城市的城市热岛强度与气候因子和不透水面比例的皮尔逊相关系数¹⁾

Table 1 Pearson's correlation coefficients of urban heat island intensity with climatic factors and impervious surface area percentage across 84 major Chinese cities

	降水量	平均气温	不透水面比例
日平均气温	-0.307 **	-0.274 *	0.115
日最高气温	-0.227 *	-0.228 *	0.091
日最低气温	-0.380 **	-0.322 **	0.149
气温日较差	0.195	0.117	-0.109

1) * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关, ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关



$S_{84} = 0.040\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$, $R_{84}^2 = 0.726$; $S_{27} = 0.032\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$, $R_{27}^2 = 0.444$; 分段拟合: $S_{\text{前}} = 0.057\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$, $S_{\text{后}} = -0.283\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$, $R^2 = 0.870$; S_{84} 和 S_{27} 分别表示 84 和 27 个城市的年平均热岛强度变化率, R_{84}^2 和 R_{27}^2 分别表示 84 和 27 个城市年平均热岛强度拟合线的确定系数, $S_{\text{前}}$ 和 $S_{\text{后}}$ 分别表示 27 个城市年平均热岛强度前后两段拟合线的变化率, R^2 表示 27 个城市年平均热岛强度拟合线的确定系数; 阴影区域表示标准误

图9 1960~2017年所有城市及27个具有完整时间序列观测数据的年平均热岛强度变化趋势
Fig. 9 Inter-annual trends in the annual average urban heat island intensity for all cities and the 27 cities with complete time-series observation data from 1960 to 2017

市的热岛变化与不透水面比例都呈负相关,这个现象在夜晚比白天更明显.白天和夜晚与降水量达到显著相关的城市仅为2%和6%,与温度达到显著相关的城市分别占有所有城市的17%和25%;城市热岛变化与不透水面比例的相关性最强,约半数城市的热岛变化与不透水面比例达到了显著相关.

3 讨论

3.1 我国城市热岛效应的时空变化特征

针对当前大气热岛效应研究相对薄弱问题,本文以84个代表性城市为对象,系统分析了我国大气城市热岛效应的时空变化特征.本文所估算的城市热岛强度与以往研究基本吻合^[10,12,20,21].但本研究发现西北干旱区热岛和冷岛效应并存,整体表现为明显的热岛效应,这与以往“干旱地区城市热岛强

度小”^[20]的认知有所差异.方法差异和对比气象站点下垫面环境差异可能是导致结果差异的主要原因.日变化方面,本研究发现与大部分研究的结果一致,即夜晚的热岛强度大于白天^[22];但也有学者得出不同的结论,例如冬季夜晚大于白天,而夏季夜晚小于白天^[12].季节变化特征方面,本文发现各地区白天城市热岛夏强冬弱,而夜晚和平均城市热岛正好相反,与Yang等^[11]的研究结果一致.长期变化趋势方面,本文的结果表明随着城市化的推进,大部分城市热岛效应日益严峻,与Shen等^[14]的研究结果类似;但在2009年左右出现下降趋势,这与Wang等^[10]在上海的研究结果一致.一方面,节能减排、重视绿化可能减弱热岛强度;另一方面,城市周边郊区、乡村的城市化程度的增加可能导致了城市热岛强度估算值的降低.影响因素方面,本研究发现城

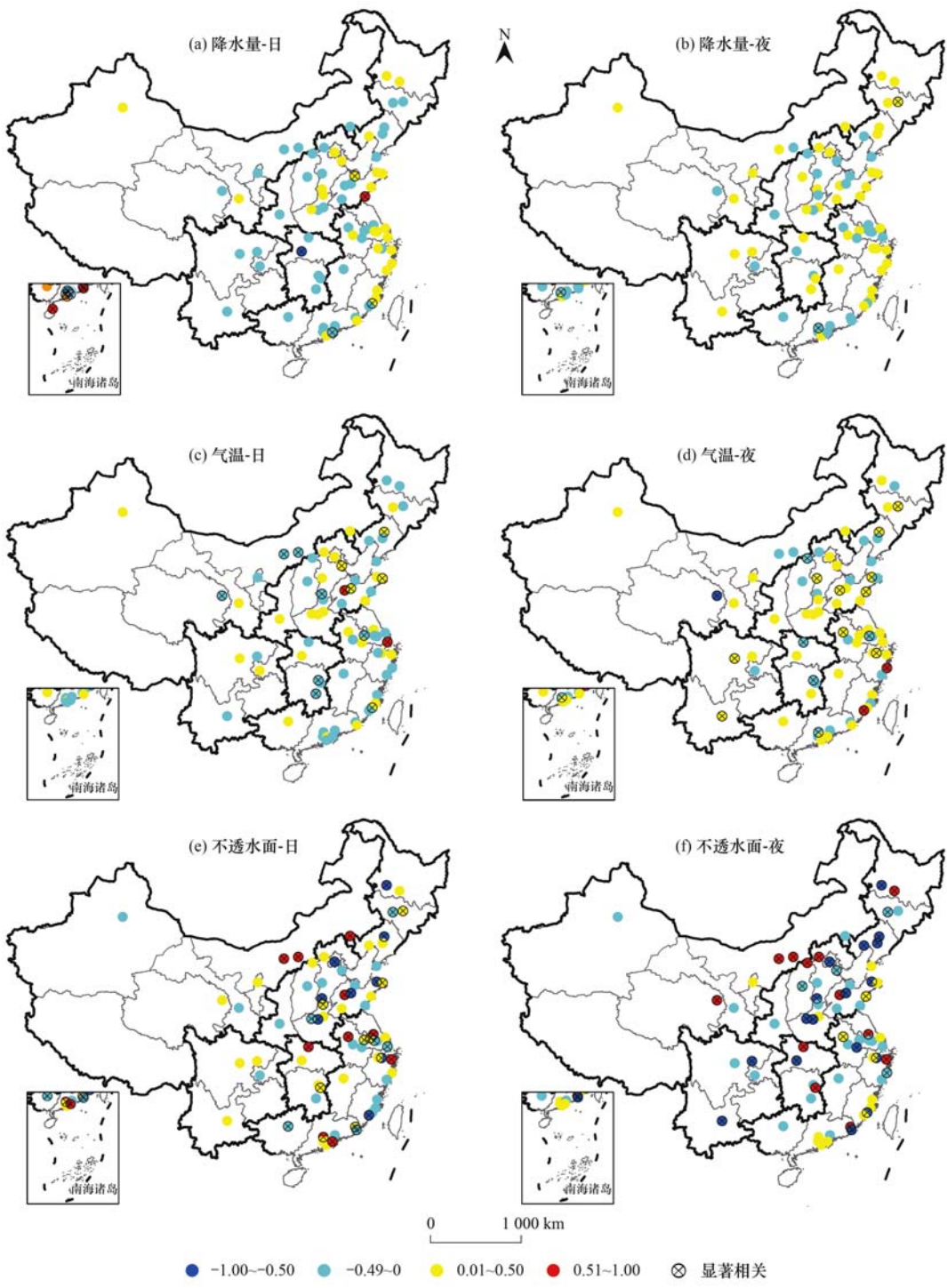


图 10 中国 84 个主要城市 1990 ~ 2017 年城市热岛强度变化与气候因子和城市不透水面比例皮尔逊相关系数

Fig. 10 Pearson's correlation coefficients between urban heat island intensity changes and climatic factors or impervious surface area percentages from 1990 to 2017 for 84 major Chinese cities

市热岛与降水量和气温呈负相关,与不透水面比例呈正相关关系,与熊鹰等^[23]的研究结果一致.同时本研究发现夜晚热岛相对于白天与各因子的关系更为密切,说明其它因子如风速、植被条件等可能对白天热岛影响更明显.

3.2 大气与地表城市热岛效应的差异

大气热岛与卫星遥感观测的地表热岛的时空变化特征差异明显.例如,前期对中国主要城市地表热

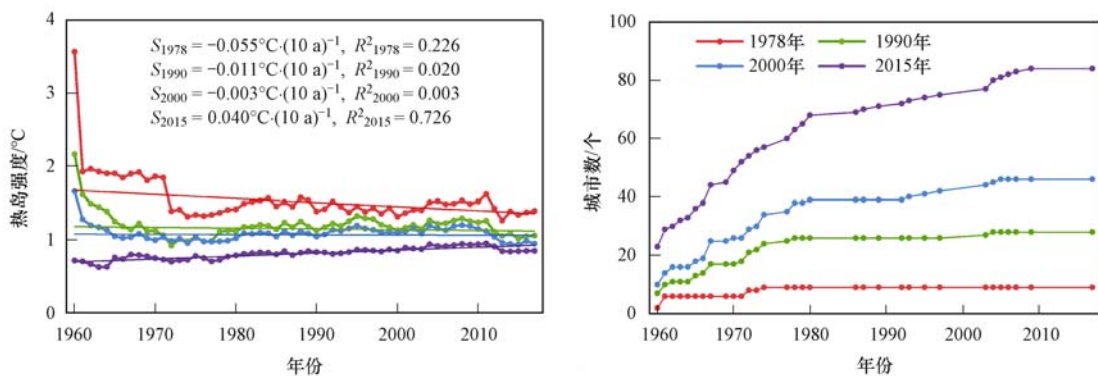
岛效应的研究发现^[18,24]白天与夜晚地表热岛效应的相对大小与城市地理位置有关,整体上白天热岛效应更为明显,这与大气热岛效应的日内变化趋势正好相反^[18,25];此外,二者的空间分布也存在较大差异,大气热岛整体表现为北高南低的态势[图 3 (a)和图 4],而地表热岛白天表现为东南高、西北低的分布格局,夜晚的高值区则位于东北、华北地区^[26].与此同时,大气与地表热岛效应也存在一些

相同特征.例如,地表和大气热岛的季节变化趋势整体在白天夏季高于冬季,夜间趋势相反;东北地区地表和大气热岛均表现出较大的昼夜和季节差异;驱动因子方面,地表和大气热岛均与气候因子(降水和气温)密切相关,而且二者与气候因子的关系相同^[24,27].因此,温度变量的选择对城市热岛效应结果影响较大,进而直接影响相关决策的制定,未来需加强地表和大气热岛差异对比研究.

3.3 不确定性分析

本研究尚存在较大的不确定性.首先,选择不同年份城市不透水面数据明显影响城市热岛的年际变化趋势及其具备城市站的城市数量.例如,本研究基于1978、1990和2000年的不透水面数据,采用相

同原则筛选城市站(乡村站不变),分别计算城市热岛强度及其变化趋势.结果发现,基于早期不透水面数据计算的城市热岛强度均大于本研究估算结果,且呈现出与本研究相反的年际变化趋势[图11(a)],对应具备城市站的城市数量明显减少[图11(b)].这主要是由于我国城市的快速扩张不仅增加“进城”气象站点的数量,还将通过不透水面比例的不断提高增加乡村站的温度^[28].基于早期城市不透水面数据估算的城市热岛强度不仅不能反映城市扩张对热岛的影响,还将直接导致城乡温差逐年降低的趋势.基于最新不透水面数据定义城市边界虽然可以最大限度地反映我国快速城市化对热岛的影响,但仍一定程度上低估了大气热岛效应的强度.



(a) 折线表示年平均热岛强度,直线表示年平均热岛强度拟合线, S_{1978} 、 S_{1990} 、 S_{2000} 和 S_{2015} 分别表示基于不同年份不透水面数据计算的年平均热岛强度变化率, R^2_{1978} 、 R^2_{1990} 、 R^2_{2000} 和 R^2_{2015} 分别表示基于不同年份不透水面数据计算的年平均热岛强度拟合线的确定系数;(b)不同时期具有城市气象观测数据城市个数

图 11 基于不同时期不透水面数据的城市热岛强度及变化趋势

Fig. 11 Intensity and trend of urban heat island based on impervious surface data in different periods

另外,本研究还存在其他的不确定性.例如,不同城市的城市和乡村站差异较大,所估算的城乡温度差异可能受到气象站点位置和局部气候的影响(图1);由于城市热岛效应可能影响周围乡村气象站点观测温度^[29],基于反距离插值法估算参考乡村温度,一定程度上可能减少城乡温差,进而低估城市热岛强度;仅27个城市具备1960~2017年相对完整的时间序列观测数据,城市热岛效应长期变化趋势可能受不同城市气象观测数据时段不一致的限制(图9);本研究仅分析了大气热岛与气候和城市不透水面的关系,其它因子对城市热岛的影响有待进一步探究.

4 结论

(1)我国绝大部分城市表现出了明显的热岛效应,且不同城市和区域热岛强度差异明显,华北和西北地区平均城市热岛强度最高,其中张家口市热岛强度达到 5.8°C ,而在西北干旱区城市则表现出明显的冷岛效应.

(2)我国各地区城市热岛强度夜晚大于白天,白天夏季强冬季弱,而夜晚为夏季弱冬季强,且夜晚热岛强度季节变化更明显.

(3)1960~2017年间,我国城市年平均热岛强度整体上是每10 a 0.040°C 的速度在增强的,2009年城市热岛效应出现减少态势.

(4)降水量、气温与城市热岛的空间分布相关性更显著,不透水面比例对城市热岛长期变化影响更明显.

(5)本研究仍存在一定的不确定,特别是城乡气象站点代表性问题.未来需加强对大气城市热岛效应的观测及其与地表热岛效应差异的对比研究.

参考文献:

- [1] United Nations. World urbanization prospects 2018 [EB/OL]. <https://population.un.org/wup/Download/>, 2020-10-16.
- [2] Oke T R. The energetic basis of the urban heat island [J]. Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society, 1982, **108** (455): 1-24.
- [3] Howard L. The climate of London; deduced from meteorological observations [M]. London: Harvey and Darton Press, 1833.

- [4] Goddard I L M, Tett S F B. How much has urbanisation affected united kingdom temperatures? [J]. *Atmospheric Science Letters*, 2019, **20**(5), doi: 10.1002/asl.896.
- [5] 邱国玉, 张晓楠. 21 世纪中国的城市化特点及其生态环境挑战[J]. *地球科学进展*, 2019, **34**(6): 640-649.
Qiu G Y, Zhang X N. China's urbanization and its ecological environment challenges in the 21st century [J]. *Advances in Earth Science*, 2019, **34**(6): 640-649.
- [6] Zhou D C, Xiao J F, Bonafoni S, *et al.* Satellite remote sensing of surface urban heat islands: progress, challenges, and perspectives[J]. *Remote Sensing*, 2019, **11**(1), doi: 10.3390/rs11010048.
- [7] 姚远, 陈曦, 钱静. 城市地表热环境研究进展[J]. *生态学报*, 2018, **38**(3): 1134-1147.
Yao Y, Chen X, Qian J. Research progress on the thermal environment of the urban surfaces[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38**(3): 1134-1147.
- [8] Sun Y W, Gao C, Li J L, *et al.* Quantifying the effects of urban form on land surface temperature in subtropical high-density urban areas using machine learning[J]. *Remote Sensing*, 2019, **11**(8), doi: 10.3390/rs11080959.
- [9] 江斯达, 占文凤, 杨俊, 等. 局地气候分区框架下城市热岛时空分异特征研究进展[J]. *地理学报*, 2020, **75**(9): 1860-1878.
Jiang S D, Zhan W F, Yang J, *et al.* Urban heat island studies based on local climate zones: a systematic overview [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, **75**(9): 1860-1878.
- [10] Wang W, Shu J. Urban renewal can mitigate urban heat islands [J]. *Geophysical Research Letters*, 2020, **47**(6), doi: 10.1029/2019GL085948.
- [11] Yang C B, Yan F Q, Zhang S W. Comparison of land surface and air temperatures for quantifying summer and winter urban heat island in a snow climate city[J]. *Journal of Environmental Management*, 2020, **265**: 110563.
- [12] Chao L Y, Huang B Y, Yang Y J, *et al.* A new evaluation of the role of urbanization to warming at various spatial scales: evidence from the guangdong-Hong Kong-Macau Region, China [J]. *Geophysical Research Letters*, 2020, **47**(20), doi: 10.1029/2020GL089152.
- [13] Wang K C, Jiang S J, Wang J K, *et al.* Comparing the diurnal and seasonal variabilities of atmospheric and surface urban heat islands based on the beijing urban meteorological network [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2017, **122**(4): 2131-2154.
- [14] Shen P K, Zhao S Q. 1/4 to 1/3 of observed warming trends in China from 1980 to 2015 are attributed to land use changes[J]. *Climatic Change*, 2021, **164**(3-4), doi: 10.1007/s10584-021-03045-9.
- [15] Wijngaard J B, Tank A M G K, Können G P. Homogeneity of 20th century european daily temperature and precipitation series [J]. *International Journal of Climatology*, 2003, **23**(6): 679-692.
- [16] Sun S L, Chen H S, Ju W M, *et al.* On the coupling between precipitation and potential evapotranspiration: Contributions to decadal drought anomalies in the Southwest China[J]. *Climate Dynamics*, 2017, **48**(11-12): 3779-3797.
- [17] Gong P, Li X C, Zhang W. 40-year (1978-2017) human settlement changes in china reflected by impervious surfaces from satellite remote sensing[J]. *Science Bulletin*, 2019, **64**(11): 756-763.
- [18] Zhou D C, Zhao S Q, Liu S G, *et al.* Surface urban heat island in china's 32 major cities: spatial patterns and drivers [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2014, **152**: 51-61.
- [19] 李月臣, 何志明, 刘春霞. 基于站点观测数据的气温空间化方法评述[J]. *地理科学进展*, 2014, **33**(8): 1019-1028.
Li Y C, He Z M, Liu C X. Review on spatial interpolation methods of temperature data from meteorological stations [J]. *Progress in Geography*, 2014, **33**(8): 1019-1028.
- [20] 曹畅, 李旭辉, 张弥, 等. 中国城市热岛时空特征及其影响因素的分析[J]. *环境科学*, 2017, **38**(10): 3987-3997.
Cao C, Li X H, Zhang M, *et al.* Correlation analysis of the urban heat island effect and its impact factors in China [J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(10): 3987-3997.
- [21] 杨小山, 姚灵烨, 金涛, 等. 南京夏季城市局地气温时空变化特征[J]. *土木与环境工程学报*, 2019, **41**(1): 160-167, 174.
Yang X S, Yao L Y, Jin T, *et al.* Temporal and spatial variations of local temperatures in the summer of Nanjing [J]. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 2019, **41**(1): 160-167, 174.
- [22] Yao R, Wang L C, Huang X, *et al.* Developing a temporally accurate air temperature dataset for Mainland China[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **706**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.136037.
- [23] 熊鹰, 章芳. 基于多源数据的长沙市人居热环境效应及其影响因素分析[J]. *地理学报*, 2020, **75**(11): 2443-2458.
Xiong Y, Zhang F. 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.
- [24] Zhou D C, Zhang L X, Li D, *et al.* Climate-vegetation control on the diurnal and seasonal variations of surface urban heat islands in China[J]. *Environmental Research Letters*, 2016, **11**(7), doi: 10.1088/1748-9326/11/7/074009.
- [25] 孙艳伟, 王润, 郭青海, 等. 基于人居尺度的中国城市热岛强度时空变化及其驱动因子解析[J]. *环境科学*, 2021, **42**(1): 501-512.
Sun Y W, Wang R, Guo Q H, *et al.* Estimation of the urban heat island intensity change and its relationships with driving factors across China based on the human settlement scale [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(1): 501-512.
- [26] Yao R, Wang L C, Huang X, *et al.* Interannual variations in surface urban heat island intensity and associated drivers in China [J]. *Journal of Environmental Management*, 2018, **222**: 86-94.
- [27] Guo A D, Yang J, Xiao X M, *et al.* Influences of urban spatial form on urban heat island effects at the community level in China [J]. *Sustainable Cities and Society*, 2020, **53**, doi: 10.1016/j.scs.2019.101972.
- [28] 邵全琴, 孙朝阳, 刘纪远, 等. 中国城市扩展对气温观测的影响及其高估程度[J]. *地理学报*, 2009, **64**(11): 1292-1302.
Shao Q Q, Sun C Y, Liu J Y, *et al.* Impact of urban expansion on meteorological observation data and overestimation to regional air temperature in China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, **64**(11): 1292-1302.
- [29] Zhou D C, Zhao S Q, Zhang L X, *et al.* The footprint of urban heat island effect in China [J]. *Scientific Reports*, 2015, **5**, doi: 10.1038/srep11160.

CONTENTS

Continuous PM _{2.5} Composition Measurements for Source Apportionment During Air Pollution Events	CAI Fan-tao, SHANG Yue, DAI Wei, <i>et al.</i> (4575)
Orographic Influences on the Spatial Distribution of PM _{2.5} on the Fen-Wei Plain	HUANG Xiao-gang, ZHAO Jing-bo, SUN Cong-jian, <i>et al.</i> (4582)
Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in PM _{2.5} Under Winter Haze Conditions in Central China: A Case Study of Huanggang, Hubei Province	LI Xing-yu, MAO Yao, CHEN Zhan-le, <i>et al.</i> (4593)
Concentration and Reactivity of Carbonyl Compounds in the Atmosphere of North China	HUANG Yu, CHEN Xi, WANG Ying-hong, <i>et al.</i> (4602)
Characteristics of O ₃ Pollution and Key Precursors in Chengdu During Spring	HAN Li, CHEN Jun-hui, JIANG Tao, <i>et al.</i> (4611)
O ₃ Source Characteristics of an Industrial Area in the Yangtze River Delta Based on Boundary Observations	HUANG Qing, HUANG Yin-zhi, ZHANG Shan, <i>et al.</i> (4621)
Characteristics and Source of VOCs During O ₃ Pollution Between August to September, Langfang Development Zones	ZHANG Jing-qiao, WANG Hong-liang, FANG Xiao-yun, <i>et al.</i> (4632)
Coating-derived VOCs Emission Characteristics and Environmental Impacts from the Furniture Industry in Guangdong Province	ZENG Chun-ling, SHAO Xia, LIU Rui-yuan, <i>et al.</i> (4641)
Response of Air Quality to COVID-19 Lockdown in Xiamen Bay	XU Chao, WU Shui-ping, LIU Yi-jing, <i>et al.</i> (4650)
Similarities and Differences of Valley Winds in the Beijing Plain and Yanqing Areas and Its Impact on Pollution	WU Jin, LI Chen, MA Zhi-qiang, <i>et al.</i> (4660)
Characteristics of Atmospheric Particulate Matter Pollution and the Unique Wind and Underlying Surface Impact in the Twain-Hu Basin in Winter	ZHU Yan, ZHAO Tian-liang, BAI Yong-qing, <i>et al.</i> (4669)
Conversion Characterizations of Sulfate Ion and Nitrate Ion in Particulate Matter from Coal-fired Power Plants	YANG Liu, HE Qing, SHENG Zhong-yi (4678)
Water Chemical Characteristics and Influence of Exogenous Acids in the Yangtze River Basin	WANG Qi, YU Shi, JIANG Ping-ping, <i>et al.</i> (4687)
Effects of Land Use on Nutrient Concentrations in the Inflow River of Lake Taihu, China	LIAN Xin-qiao, ZHU Guang-wei, YANG Wen-bin, <i>et al.</i> (4698)
Diversity of Zooplankton and Niche Characteristics of Keystone Species in the Weihe River Based on eDNA	LIANG Dong, XIA Jun, SONG Jin-xi, <i>et al.</i> (4708)
Occurrence, Distribution, and Ecological Risk Assessment of Pharmaceutical and Personal Care Products in the Aquatic Environment of Sanya City, China	REN Bing-nan, GENG Jing (4717)
Screening of Priority Pollutants and Risk Assessment for Surface Water from Shengjin Lake	GONG Xiong-hu, DING Qi-qi, JIN Miao, <i>et al.</i> (4727)
Long-term Changes and Drivers of Ecological Security in Shahe Reservoir, China	YANG Wen-bin, DUAN Wen-xiu, CUI Yang, <i>et al.</i> (4739)
Seasonal Variation and Influencing Factor Analysis of Antibiotic Resistance Genes in Water Supply Reservoirs of Central China	ZHANG Kai, XIN Rui, LI Kuang-jia, <i>et al.</i> (4753)
Geochemical Characteristics and Driving Factors of NO ₃ -Type Groundwater in the Rapidly Urbanizing Pearl River Delta	LÜ Xiao-li, LIU Jing-tao, HAN Zhan-tao, <i>et al.</i> (4761)
Spatial Hydrochemical Characteristics and Controlling Factors of Surface Water in the Yancheng Area	WANG Jian, ZHANG Hua-bing, XU Jun-li, <i>et al.</i> (4772)
Identification of Dredging Depths Based on Sediment Vertical Distribution Profiles of Total Nitrogen and Total Phosphorus and Their Adsorption-desorption Equilibria	ZHOU Ya-ting, CHEN Xing-hong, LI Li-qing, <i>et al.</i> (4781)
Role of Borate and Phosphate Buffers in the Degradation of Organic Compounds in a PMS/Co ²⁺ System: Influencing Factors and Mechanisms	WAN Qi-qi, CHEN Zhu-hao, CAO Rui-hua, <i>et al.</i> (4789)
Degradation 2,2',4,4'-Tetrabromodiphenyl Ether by Activated Peroxymonosulfate Using Magnetic Biochar Supported α -MnO ₂	LI Xin, YIN Hua, LUO Hao-yu, <i>et al.</i> (4798)
Characteristics and Mechanisms of Bacteriophage MS2 Inactivation in Water by UV Activated Sodium Persulfate	ZHANG Chong-miao, YANG Hao-ming, WANG Zhen (4807)
Adsorption Characteristics of Phosphate on Cerium Modified Water Hyacinth Biochar	WANG Guang-ze, ZENG Wei, LI Shuai-shuai (4815)
Removal Efficiency and Mechanism of Ammonia Nitrogen in a Low Temperature Groundwater Purification Process	LI Dong, LIU Meng-hao, ZHANG Rui-miao, <i>et al.</i> (4826)
Speciation and Ecological Risk Assessment of Heavy Metal(loid)s in the Municipal Sewage Sludge of China	GENG Yuan-meng, ZHANG Chuan-bing, ZHANG Yong, <i>et al.</i> (4834)
Meta-analysis of Microbial Communities in the Activated Sludge of Wastewater Treatment Plants Under Different Climate Types	YANG Si-hang, QIN Ze-sheng, LIANG Man-chun (4844)
Partial Nitrification and Anaerobic Ammonia Oxidation Synergistic Denitrification to Remove Nitrogen and Carbon from Domestic Sewage	QIN Yan-rong, YUAN Zhong-ling, ZHANG Ming, <i>et al.</i> (4853)
Cultivation and Performance Analysis of Simultaneous Partial Nitrification, ANAMMOX, and Denitrification Granular Sludge	ZHOU Feng, LIU Yong-di, LI Wei (4864)
Application of Various Methods to Extract Microplastic from Typical Soils in China	ZHAO Xiao-li, LIU Zi-han, CONG Chen-yu, <i>et al.</i> (4872)
Evaluation and Sources of Heavy Metal Pollution in the Surface Soil of the Qaidam Basin	CHEN Liang, ZHANG Xi-ying, TANG Qi-liang, <i>et al.</i> (4880)
Content and Ecological Risks of Heavy Metals in Soil with Different Land Uses in a Rapidly Urbanizing Area	LI Meng-ting, SHEN Cheng, WU Jian, <i>et al.</i> (4889)
Selenium Geochemical Characteristics and Influencing Factors of Paddy Fields in Du'an County, Guangxi	LIU Fei, YANG Ke, XU Ren-ting, <i>et al.</i> (4897)
Carbonized Apple Branches Decrease the Accumulation and Damage of Cadmium on Apple Rootstock by Reducing DTPA-Cd in Soil	DENG Bo, XUN Mi, ZHANG Wei-wei, <i>et al.</i> (4908)
Accumulation and Health Risk of Heavy Metals in Cereals, Vegetables, and Fruits of Intensive Plantations in Hainan Province	YANG Jian-zhou, WANG Zhen-liang, GAO Jian-weng, <i>et al.</i> (4916)
Correlation Analysis among Environmental Antibiotic Resistance Genes Abundance, Antibiotics Concentrations, and Heavy Metals Concentrations Based on Web of Science Searches	MIAO Sun, CHEN Lei, ZUO Jian-e (4925)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Tetracycline Antibiotics in Farmland Soil in Yinchuan	ZHANG Xiao-hong, TAO Hong, WANG Ya-juan, <i>et al.</i> (4933)
Effect of Manure from Different Sources on the Leaching of Antibiotics in Soil	LI Bin-xu, ZHU Chang-xiong, SONG Ting-ting, <i>et al.</i> (4942)
Analysis of the Traits of Nitrogen Metabolism Pathways for Several Forest Soils in Eastern China	LÜ Xue-li, ZHAO Yong-peng, LIN Qing-huo, <i>et al.</i> (4951)
Denitrification Rates and <i>nirS</i> -type Denitrifying Bacteria Community Structure Characteristics of Bulk and Rhizosphere Soil in Spring and Summer in the Alpine Wetlands of the Qinghai-Tibet Plateau	LI Yu-qian, MA Jun-wei, GAO Chao, <i>et al.</i> (4959)
Microbial Community Structure of Soil Methanogens and Methanotrophs During Degradation and Restoration of Reed Wetlands in the Songnen Plain	WANG Qiu-ying, WANG Na, LIU Ying, <i>et al.</i> (4968)
Characteristics of Bacterial Community Structure in Fluvio-aquic Soil Under Different Rotation Fallow	NAN Zhen-wu, LIU Zhu, DAI Hong-cui, <i>et al.</i> (4977)
Response of Photosynthetic Bacterial Community to Cadmium Contamination in Paddy Soil	LUO Lu-yun, JIN De-cai, WANG Dian-dong, <i>et al.</i> (4988)
Community Distribution of the Rhizospheric and Endophytic Bacteria of <i>Phragmites australis</i> and Their Limiting Factors in Iron Tailings	CAO Man-man, WANG Fei, ZHOU Bei-hai, <i>et al.</i> (4998)
Effects of Combination of Organic and Inorganic Nitrogen on Nitrification and Denitrification in Two Salinized Soils	ZHOU Hui, SHI Hai-bin, ZHANG Wen-cong, <i>et al.</i> (5010)
Response of Yield, CH ₄ , and N ₂ O Emissions from Paddy Fields to Long-term Elevated CO ₂ Concentrations	YU Hai-yang, SONG Kai-fu, HUANG Qiong, <i>et al.</i> (5021)
Effects of Feedstock Material and Pyrolysis Temperature on Dissolved Organic Matter in Biochars	YAN Dai-hong, MA Ya-pei, SONG Kai-yue, <i>et al.</i> (5030)
Spatiotemporal Variations in Atmospheric Urban Heat Island Effects and Their Driving Factors in 84 Major Chinese Cities	LI Yu, ZHOU De-cheng, YAN Zhang-mei (5037)
Research Progress in the Odorants and Their Emissions from Indoor Building Decoration Materials	ZHANG Wan-zhong, ZHANG Peng-yi (5046)