

齐德莉,于洲,陈欣昊. 巢湖对周边城市热环境影响的模拟研究[J]. 陕西气象,2023(1):34-40.

文章编号:1006-4354(2023)01-0034-07

巢湖对周边城市热环境影响的模拟研究

齐德莉¹,于洲²,陈欣昊³

(1. 马鞍山市气象局,安徽马鞍山 243000;2. 湛江市气象局,广东湛江 524000;
3. 西安市气象台,西安 710016)

摘要:应用 WRF 模式,耦合考虑室内外大气能量交换的多层城市冠层模式 BEP+BEM(building effects parameterization and building energy model),对 2016 年 7 月 24—26 日巢湖地区的一次夏季高温过程进行模拟。结果表明:巢湖表面的日间气温较周围陆地低 4~5 °C,巢湖的存在使合肥、巢湖两地日间平均近地面气温分别下降了 0.18 °C 和 0.28 °C;巢湖对城市热岛的垂直发展有日变化特征,日间随着湖陆温差的增大与减弱,城市热岛得以发展与削弱,夜间有无巢湖的影响趋于减弱;巢湖的存在使合肥边界层高度最多下降约 200 m,巢湖市下降约 310 m。

关键词:数值模拟;城市热岛;巢湖

中图分类号:P461.5

文献标识码:A

研究表明,建筑物^[1-3]、水体^[4-5]、公路^[6]等环境因素会对气象观测的准确性造成影响,其中水体对周边环境温度造成的影响广受关注^[4-5]。水体的性质与陆地存在诸多差异,具体表现在出流入流、热容量、反照率等特征上,这些差异使得水体能够对周围陆地的气温变化造成影响^[4-5]。麦肯齐河流域的两个主要湖泊,通过热通量、湿度、动量及中尺度天气过程,对当地水汽、能量平衡有着显著影响,与周围区域大气相互作用^[7]。湖泊、水库等小型水体与土壤、植被相比具有显著不同的辐射性能及热性质,导致与上层大气水分、热量、动量的交换也不同,进而影响着局地气候^[8]。

有研究表明海洋、湖泊、湿地、水库等水体发挥了重要作用,有效影响着全球的气候变化^[9]。一般而言,因为日间城市储存的热量在夜间释放,导致城市热岛强度在夜间比白天强,有时白天的热岛强度甚至为负值^[10]。通过模式模拟得到,在美国休斯敦地区,土壤湿度、海面温度及城市本身都对海风有影响^[11]。夏季,太湖使得周边地面气

温减弱,且表现出明显的日变化,白天气温减弱程度明显强于夜间且在午后的影响最强,温差超过了 3 °C^[12]。芝加哥地区湖风造成夜间城乡温差最大约为 4.5 °C,正午温差最小接近 0 °C^[13]。夜间,德克萨斯州达拉斯沃斯堡城市热岛强度不增反减,是因为从墨西哥湾来的暖空气使得近海郊区增温明显,而对内陆城市的影响较小^[14]。湖泊的影响最大的是在秋季和冬季,芬兰南部和俄罗斯西部的气温温差超过 1 °C^[15]。

观测实验法可以有效观察记录环境变化,但受制于场地、资金等因素,该方法无法做到随时随地进行,不适用于区域研究。本研究拟采用数值模拟的方法进行,就巢湖对周围城市热环境的影响进行数值模拟,以期揭示巢湖对周边城市热环境的影响机理。

1 数值模式和实验方案设计

将中尺度天气预报模式 WRFV3.3.1 作为数值模式,并耦合一个考虑室内外大气能量交换的多层城市冠层模式(building effects parameter-

收稿日期:2022-03-27

作者简介:齐德莉(1991—),女,汉族,安徽马鞍山人,硕士,工程师,从事气象预报预警工作。

基金项目:陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放基金课题(2022Y-19)

ization and building energy model, BEP + BEM)^[16-17](图 1)。该方案显示求解室内外大气热量的传递,考虑了室内外热量通过屋顶、墙面、地面向大气的热传导,考虑窗户玻璃和墙体为不同的热传导材料,分别计算玻璃和墙体及屋顶的内壁温度,并通过室内大气的总体能量平衡求解室内大气的温度。室内外热量通过空调系统及自然通风设备(窗户)相互交换,辐射光线的角度及窗户面积的大小决定了外部大气太阳短波辐射及长波辐射的进入以及室内长波辐射向外的传递;并考虑了室内居民人体以及家电设备人为产生热量对室内以及室外气温的影响。

模拟实验下的区域中心经纬度为(31.756°N, 117.270°E),所得到的模拟区域见图 2。采用双

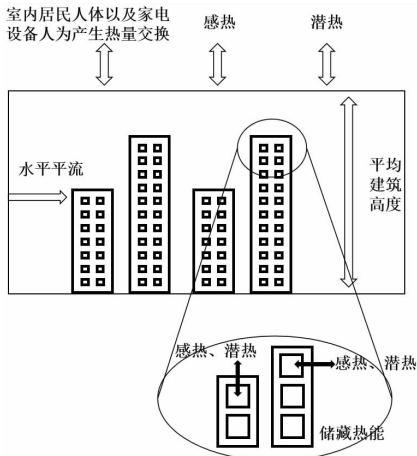


图 1 多层冠层方案(BEP+BEM)示意图

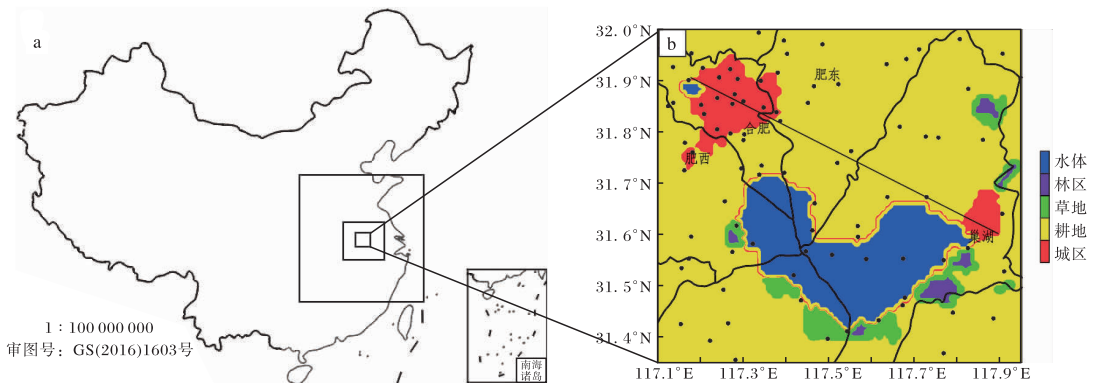


图 2 WRF 三重模拟区域(a)、第三重模拟区域下垫面分布(b)

2 模拟结果评估

将监测到的观测结果与实验所得的模拟结果进行比较以验证模拟效果。2016年7月24—26

向反馈三重嵌套的区域模式,格距分别为 9 km、3 km和 1 km,最内层覆盖巢湖地区和临近的巢湖市、合肥市。模式积分时间步长为 12 s。模拟实验时间为 2016年7月24日08时—7月26日20时,共计 60 h,其中前 12 h 为启动时间,后 48 h 为研究时间段。本文所选用的其他物理过程参数化方案为 RRTM 长波辐射过程^[18]、Dudhia 短波辐射过程^[19]、WSM3-class 微物理过程^[20]、Bou-Lac 边界层方案^[21]以及 NOAH 陆面参数化方案^[22]。模式初始条件和最外层的边界条件采用 NCEP/NCAR 提供的 1°×1°每日 4 次的 NCEP-FNL 全球再分析资料。

巢湖地处长三角地区,随着近年来区域经济发展,城市面积扩展,土地覆盖率提高,水体面积减小。模拟研究下垫面类型选择 2005MODIS 土地覆盖资料,该下垫面资料能基本代表当前环境现状。城市热岛效应在任何季节、任何条件下均会发生,选择晴热高温天气下进行实验效果更为显著。风速较低的条件有利于城市热岛效应的产生和扩散。综合上述因素,本研究的模拟实验选在高温的 2016年7月24—26日进行,实验过程中天气晴朗,偏南风 3 级。为定量分析巢湖对周围城市热岛效应的影响,实验设计为两部分,一是采用 MODIS 土地覆盖资料,进行参照实验(CTL),二是单一替换实验对象巢湖,使之变为农田,进行敏感性实验(NCH)。

日的气温模拟值与观测值比较见图 3,郊区、城区的观测点模拟的气温日变化与实际观测较为一致,可较好地代表实际情况,究其原因,BEP+

BEM 方案考虑了室内能量的产生与消耗、透过窗户的辐射、墙壁和屋顶的热交换通量,以及空调系统的影响,更加贴合实际。水体站点(图 3n、图 3o)模拟结果日变化较平稳,符合水体的温度变化,而实测值日变化波动大,更加贴合城区或者郊区站点,这样的情况是由于下垫面数据未及时更新,从而导致差异较大。

2016 年 7 月 24—26 日的风速模拟值与观测

值的比较见图 4。实验期间南风盛行,肥西、合肥、肥东 3 个国家基本气象站模拟风速的日变化与实际结果较为一致,基本能反映出风速的日变化。区域站的风速模拟效果较国家站相对较差(图略),可能的原因是区域站的位置存在不合理性,没有进行有效观测,一般而言,国家站的选址更为慎重,具有代表性。为了更好地了解模拟结果,本研究采用均方根误差、平均绝对误差及相关

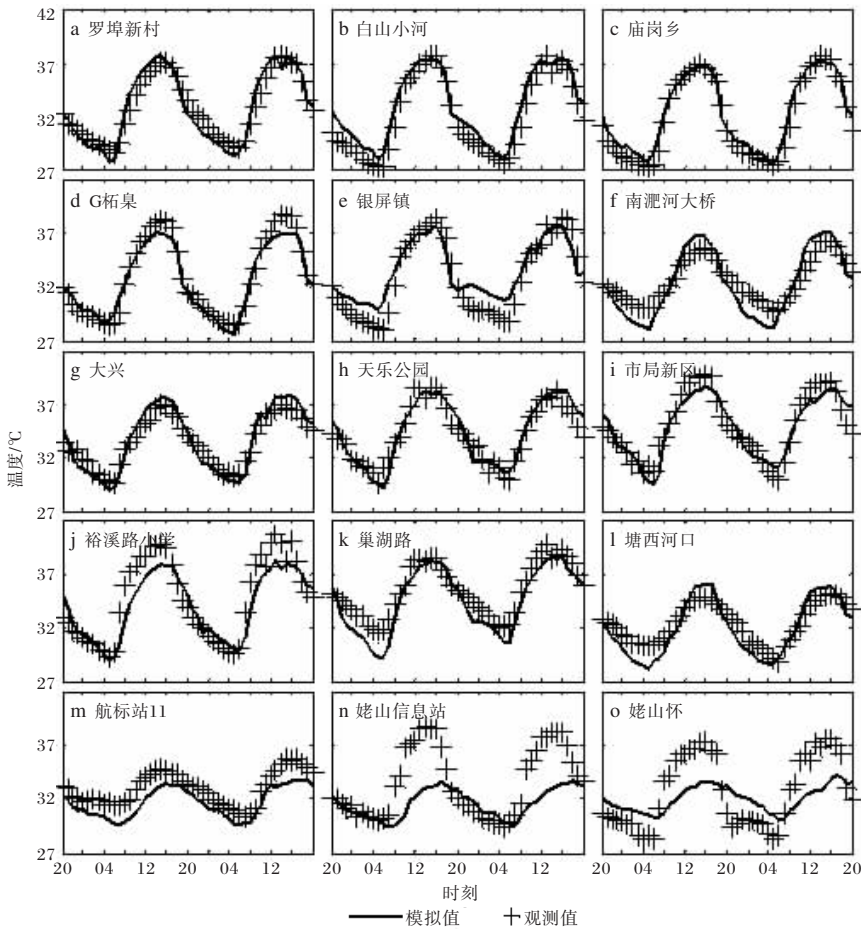


图 3 巢湖地区 2016-07-24—26 气温模拟值与观测值的比较(a~f 是模式中为郊区的站点, g~l 是模式中为城区的站点, m~o 是模式中为水体的站点)

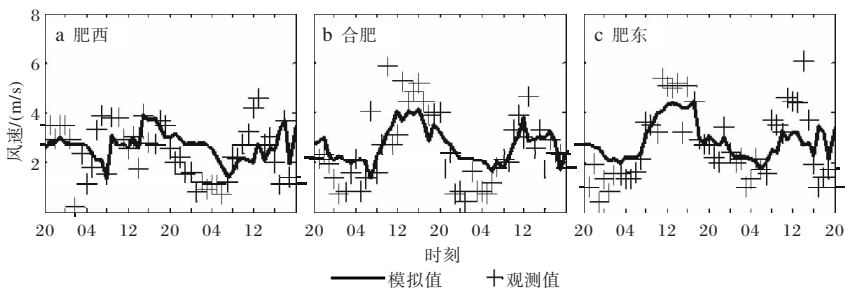


图 4 2016-07-24—26 肥西(a)、合肥(b)、肥东(c)3 个国家基本气象站 10 m 风速模拟值与观测值的比较

系数三个常见的统计量进行量化验证。

表 1 是模拟区域内 85 个观测站气温、风速的统计结果,气温、风速的均方根误差分别为 1.02 °C、1.27 m/s;平均绝对误差分别为 1.05 °C、1.41 m/s;相关系数分别为 0.94、0.36。气温的统计结果较好,风速的统计结果稍差,站址选择代表性差可能是风速模拟效果不太理想的重要原因。

表 1 巢湖地区 2016-07-24—26 气温、风速模拟值与观测值之间的统计特征(样本数为 85)

均方根误差		平均绝对误差		相关系数	
气温/°C	风速/(m/s)	气温/°C	风速/(m/s)	气温	风速
1.02	1.27	1.05	1.41	0.94	0.36

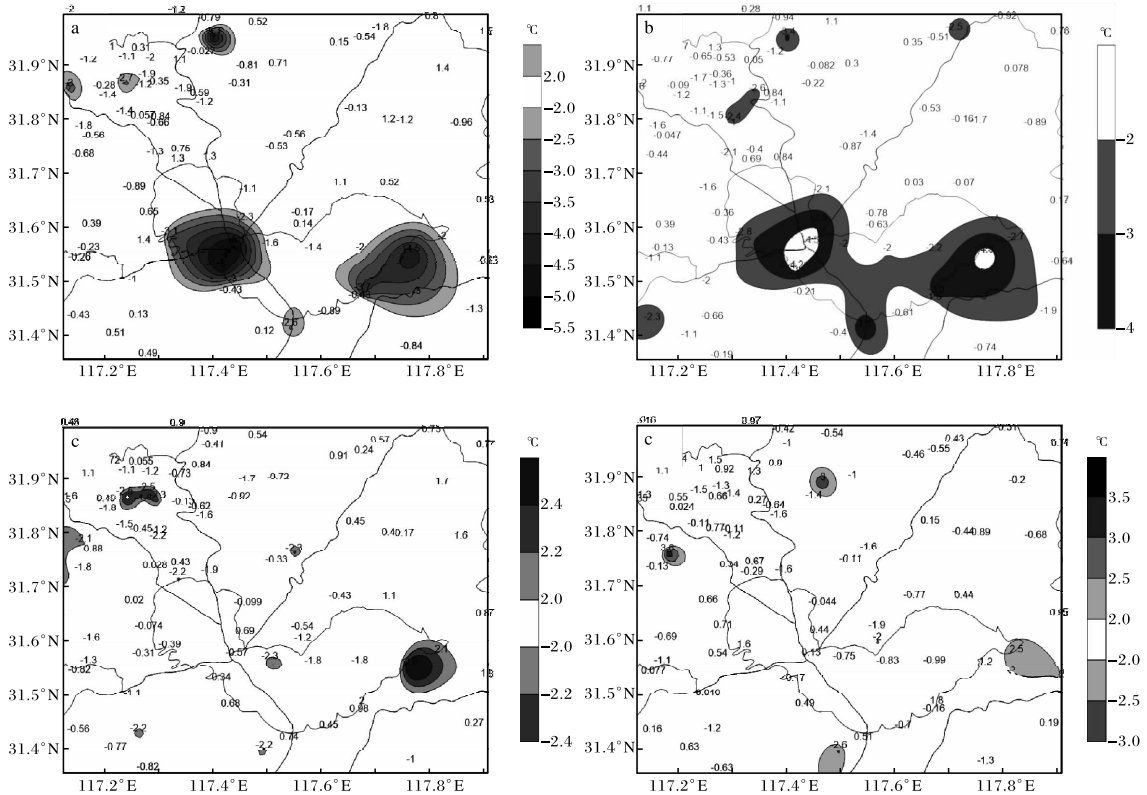


图 5 巢湖地区 2016-07-24—26 气温模拟值与观测值的差值的空间分布图(a 25 日白天最高气温; b 26 日白天最高气温;c 24 日晚上最低气温;d 25 日晚上最低气温)

城市边界层结构所造成的影响。

巢湖市、合肥市均处于巢湖周边,因此主要探究巢湖的湖风效应及其对巢湖市、合肥市热岛效应强度、热岛环流结构的影响。图 6 为 CTL 实验与 NCH 实验白天(12:00—17:00)、夜间(22:

日常业务中,常通过最高、最低气温与观测值的差值是否在 2 °C 以内来检验气温的预报准确性,图 5 为气温模拟效果的空间分布。填图白色区域为差值在 2 °C 以内,说明预报准确性较高。可以看到除了巢湖周边,其余大部分地区预报效果较理想。综上,该模式可较好体现气象场时空分布特征。

3 结果与讨论

当下垫面类型出现改变,热通量、湿度、动量也会产生相对应的变化,进而影响水汽、能量平衡,改变局地气候。通过对比敏感性实验和控制实验,就巢湖对周边城市热岛效应所造成的影响及其作用原理进行了分析。沿图 2 中直线,做贯穿巢湖市、合肥市的垂直剖面,以期了解湖陆风对

00—03:00)时间段和 15:00、03:00 时间点的气温与风矢量的差值对比。

由图 6a、图 6b 可见巢湖表面的日间气温较周围陆地低 4~5 °C,白天陆地较湖面加热快,造成地面升温快,地面上方空气上升,引起湖风,

10 m风速可达 4 m/s。日间,由于巢湖的存在使得下风向 20 km 的部分区域温度下降 1 °C 左右。合肥、巢湖市均处于巢湖的下风向,因巢湖的影响,两地日间平均近地面气温分别下降了 0.18 °C 和 0.28 °C。

巢湖表面的夜间气温较周围陆地高 2~3 °C,湖面比陆地风速大 3 m/s。巢湖在夜间对周边影响范围和强度均较小,范围约 6 km,其对合肥、巢湖市这两座城市夜间平均近地面气温几乎没有影响。

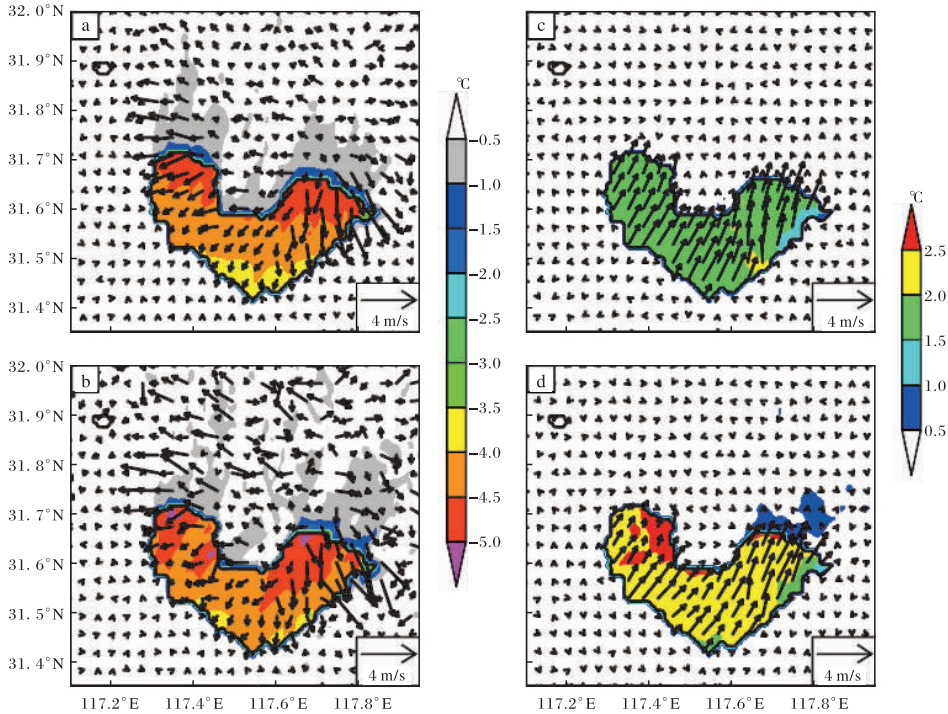


图6 巢湖地区 2016-07-24—26 白天(a 12:00—17:00;b 15:00)、夜间(c 22:00—03:00; d 03:00) CTL 实验与 NCH 实验 2 m 温度及 10 m 风矢量的差值

图 7 为沿着图 2 直线作剖面,计算 CTL 实验与 NCH 实验日间气温和风场的差值,体现了巢湖对巢湖市、合肥市气象场垂直结构的影响。由图 7 可以看到,因巢湖产生的垂直运动与温差有很好的对应关系。11 时,巢湖市上方湖陆温差较

大,产生上升气流,促使城市热岛发展到 1.6 km 的高度,对合肥市的影响则较不明显。14 时,湖风环流带来的冷空气使得两城市上方温度降低,产生下沉气流,从而使得城市热岛强度减弱以及不利于城市热岛的垂直发展。17 时,有巢湖的

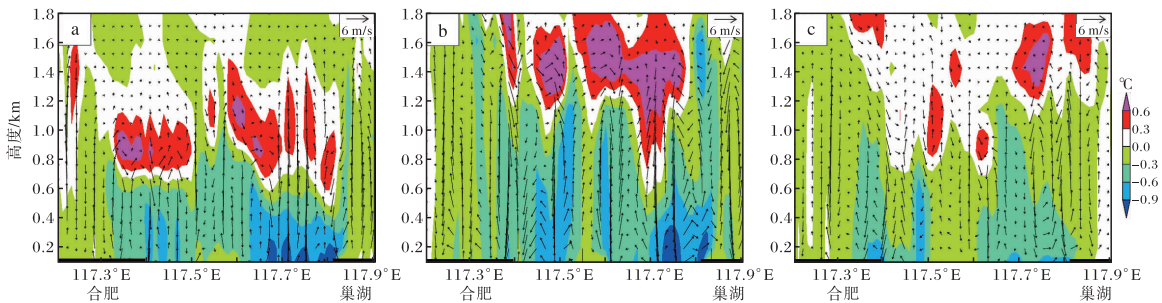


图7 2016-07-25 三个时次沿图 1 中线段剖面上 CTL 实验与 NCH 实验气温(填色)和风场(矢量)的差值 (a 11 时;b 14 时;c 17 时)

影响趋于减弱,且距离巢湖较远的合肥市,反映相对滞后。

两城市 CTL 实验与 NCH 实验边界层高度及温度垂直廓线差值的时间变化见图 8,巢湖湖风在日间最盛,在巢湖的作用下,两城市日间温度下降可达 $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。合肥日间温度下降较少,在

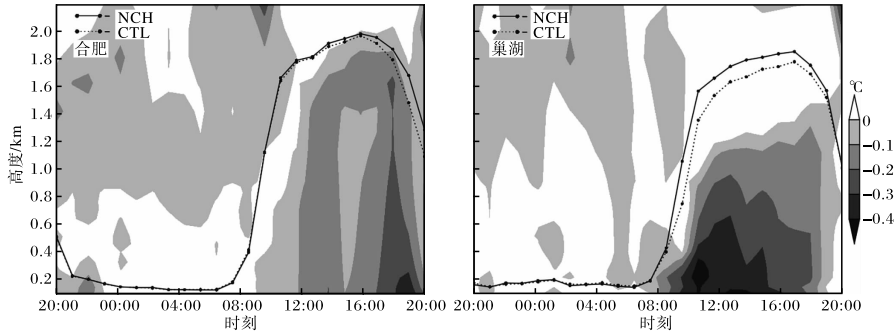


图 8 2016-07-24—26 CTL 实验与 NCH 实验巢湖市、合肥市边界层高度(线条)及温度垂直廓线差值(阴影)的时间变化

4 结论

将中尺度气象模式 WRF 与考虑室内外大气能量交换的多层城市冠层模式(BEP+BEM)耦合,选取北京时间 2016 年 7 月 24—26 日的一次夏季高温过程进行模拟,设计 CTL、NCH 两套试验方案,就巢湖的湖风效应对巢湖市、合肥市热岛效应的影响展开讨论,得出以下结论。

(1) 日间,巢湖表面的气温较周围陆地低 $4\sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$,湖风强度可达 4 m/s 。因巢湖的影响,两地日间平均近地面气温分别下降了 $0.18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $0.28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。夜间,巢湖表面的气温较周围陆地高 $2\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$,湖面比陆地风速大 3 m/s 。巢湖对合肥、巢湖市这两座城市夜间平均近地面气温几乎没有影响。

(2) 因巢湖产生的垂直运动与温差有很好的对应关系。11 时,湖陆温差促使巢湖市城市热岛发展到 1.6 km 的高度,对合肥市的影响较不明显。14 时,随着湖陆温差的减弱,城市热岛削弱。17 时,有无巢湖的影响趋于减弱,且距离巢湖较远的合肥市,反映相对滞后。

(3) 巢湖对巢湖市城区日间气温的影响较合肥市更加明显。巢湖使得合肥市边界层高度最大降低约 200 m ,且在 19 时左右,使得巢湖市边界层高度最大降低约 200 m ,且在 10 时左右,说明

16:00 后逐渐明显;而巢湖温度下降较明显,且影响时间较长。巢湖使得合肥市边界层高度最大降低约 200 m ,且在 19 时左右,巢湖市在 10 时降低最大,约 310 m ,说明距离巢湖越远,边界层高度受影响时间越滞后。

距离巢湖越远,边界层高度受影响时间越滞后。

参考文献:

- [1] 陈静怡,刘寿东,王咏薇,等. 建筑物对周边气温影响的初步研究[J]. 气象科学, 2018, 38(3):361-369.
- [2] 胡江波,孟茹,徐钰. 汉中市热岛效应变化特征分析[J]. 陕西气象, 2020(5):36-39.
- [3] 张丽,刘俊,叶丹. 基于 MODIS 数据的近 10 年异常城市热岛效应时空变化特征[J]. 陕西气象, 2022(2):63-68.
- [4] 杨丽,史泽道,刘晓东,等. 夏季水体对于建筑周围环境的影响研究[J]. 建筑科学, 2019, 35(6):98-107.
- [5] 王咏薇,齐德莉,邱阳阳,等. 小型水体对气温观测环境影响的初步模拟分析[J]. 气象科学, 2017, 37(3):304-316.
- [6] 张婉莹,孙秀博,李岚,等. 辽宁沿海高速公路浓雾气候特征及气象影响因子[J]. 气象与环境学报, 2020, 36(1):67-73.
- [7] LONG Z, PERRIE W, GYAKUM J, et al. Northernlake impacts on local seasonal climate[J]. Journal of Hydrometeorology, 2007, 8(4):881-896.
- [8] MACKAY M D, NEALE P J, ARP C D, et al. Modeling lakes and reservoirs in the climate system

- [J]. *Limnology & Oceanography*, 2009, 54(6): 2315–2329.
- [9] JANUSZKIEWICZ K , GOBIEWSKI J I . Climate change-oriented design: Living on the water. A new approach to architectural design[J]. *Journal of Water and Land Development*, 2021, 47(4):96–104.
- [10] FENG C, YANG X, ZHU W. WRF simulations of urban heat island under hot-weather synoptic conditions: The case study of Hangzhou City, China[J]. *Atmospheric Research*, 2014, 138(3): 364–377.
- [11] FEI C, MIAO S, TEWARI M, et al. A numerical study of interactions between surface forcing and sea breeze circulations and their effects on stagnation in the greater Houston area[J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2011, 116 (D12).
- [12] 唐滢,黄安宁,田粟嵘,等. 夏季太湖局地气候效应的数值模拟研究[J]. *气象科学*, 2016, 36(5): 647–654.
- [13] KEELER J M , KRISTOVICH D . Observations of urban heat island influence on lake-breeze frontal movement[J]. *Journal of Applied Meteorology & Climatology*, 2015, 51(4):702–710.
- [14] HU X M , XUE M . Influence of synoptic sea breeze fronts on the urban heat island intensity in Dallas-Fort Worth, Texas [J]. *Monthly Weather Review*, 2017, 144(4):1487–1507.
- [15] SAMUELSSON P , KOURZENEVA E , MIRONOV D . The impact of lakes on the European climate as simulated by a regional climate model[J]. *Boreal Environment Research*, 2010, 15(2):113–129.
- [16] SALAMANCA F, MARTILLI A. A new building energy model coupled with an urban canopy parameterization for urban climate simulations—part II. Validation with one dimension off-line simulations [J]. *Theoretical & Applied Climatology*, 2010, 99(3/4): 345–356.
- [17] MARTILLI A. An urban surface exchange parameterization for mesoscale models [J]. *Bound-Layer Meteor*, 2002, 104(2): 261–304.
- [18] MLAWER E J , TAUBMAN S J , BROWN P D , et al. Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM [J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 1997, 102 (14): 16663 – 16682.
- [19] JIMY D. Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model[J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 1989. 46(20):3077–3107.
- [20] HONG S Y, DUDHIA J, CHEN S H. A revised approach to ice microphysical processes for the bulkparametrisation of clouds and precipitation[J]. *Monthly Weather Review*, 2004, 132 (1): 103 – 120.
- [21] BOUGEAULT P, LACARRERE P. Parameterization of orography-induced turbulence in ameso-beta scale model[J]. *Monthly Weather Review*, 1989, 117(8):1872–1890.
- [22] CHEN F, DUDHIA, J. Coupling an advanced land surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity[J]. *Monthly Weather Review*, 2001, 129(4):569–585.