

胡婧,曹晶茹,刘倩,等.城市化对山东省和福建省气温变化影响的对比分析[J].气象研究与应用,2024,45(3):80-87.
HU Jing, CAO Jingru, LIU Qian, et al. Comparative analysis of the impact of urbanization on the air temperature change in Shandong and Fujian Provinces[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2024, 45(3): 80-87.

城市化对山东省和福建省气温变化影响的对比分析

胡婧¹, 曹晶茹², 刘倩^{1,3}, 张浩钰¹, 刘春霞¹, 金凯^{1*}

(1.青岛农业大学资源与环境学院, 山东 青岛 266109; 2.青岛农业大学巴瑟斯未来农业科技学院, 山东 青岛 266109;
3.中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083)

摘要:以山东和福建为研究区,基于气象站气候观测数据及ERA5-land再分析数据,采用变化趋势分析、观测减再分析(Observation Minus Reanalysis, OMR)和对比分析等方法,在区域尺度上探讨不同气候背景下城市化引起的局地升温差异。结果表明,1987—2017年山东省台站年平均气温平均变化率略高于福建省,分别为 $0.38\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 和 $0.33\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,但两省各季节气温变化趋势存在很大差异。城市化对山东省年和各季节 T_{mean} 变化的影响均大于福建省,北方相对干旱且较长的日照时间更利于城市热岛形成,这是导致上述差异的重要原因。此外,城市化对两省秋、冬季节 T_{mean} 变化的影响较春、夏季节更大,这与秋、冬季节相对干旱且静稳的气候特征有关。山东省城市化升温幅度的季节性差异较福建省大,可能与北方地区季节气候波动更大有关。

关键词:气温变化;城市化;热岛效应;背景气候;时空差异

中图分类号: P467

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2024.3.12

城市化可引起局地温度升高,形成城市热岛,严重威胁城市生态系统和居民身心健康^[1-3]。因此,如何改善城市热环境、提高气候舒适度已成为国内外城市规划建设和可持续发展必须考虑的现实问题,而定量评估城市化升温效应并探究其区域差异和影响因素是开展城市热环境治理的理论前提。

城乡数据对比(Urban Minus Rural, UMR)和OMR是量化城市化升温幅度的主要手段。UMR方法是通过比较城市和邻近乡村地区(或非城市区)的温度差异,量化城市化对温度变化的影响^[2]。例如,基于UMR方法,Peres等^[3]对比分析里约热内卢城区和非城区的地表温度差异,发现城市热岛从1984—1999年的 $5.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 增加到2000—2015年的 $7.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。OMR方法则是利用再分析资料在同化和拟合过程中未采用地面观测数据的特点,通过比较包含城市化影响的地面观测资料与不包含城市化影响的再

分析资料量化城市化增温幅度^[2]。例如,肖宇昕等^[4]基于OMR方法的研究表明,成都、重庆地区的城市下垫面变化可导致夏季 T_{mean} 每年升高 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。通常,UMR方法需遴选足够数量的乡村气象站以准确反映背景气候特征,但在人口密集、经济发展水平较高的区域很难满足,而OMR方法则不受这一限制^[5]。李宇等^[2]分别采用UMR和OMR方法评估城市化对中国主要城市气温变化的影响发现,基于OMR方法的增温研究结果明显高于UMR方法。Wang等^[6]同样认为UMR方法会低估城市化升温幅度,而OMR方法则更为可靠。因此,在缺乏乡村气象观测站的发达地区,OMR方法比UMR方法更适于城市化升温效应评估。

改革开放以来,中国城市化进入快速发展阶段,城市化引起的局地增温问题日益突显。Wen等^[7]对中国763个国家级气象站气温观测数据中的

收稿日期: 2024-06-05

基金项目: 青岛农业大学高层次人才科研基金项目(665/1120041)、山东省自然科学基金项目(ZR2020QD114)、青岛农业大学大学生创新创业训练计划项目(QNDC20240932、QNDC20240907)

第一作者: 胡婧(2002-),研究方向为区域环境影响评价。E-mail: 2283329022@qq.com

*通讯作者: 金凯(1988-),博士,副教授,主要研究方向为土地利用/覆盖变化及其环境影响评价。E-mail: jinkai@qau.edu.cn

城市化影响偏差进行检测,发现城市化对近 55 a 来年 T_{mean} 变化趋势的贡献达 19.6%。杨仕琪等^[8]研究表明,北京城市化加快与气温升高具有协同关系,城市化对近百年来的升温趋势贡献为 20.83%。此外,吴子璇等^[9]对珠江三角洲不同季节的城市化升温进行研究,发现夏、冬季节的城市化增温幅度较春、秋季节高,而敖雪等^[10]则发现城市化对辽宁省秋季和夏季气温变化的贡献较春、冬季节高。可见,城市化对我国气温变化的影响存在较大时空异质性,这可能与人类活动类型和强度^[5]、气候和地形地貌^[11-12]等因素有关。因此,亟需对城市化升温的区域性和季节性差异及原因开展分析,以促进对城市气候变化机制的深入理解。

本研究以不同背景气候下的山东省和福建省为研究对象,采用 OMR 方法在年和季节尺度上定量评估城市化对 1987—2017 年气温变化趋势的影响,结合南北两地的气候特征探讨它们的城市化增温差异原因。本研究对于深入认识城市气候特征、理解城市生态环境变化及其地域差异具有重要意义,

同时可为城市有关部门制定应对气候变暖措施提供理论参考。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

本文选择山东省和福建省作为研究区域,二者均为我国东部沿海省份(图 1)。其中,山东省地处 $34^{\circ}22.9' \sim 38^{\circ}24.01' \text{ N}$ 和 $114^{\circ}47.5' \sim 122^{\circ}42.3' \text{ E}$ 范围内,总面积 15.8 万 km^2 ,是北方经济第一强省。山东省境内以平原和丘陵地貌为主,属暖温带季风气候,夏季高温多雨,冬季寒冷干旱^[13]。福建省则是我国东南沿海的重要门户,地处 $23^{\circ}33' \sim 28^{\circ}20' \text{ N}$ 和 $115^{\circ}50' \sim 120^{\circ}40' \text{ E}$ 范围内,与台湾省隔海相望。福建省总面积 12.4 万 km^2 ,以山地丘陵为主,属亚热带海洋性季风气候,冬无严寒,夏少酷暑,水热资源丰富^[14]。改革开放以来,山东省和福建省经济快速发展,城市人口迅速增加,2022 年城镇化率分别达到 65.54% 和 70.11%^[15],人类活动强度的显著增强已对区域生态环境产生重大影响。

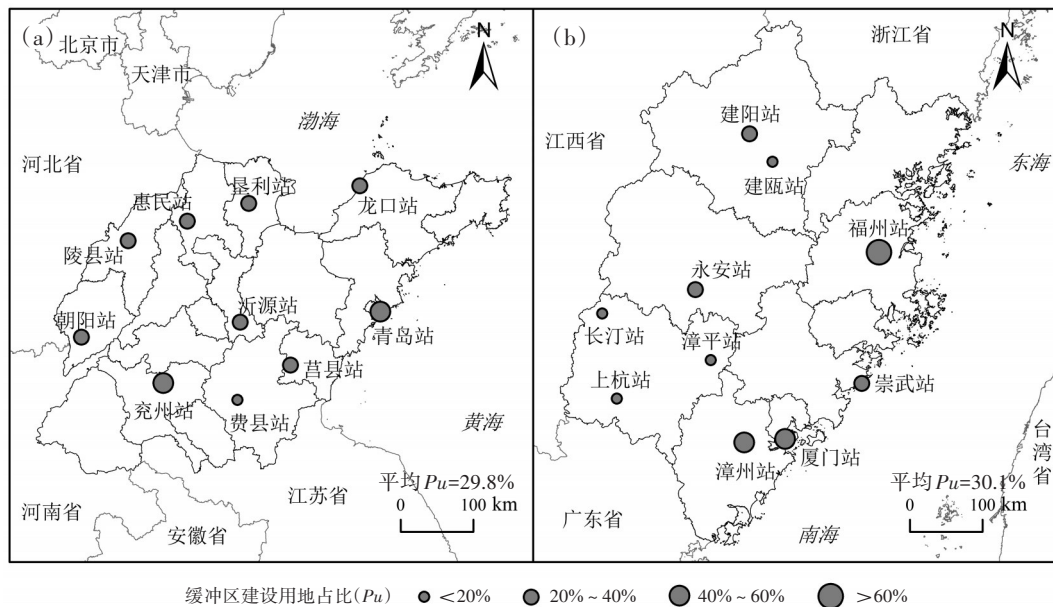


图 1 (a)山东省和(b)福建省地理位置及本研究所选气象站的空间分布

注:该图基于自然资源部标准地图服务下载的审图号为 GS (2019) 3333 号的标准地图制作,底图无修改,下同。

1.2 数据及预处理

气象观测数据获取自中国气象数据共享服务网提供的《中国地面气候资料日值数据集(V3.0)》。其中,逐日平均气温数据用于计算 1987—2017 年的气温变化趋势率。对于缺失数据,基于相邻时间的

气候资料进行插补,以获得连续的气象要素序列^[5]。基于 ERA5-land 再分析数据集,采用双线性内插方法,获得 1987—2017 年各站点逐月平均 2 m 气温数据。该数据集由欧洲中期天气预报中心哥白尼气候变化服务中心生产(<http://climate.copernicus.eu>),

空间分辨率为 0.1° 。根据两种气温数据,分别计算各站点春季(3—5月)、夏季(6—8月)、秋季(9—11月)、冬季(12月—次年2月)和年平均气温(T_{mean})。此外,基于气象站观测数据,计算研究时段内的多年平均气温、降水量、日照时数、风速、相对湿度和水汽压,用于反映台站背景气候特征。

采用2018年中国土地利用类型空间分布数据计算台站周围缓冲区内建设用地面积占比。该数据下载自中国科学院地理科学与资源研究所资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn/DOI>),空间分辨率为1 km。

1.3 台站遴选

首先,为保证气温序列的相对均一性,遴选在研究时段内台站位置未发生迁移或迁站前后海拔差小于50 m的台站,同时台站缺失数据需占总观测数据量的0.05%以下^[5]。满足以上遴选标准的山东省和福建省台站分别有10个和20个。其次,为增加区域尺度上两省城市化升温幅度的可比性,便于分析背景气候因素对城市化升温效应的影响,需选择相同数量的山东省和福建省台站,同时两省台站周围的平均城市化水平应相近。为此,参照Song等^[16]的研究,以气象站为圆心做7 km半径的圆形缓冲区,统计各缓冲区内2018年建设用地面积占比(P_u),用来反映台站周围的城市化水平,并据此在福建省选取 P_u 最大的10个台站。由图1可见,山东省和福建省各10个台站平均 P_u 分别为29.8%和30.1%,表明两省台站周围的平均城市化水平相当,城市化升温的平均差异可能是背景气候等非城市化因素引起的。

1.4 研究方法

1.4.1 变化趋势分析

采用一元线性回归方法分别计算各站点1987—2017年年和季节 T_{mean} 变化趋势率^[14]。分别计算山东省和福建省所有站点的 T_{mean} 趋势率平均值,用来反映两个区域气温变化的总体状况。一元线性回归公式如下:

$$y_i = bx_i + a \quad (1)$$

式中, y_i 为年或季节 T_{mean} ,单位为 $^\circ\text{C}$; x_i 为年份; b 为斜率,用于反映气温变化速率; a 为常数。采用 t 检验判断气温变化的显著性水平。

1.4.2 城市化影响评估

首先,采用OMR方法逐年计算观测气温与再分析气温的差值(T_{OMR})^[2]。然后,采用公式(1)计算1987—2017年 T_{OMR} 序列的变化趋势率;趋势率为正

表示城市化对气温上升具有促进作用,反之,则为抑制作用。最后,参考李宇等^[2]的研究,计算城市化对气温变化趋势的贡献,计算公式如下:

$$C_U = \frac{\text{slope}_{\text{OMR}}}{\text{slope}_{\text{Obs}}} \times 100\% \quad (2)$$

式中, $\text{slope}_{\text{OMR}}$ 和 $\text{slope}_{\text{Obs}}$ 分别表示 T_{OMR} 与观测气温的年际变化趋势率,单位为 $^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$; C_U 为城市化对气温变化趋势的贡献率;若 $\text{slope}_{\text{Obs}}$ 与 $\text{slope}_{\text{OMR}}$ 均为正值,表明城市化对气温上升具有贡献;若 $\text{slope}_{\text{Obs}}$ 为正而 $\text{slope}_{\text{OMR}}$ 为负, C_U 为0,即城市化对气温上升没有贡献。

2 结果与分析

2.1 山东省和福建省台站气温变化特征

1987—2017年山东省和福建省所有气象站年和季节 T_{mean} 均呈增加趋势,但增温速率具有很大差异(图2)。在季节尺度上,山东省所有台站春季 T_{mean} 趋势率均高于 $0.40^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$,而多数台站其他季节的 T_{mean} 趋势率均低于 $0.40^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ (如图2a、2b、2c、2d);福建省半数台站春季 T_{mean} 趋势率高于 $0.40^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$,而所有台站秋季 T_{mean} 趋势率均高于 $0.40^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$,各台站夏季和冬季 T_{mean} 趋势率均低于 $0.40^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ (图2e、2f、2g、2h)。此外,山东省春季升温最快的台站为垦利站, T_{mean} 趋势率达 $0.87^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$,而福建省秋季升温最快的台站为长汀站, T_{mean} 趋势率为 $0.71^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。在年尺度上(图2i、2j),山东省年 T_{mean} 趋势率大于 $0.40^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的气象站数量为6个,是福建省的两倍;山东省升温最快和最慢的气象站分别为莒县站 $0.51^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 和青岛站 $0.24^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$,而福建省升温最快和最慢的气象站分别为漳州站 $0.45^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 和建瓯站 $0.22^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。

就区域平均而言,山东省和福建省年 T_{mean} 趋势率分别为 $0.38^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 和 $0.33^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ (图2k,表1);山东省各季节升温速率由大到小依次为春季 $0.72^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 、秋季 $0.31^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 、夏季 $0.30^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 、冬季 $0.17^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$;福建省各季节升温速率由大到小依次为秋季 $0.59^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 、春季 $0.37^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 、夏季 $0.24^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 、冬季 $0.18^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。

2.2 城市化对气温变化的影响及其时空差异

2.2.1 城市化对季节气温变化的影响

图3为研究区气象站各季节 T_{OMR} 变化趋势率的

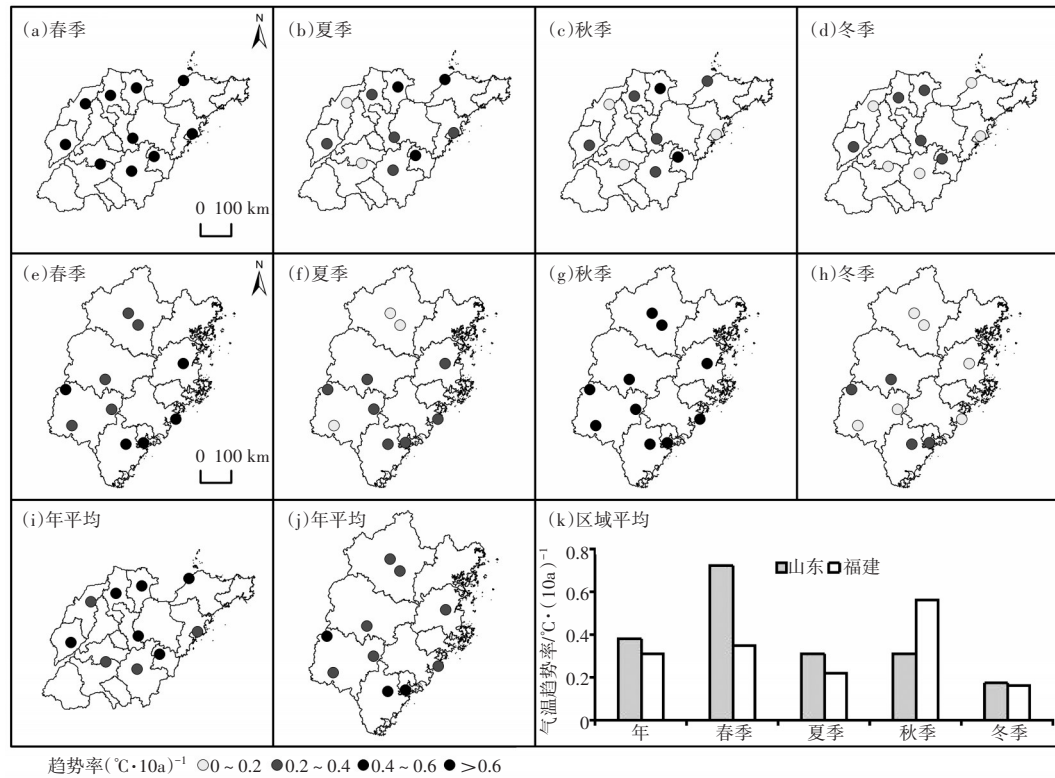


图2 1987—2017年山东省(a-d, i)和福建省(e-h, j)气象站年和季节 T_{mean} 变化趋势(k. 山东省和福建省区域平均 T_{mean} 变化趋势)

空间分布。由图 3a、3b、3c、3d 可见,城市化对山东省所有台站的秋季和冬季升温均具有促进作用,城市化对多数台站的春季和夏季升温也具有促进作用。在山东省的 10 个台站中,城市化对莒县站秋季 T_{mean} 变化趋势的影响最大,为 $0.41^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$,而春季、夏季和冬季 T_{mean} 变化受城市化影响最大的台站分别为朝阳站 $0.26^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 、莒县站 $0.18^{\circ}\text{C} \cdot$

$(10\text{a})^{-1}$ 和龙口站 $0.26^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。图 3e、3f、3g、3h 表明,除春季外,城市化对福建省多数台站夏季、秋季和冬季升温具有促进作用。在福建省的 10 个台站中,春季、夏季、秋季和冬季 T_{mean} 变化受城市化影响最大的台站分别为崇武站 $0.14^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 、厦门站 $0.13^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 、漳州站 $0.19^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 和长汀站 $0.20^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。

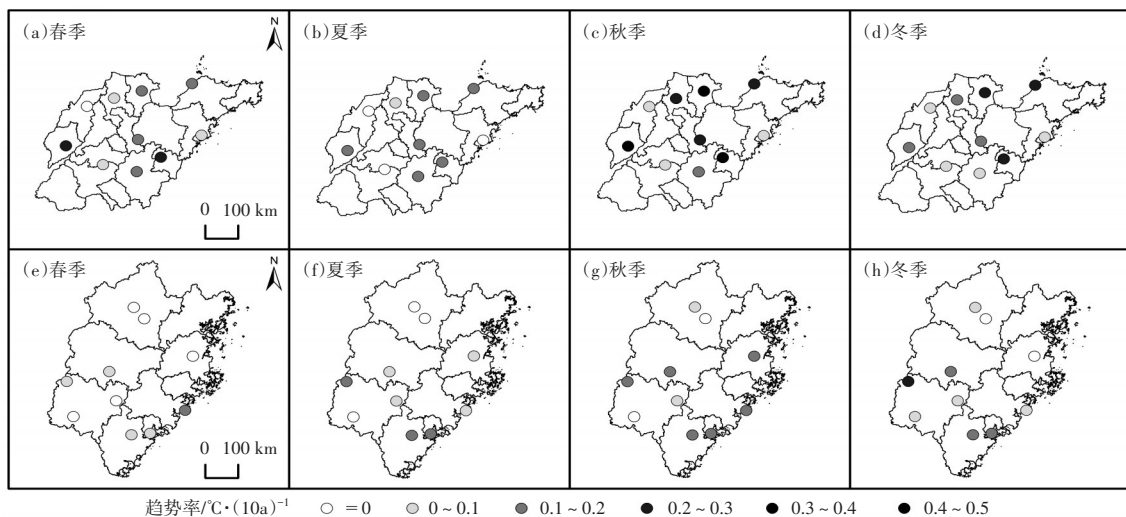


图3 1987—2017年山东省(a-d)和福建省(e-h)气象站各季节 T_{OMR} 变化趋势

从区域平均来看(表1),城市化对山东省台站各季节 T_{mean} 变化趋势均具有显著影响, T_{OMR} 趋势率由大到小依次为秋季 $0.20\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、冬季 $0.13\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、春季 $0.11\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、夏季 $0.09\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,

而城市化仅对福建省台站秋季 T_{mean} 变化具有显著影响, T_{OMR} 趋势率为 $0.08\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。城市化对山东省和福建省台站冬季 T_{mean} 变化趋势的贡献率最大,分别为76%和44%。

表1 1987—2017年山东省和福建省区域平均 T_{mean} 和 T_{OMR} 变化趋势及其 C_U

	T_{mean} 趋势率/ $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$		T_{OMR} 趋势率/ $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$		$C_U/\%$	
	山东省	福建省	山东省	福建省	山东省	福建省
年	0.38**	0.33**	0.13**	0.05	34	14
春季	0.72**	0.37*	0.11*	0	15	0
夏季	0.30*	0.24	0.08**	0.03	26	12
秋季	0.31*	0.59**	0.20**	0.08*	66	13
冬季	0.17	0.18	0.13**	0.08	78	44

注: *和**分别表示在0.05和0.01的显著性水平上显著。

2.2.2 城市化对年气温变化的影响

除兖州站外,山东省其余台站年 T_{mean} 变化趋势均受到城市化升温效应的影响,其中3个台站的城市化影响在 $0.20\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 以上,城市化对莒县站年 T_{mean} 变化趋势的影响最大,为 $0.26\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ (图4a);福建省有7个台站年 T_{mean} 变化趋势受到城市化影响,但影响程度均小于 $0.20\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,厦门站年

T_{mean} 变化趋势受城市化影响最大,为 $0.15\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ (图4b)。就区域平均而言,城市化对山东省台站年 T_{mean} 变化趋势具有显著影响,城市化影响为 $0.13\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ($P<0.01$),占 T_{mean} 变化总趋势的34%(表1);福建省台站年 T_{mean} 变化趋势受城市化影响不显著,城市化影响仅为 $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,占 T_{mean} 变化总趋势的14%。

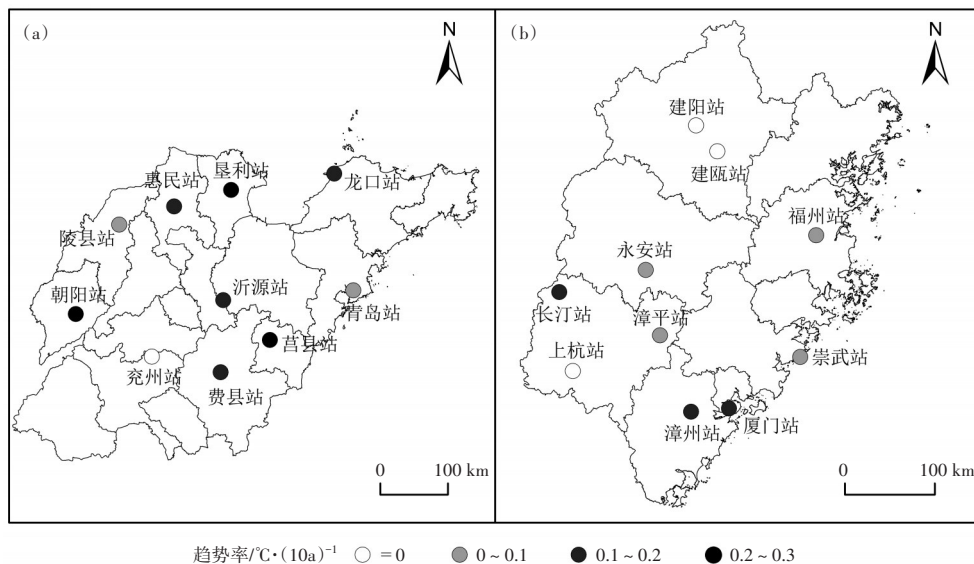


图4 1987—2017年山东省和福建省气象站年 T_{mean} 变化趋势

3 讨论

3.1 季节城市化影响差异原因

本文研究表明,城市化对研究区秋、冬季节的气温变化影响较春、夏季节更大,特别是冬季气温

变化的城市化贡献在山东省和福建省均为最大(表1)。这一结果与以往针对我国北京^[17]、珠三角^[18]和西南地区^[19]的研究结果一致。各季节背景气候的差异是导致城市化影响存在季节性差异的重要原因之一^[20]。在本研究中,福建省春、夏季节降水量

均在 500 mm 以上,是秋、冬季节降水量的两倍以上,同时春、夏季节相对湿度也高于秋、冬季节(表 2)。春、夏季节湿润的气候特征意味着其蒸散发作用更加强烈,可将地表吸收的太阳能量更多地转化为潜热,仅有剩余的少部分太阳能量转化为显热,并用于加热大气;相反,秋、冬季节相对干旱,地表吸收的太阳能量主要以显热形式直接加热大气,从而增强热岛效应^[20]。此外,城市化升温的季节性差异还可能与风速大小有关。例如,山东省秋季风速最小(表 2),而其气温变化受城市化影响最大(表 1),可能是较小的风速削弱空气的对流混合,导致地表热量难以消散,易于城市热岛的形成^[5]。

表 2 1987—2017 年山东省和福建省台站背景气候特征

气候变量 ^a	研究区	年	春季	夏季	秋季	冬季
平均气温/℃	山东省	13.2	13.4	25.2	14.3	-0.1
	福建省	19.9	19.1	27.3	21.7	11.6
累积降水量/mm	山东省	634.2	96.8	402.4	108.4	26.6
	福建省	1 512.3	558.6	539.3	221.1	193.3
平均日照时数/h	山东省	6.6	7.8	6.9	6.3	5.5
	福建省	4.8	3.6	6.4	5.4	3.6
平均相对湿度/%	山东省	66.8	59.7	75.8	69.6	62.0
	福建省	78.0	80.2	79.4	75.3	77.0
平均水汽压/hPa	山东省	12.4	9.6	24.0	12.2	3.9
	福建省	19.2	18.1	28.3	19.8	10.7
平均风速/(m·s ⁻¹)	山东省	2.7	3.2	2.5	2.4	2.6
	福建省	2.0	1.9	2.0	2.1	2.1

注:a 指区域内所有台站的平均气候特征。

除背景气候因素外,气候和人类活动强度的变化也会导致城市化升温的季节性差异。一方面,近几十年来,中国沿海地区春、夏季节降水量呈增加趋势,而秋、冬季节降水减少^[20],同时秋、冬季节地表风速显著下降,相对于干旱和静稳的天气更有利于城市热岛的形成与发展。另一方面,在经济快速发展背景下,PM_{2.5}等大气污染物的排放量在秋、冬季节增加明显,导致地表反射的一部分长波辐射被重新反射回地表,加剧“热岛效应”^[5]。此外,本研究发现城市化对山东省冬季气温变化的贡献率达 78%,高于其他季节的城市化增温贡献,这可能与山东省冬季取暖产生的大量人为热有关^[20]。

3.2 南北城市化影响差异原因

本研究发现,城市化对山东省年和各季节气温变化的影响均高于福建省的城市化影响(表 1)。城

市化升温效应的这一南北差异同样与背景气候的差异密切相关^[20]。相对于山东省,福建省各季节降水量、相对湿度和水汽压更大(表 2),气候更加湿润,蒸散发作用更强,地表吸收的太阳辐射主要以潜热形式储存,因此更有利于缓解城市“热岛效应”。相反,山东省年平均日照时间明显长于福建省,而两省春季平均日照时数更是相差一倍之多(表 2)。日照时数在一定程度上反映地表所能接收的太阳辐射的多少。在地表下垫面特性相同的情况下,日照时间越长,地表接收的太阳辐射越多,往往越有利于“热岛效应”的增强^[5]。此外,福建省城市化升温幅度的季节性差异(0~0.08℃·(10a)⁻¹)相对山东省(0.08~0.20℃·(10a)⁻¹)也较小,这与贾文茜等^[20]对长春、北京、武汉和广州市的“热岛效应”分析结果一致,其原因可能在于南方地区各季节气候相对温和,背景气候特征的差异较小。

3.3 本研究的局限性

本文针对地处我国南北两地的山东省和福建省开展城市化对局地气温变化的影响评估,并分析不同气候背景下的城市化升温效应差异。为凸显背景气候差异对城市化升温的影响,本研究基于台站周围建设用地面积比例在两省各遴选 10 个气象站,并使两省台站的平均城市化状况趋于一致。然而,由于城市化升温效应影响因素的复杂性和台站数量及观测数据的有限性,本研究未考虑海拔、地表反照率、植被覆盖状况等因素,同时采用的 OMR 方法可能受土地利用变化因素和再分析资料质量的影响,这些均可能使研究结果产生一定的不确定性^[14]。在未来的研究中,应基于更加丰富的气候、地理环境、社会和经济相关资料,结合定性和定量分析方法,系统开展城市化升温效应时空差异的多因素分析,深入揭示城市化对局地气温变化影响的驱动机制。

4 结论

本研究利用山东省和福建省国家级气象站观测的逐日气温、降水、日照时数、风速、相对湿度和水汽压数据以及 ERA5-land 再分析气温资料,采用变化趋势分析和 OMR 分析等方法探究南北不同气候背景下的城市化升温差异及原因,主要研究结果如下:

(1) 1987—2017 年山东、福建两省所有台站年和季节 T_{mean} 均呈增加趋势。平均来看,山东省年

T_{mean} 增加速率略高于福建省,但同一地区不同季节的升温速率以及不同地区相同季节的升温速率均存在很大差异;山东省各季节 T_{mean} 升温速率介于 $0.17 \sim 0.72 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$,而福建省介于 $0.18 \sim 0.59 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$,山东省季节升温差异明显大于福建省。

(2)城市化对山东省年和各季节 T_{mean} 变化趋势均具有显著影响,且影响程度均大于福建省城市化对气温变化的影响。城市化对两省秋、冬季节 T_{mean} 变化的影响较春、夏季节更大,特别是冬季 T_{mean} 变化的城市化贡献在两省均为最大。因此,南北两地显著的升温趋势以及它们之间的升温差异与气温观测资料中的城市化影响偏差有关。

(3)城市化升温效应的季节性差异和南北地区差异与背景气候特征的差异关系密切。其中,秋、冬季节相对干旱且风速相对较小,地表蒸散发较弱,更有利于城市“热岛效应”的形成与发展;北方地区相对南方地区更加干旱,日照时间更长,同样对城市“热岛效应”的增强有促进作用。南方地区各季节气候特征差异相对于北方地区更小,这可能是南方地区城市化升温的季节性差异较小的原因之一。

本文研究结果揭示南北地区城市化升温幅度的时空差异,强调背景气候特征对城市化升温效应的影响,以上结论可为不同地区因地制宜制定城市管理政策及气候变暖应对措施提供理论参考。

参考文献:

- [1] 郭昌东, 黄国靓, 所妍枫. 近 57 年资源县山区冬季气候变暖特征分析[J]. 气象研究与应用, 2018, 39(3): 38–41.
- [2] 李宇, 周德成, 闫章美, 等. 中国主要城市的城市化对局地增温的贡献[J]. 环境科学, 2022, 43(5): 2822–2830.
- [3] PERES L D F, ANDREWS J L, OTTO C R F, et al. The urban heat island in Rio de Janeiro, Brazil, in the last 30 years using remote sensing data[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2018 (64): 104–116.
- [4] 肖宇昕, 吴钰, 方德贤, 等. 城市化对四川盆地夏季气温变化影响的观测和模拟研究[J]. 地球物理学报, 2021, 64(1): 100–113.
- [5] JIN K, WANG F, YU Q, et al. Varied degrees of urbanization effects on observed surface air temperature trends in China[J]. Climate Research, 2018, 76(2):131–143.
- [6] WANG M, YAN X. A Comparison of Two Methods on the Climatic Effects of Urbanization in the Beijing–Tianjin–Hebei Metropolitan Area [J]. Advances in Meteorology, 2015, (2015):1–12.
- [7] WEN, REN K, LI G, et al. Recent Surface Air Temperature Change over Mainland China Based on an Urbanization–Bias Adjusted Dataset [J]. Journal of Climate, 2019, 32(10).
- [8] 杨仕琪, 王冀, 窦银银, 等. 1916—2020 年北京城市变迁及其与区域气候演化的关系[J]. 地理学报, 2023, 78(3): 620–639.
- [9] 吴子璇, 张强, 宋长青, 等. 珠三角城市化对气温时空差异性影响[J]. 地理学报, 2019, 74(11): 2342–2357.
- [10] 敖雪, 翟晴飞, 崔妍, 等. 基于 OMR 方法的城市化进程对辽宁省气温变化的影响分析[J]. 气象与环境学报, 2020, 36(4): 28–35.
- [11] 苏玉雯, 李广桃. 1956—2022 年涠洲岛气候变化特征分析[J]. 气象研究与应用, 2023, 44(2): 57–62.
- [12] 黎彦佐, 李妍君. 防城港市气温与降水南北气候差异分析[J]. 气象研究与应用, 2018, 39(3): 30–34.
- [13] 孙梅玲, 李洋洋. 基于 Modis 数据的山东省夏季城市热岛效应时空变化分析[J]. 高师理科学刊, 2020, 40(2): 63–71.
- [14] 刘倩, 金凯, 金岩松, 等. 城市化对福建省气温和地温变化影响的比较研究[J]. 热带气象学报, 2024, 40(1): 115–126.
- [15] 国家统计局. 中国统计年鉴 2023 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2023.
- [16] SONG Z Y, CHEN L T, WANG Y J, et al. Effects of urbanization on the decrease in sunshine duration over eastern China[J]. Urban Climate, 2019, 28: 100471.
- [17] 刘伟东, 张本志, 尤焕苓, 等. 1978–2008 年城市化对北京地区气温变化影响的初步分析[J]. 气象, 2014, 40(1): 94–100.
- [18] 丁硕毅, 乔冠瑾, 郭媛媛, 等. 珠三角城市群热岛及其气象影响因子研究[J]. 热带气象学报, 2015, 31(5): 681–690.
- [19] 唐国利, 任国玉, 周江兴. 西南地区城市热岛强度变化对地面气温序列影响[J]. 应用气象学报, 2008, 19(6): 722–730.
- [20] 贾文茜, 任国玉, 于秀晶, 等. 中国东部季风区不同气候带城市热岛效应的差异[J]. 气候与环境研究, 2021, 26(5): 569–582.

Comparative analysis of the impact of urbanization on the air temperature change in Shandong and Fujian Provinces

HU Jing¹, CAO Jingru², LIU Qian^{1,3}, ZHANG Haoyu¹, LIU Chunxia¹, JIN Kai^{1*}

(1. College of Resources and Environment, Qingdao Agricultural University, Shandong Qingdao 266109, China;

2. Bathurst Future Agri-Tech Institute of Qingdao Agricultural University, Shandong Qingdao 266109, China;

3. School of Land Science and Technology, China University of Geosciences (Beijing),
Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the climate observation data from meteorological stations and ERA5-land reanalysis temperature data, this study uses the methods of trend analysis, Observation Minus Reanalysis (OMR), and comparative analysis, to explore the urbanization-induced local warming differences under different climatic backgrounds at the regional scale in Shandong and Fujian Provinces. The results show that the average trend rate of annual mean temperature (T_{mean}) at stations in Shandong Province is slightly higher than that in Fujian Province from 1987 to 2017, which is $0.38\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ and $0.33\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, respectively, but there is a great difference in the trend of temperature change in each season between the two provinces. The influence of urbanization on the annual and seasonal T_{mean} changes in Shandong Province is larger than that in Fujian Province, and the relatively arid and longer sunshine duration in the northern areas is more conducive to the formation of urban heat islands, which is an important reason for the abovementioned differences. In addition, the influence of urbanization on T_{mean} changes in autumn and winter seasons is larger than that in spring and summer, which is related to the relatively dry and static climate characteristics of the autumn and winter seasons. The seasonal difference in the magnitude of urbanisation warming in Shandong province is larger than that in Fujian province, which may be related to the greater seasonal climate fluctuations in the northern region.

Key words: temperature change; urbanization; heat island effect; background climate; spatial and temporal variation