

温州三垟湿地对局地气象环境影响的数值试验

张灵杰^{1,2,3}, 郑峰^{1,2,4}, 余贞寿⁵

¹中国气象局上海台风研究所温州联合实验室, 浙江 温州

²温州市气象台院士工作站, 浙江 温州

³文成县气象局, 浙江 温州

⁴温州市气象局, 浙江 温州

⁵浙江省气象科学研究所, 浙江 杭州

Email: 52604885@qq.com

收稿日期: 2020年12月7日; 录用日期: 2021年1月5日; 发布日期: 2021年1月12日

摘要

利用WRF数值模式, 对温州三垟湿地进行抹除敏感性试验。通过分析不同试验方案下垫面修改前后模拟结果的2 m气温、湿度和10 m风场等气象要素差异, 认为三垟湿地有利于城市气温的减小, 缓解城市热岛效应, 提高地面东南风速和改善通风环境。这些认识对三垟湿地的保护给予了技术支撑。

关键词

湿地, 气象环境, 数值模拟

Numerical Experiments on the Impact of Sanyang Wetland on Local Meteorological Environment in Wenzhou

Lingjie Zhang^{1,2,3}, Feng Zheng^{1,2,4}, Zhenshou Yu⁵

¹Joint Laboratory of Shanghai Typhoon Institute & Wenzhou Meteorological Bureau, Wenzhou Zhejiang

²Academician Workstation of Wenzhou Meteorological Observatory, Wenzhou Zhejiang

³Wencheng Meteorological Bureau, Wenzhou Zhejiang

⁴Wenzhou Meteorological Bureau, Wenzhou Zhejiang

⁵Zhejiang Institute of Meteorological Sciences, Hangzhou Zhejiang

Email: 52604885@qq.com

Received: Dec. 7th, 2020; accepted: Jan. 5th, 2021; published: Jan. 12th, 2021

Abstract

Numerical simulation sensitive experiments of removing wetland have been conducted on Sanyang wetland in Wenzhou by using Weather Research and Forecasting Model (WRF). By analyzing the differences of 2 m temperature, 2 m humidity and 10 m wind field between before modifying and after modifying the surface data under different test schemes, the results showed that Sanyang wetland is helpful to reduce the temperature and then mitigate the strength of urban heat island. The increasing southeast wind speed is contributed to improve ventilation environment and the capacity of regional atmospheric diffusion is enhanced. The study provided technical supports for future protection of Sanyang wetland.

Keywords

Wetland, Meteorological Environment, Numerical Simulation

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

湿地,指天然或人工、长久或暂时之沼泽地、泥炭地或水域地带,带有或静止或流动或为淡水、半咸水或咸水的水体,包括低潮时水深不超过6 m的水域。湿地生态系统是地球表面三大生态系统之一,位于陆地与水体之间,兼有水、陆两者的生态功能。湿地不仅为众多野生动植物提供栖息地,而且有巨大的环境效益,在抵御洪水、调节径流、蓄洪防旱、调节气候、控制土壤侵蚀、促淤造陆、降解环境污染等方面起着极其重要的作用[1]。湿地被人们称为“地球之肾”、“生命的摇篮”、“文明的发源地”,受到全世界范围的广泛关注。近年来,随着人们对湿地认识的不断加深,对湿地的开发与保护活动不断开展。

城市下垫面是最具变化的下垫面。人工形成的建筑物、树林、草地、水体、沥青马路等各种类型下垫面的空间形态构成了具有强烈非均匀性的城市特有的格局,同时各种不同下垫面的热容量、含水率、反射率、粗糙度等物理特性不同,对能量平衡、水分交换和局地环流等大气过程影响也不相同,从而形成了特殊的城市大气环境[2][3]。研究表明,在自然植被改变为城市地表的区域,城区湿地覆盖面积减小引起地表湿度减小[4];建筑物的增加导致地表粗糙度增大,反照率加大[5]。上述这些变化都直接影响地表能量平衡,感热通量加热大气的比例增加导致近地面气温升高,城市热岛效应加强[6]。与此同时,气流的拖曳能力被加强,从而导致城区内风速的减小并影响地表的湍流动能,最终改变大气污染的输送扩散条件[7]。但是,如果在城市区域增加水体、绿地等自然地表覆盖面积,则有利于城市的增湿减温[8],促使局地流场发生变化,从而改善局地微气象条件和大气物理环境[9]。

大气数值模式,是通过数值方法对大气动力及热力过程进行求解,从而研究大气状况的重要工具,被广泛应用于天气预报、区域气候、大气化学、城市规划等领域。Chen等[10]详细阐述了近年来WRF模式在城市气象模拟中的应用及可行性。佟华等[11]使用城市边界层数值模式研究楔形绿地规划对北京城市气候的影响。冯娴慧等[12]利用GRAPES模式对广州城市区域的绿地布局进行规划评估,认为有利于改善局地气候的绿地布局方式是保留并建设位于城市上风方向的大规模绿地,而非进行点小面广的星星点点式布局。朱浩楠等[13]利用WRF模式对重庆梁平区待建湿地公园进行规划评估,认为将湿地公园分

为两部分且东北部面积较大时，能产生新的风道，对当地的局地气候舒适性有较好改善。

三垟湿地有温州市“绿肾”之称，位于瓯江入海口南岸的温州生态园内，地处温州市区东南角，紧邻大罗山，360度向城市开放，是温州大都市的重要核心区域。随着温州城市化进程的加速，三垟湿地作为城市快速增长的前沿地带，正面临着城市建设开发占用自然湿地的问题。本文利用WRF模式研究三垟湿地对温州城市大气环境的影响，以科学评价三垟湿地对改善温州城市生态环境的重要性，这对政府决策和湿地保护均具有重要的理论和现实意义。

2. 研究资料和方法

2.1. 研究区域概况

温州市位于浙江省东南部，东濒东海，介于北纬 $27^{\circ}03' \sim 28^{\circ}36'$ ，东经 $119^{\circ}37' \sim 121^{\circ}18'$ ，陆地总面积 $11,784 \text{ km}^2$ 。市区呈东西向走向，下辖鹿城、龙湾、瓯海、洞头4区，三垟湿地位于瓯海区。温州市为亚热带海洋性季风气候区，冬夏季风交替显著，温度适中，冬无严寒，夏无酷暑，四季分明，雨量充沛，年平均气温 $17.3^{\circ}\text{C} \sim 19.4^{\circ}\text{C}$ ，年降水量在 $1113 \sim 2494 \text{ mm}$ 之间，年日照数在 $1442 \sim 2264 \text{ h}$ 之间。正因为独特的气候优势，温州获封“中国气候宜居城市”荣誉称号。

2.2. 资料选取

本文用于检验模拟方案的观测资料主要由4个围绕三垟湿地的自动气象站提供，站号和站址分别为58659 (28.03°N , 120.67°E)、K3088 (28°N , 120.67°E)、K3166 (28.03°N , 120.58°E)、K3911 (28.02°N , 120.6°E)。

2.3. 模式和试验设计

WRF (Weather Research and Forecasting)模式是由美国国家大气研究中心(NCAR)、美国国家环境预报中心(NCEP)和美国国家海洋和大气管理局(NOAA)联合开发的新一代中尺度天气预报模式和同化系统。具有全球各地设置使用、实时输入资料、采用先进的物理过程参数化方案、可在不同的计算机平台上运行等诸多特点。本文采用WRF-V3.2版本，使用三重嵌套网格，从外到内模式网格分辨率分别为 9 km 、 3 km 、 1 km 。网格采用兰伯特投影坐标系，最外层模拟中心为 28°N , 120.5°E ，参考纬度为 30°N 和 60°N ，参考经度为 120°E 。图1所示为模拟区域和嵌套网格设置。NCEP的全球 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料(FNL)经处理后作为WRF模式的初始场和边界条件，微物理参数化方案采用WSM3方案，长波辐射参数化采用RRTM方案、短波辐射参数化采用Dudhia方案，陆面过程采用Noah-UCM方案，近地层采用Monin-Obukhov方案，行星边界层方案采用YSU方案，城市下垫面采用UCM方案。所有嵌套网格都未采用积云参数化方案。

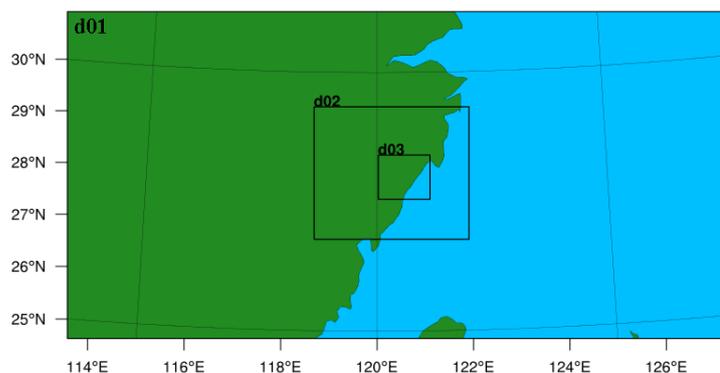


Figure 1. Grid settings of the simulation area

图 1. 模拟区域网格设置

模式使用 NCEP 提供的全球 30 s 地形数据及 MODIS 下垫面分类资料。模拟时间段为 2017 年 9 月 25 日 20:00~26 日 20:00 (北京时, 下同) 共计 24 h, 每隔 6 h 更新一次边界条件, 每隔 1 h 输出一次结果。25 日 20:00~23:00 作为模式启动时间而舍去。模拟试验设计成两组, 一组是不改变 MODIS 下垫面土地利用资料, 这个模拟方案称为“控制试验”; 另一组是改变 MODIS 下垫面土地利用资料, 把三垱湿地地区的土地利用资料全部修改成城市用地, 即不保护三垱湿地, 让三垱湿地全部被城市开发占用, 从而达到抹掉三垱湿地的效果, 这个模拟方案称为“敏感试验”。图 2 所示为控制试验和敏感试验最内层网格的土地利用分布。

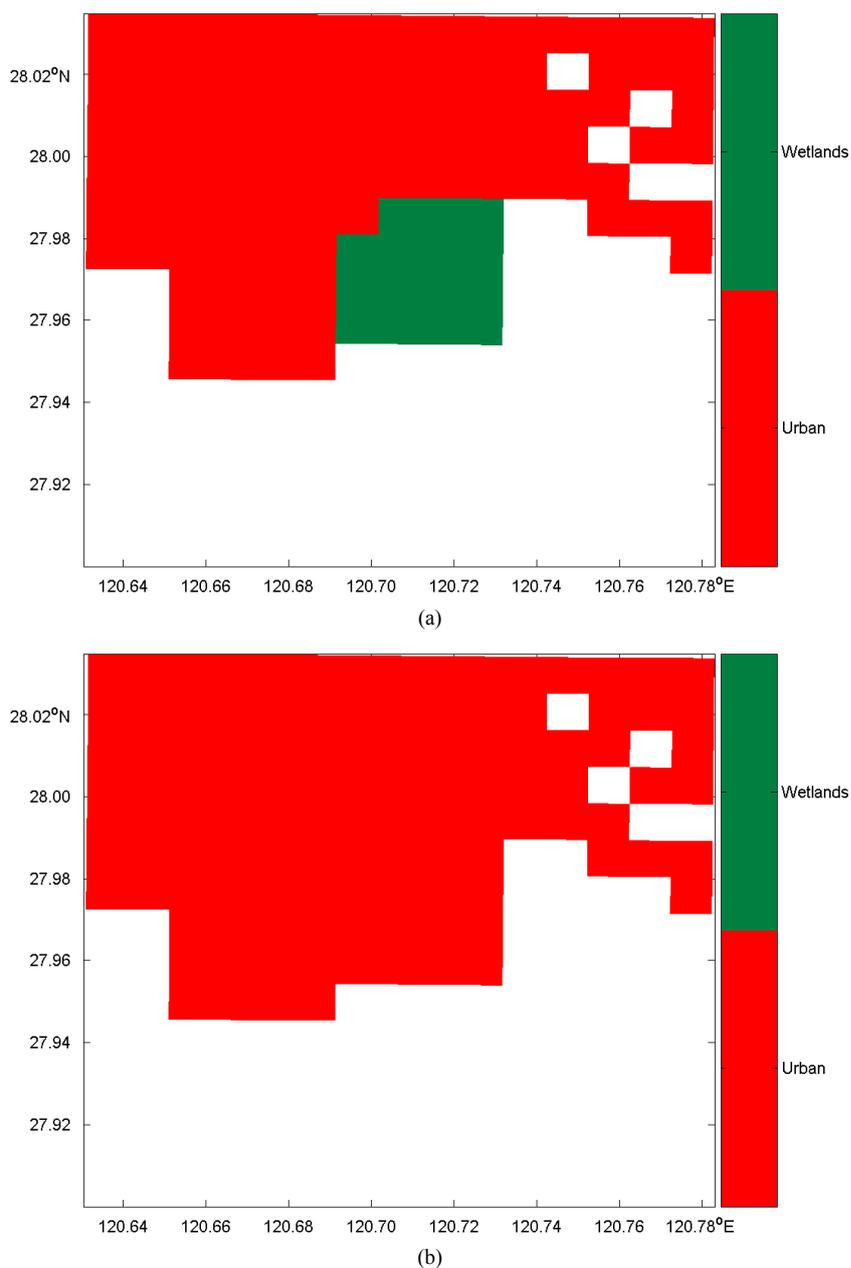


Figure 2. Land use distribution of control experiment (a) and sensitive experiment (b), (the red color represents urban area and the green color represents wetland)

图 2. 控制试验(a)和敏感试验(b)的土地利用(红色代表城市, 绿色代表湿地)

2.4. 研究方法

敏感试验中, 修改下垫面土地利用资料的方法是利用 NCL 编程语言, 对 WRF 输入文件 wrfinput 中的 LU_INDEX 进行修改, 将三垱湿地位置的土地利用类型由湿地修改成城市用地, 而其他位置的资料不发生改变。控制试验是真实土地利用情况的数值模拟, 敏感试验是没有三垱湿地的数值模拟, 将控制试验模拟结果减去敏感试验模拟结果则得到三垱湿地的存在对周围气象环境的影响情况, 结合分析近地面气温、湿度和风场变化特征, 来说明三垱湿地对局地气象环境的影响效应。

3. 模式结果分析

图 3 是 4 个自动气象站在模拟期间近地面气温模拟值和实测值的比较。由图可见, 虽然模拟值系统性都要比观测值偏低, 这与模式在边界层的物理方案误差有关, 但总体模拟效果尚可, WRF 模式的模拟结果与观测值在变化趋势上基本一致, 相关系数分别达到 0.67、0.75、0.63 和 0.56, 说明模式较好地模拟出该地的气象环境, 利用模式输出的高分辨率资料用于分析该地的局地气象环境变化情况是可行且可信的。

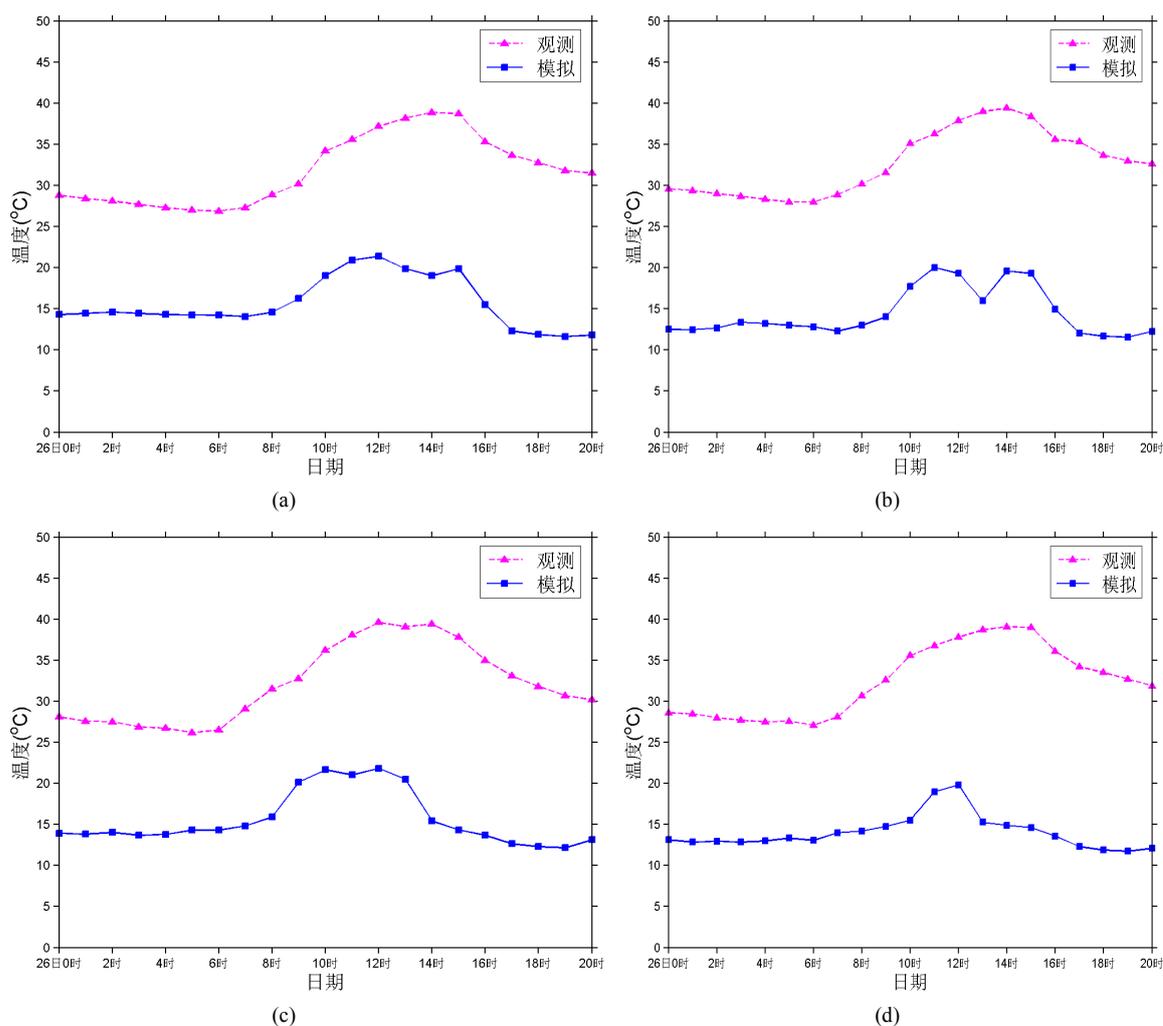


Figure 3. Comparisons of observed and simulated values of surface temperature during 00:00~20:00 26 September 2017 at automatic weather stations of (a) 58659, (b) K3088, (c) K3166 and (d) K3911 (Unit: °C)

图 3. 2017 年 9 月 26 日 00:00~20:00 自动气象站 58659 站(a)、K3088 站(b)、K3166 站(c)和 K3911 站(d)近地面气温模拟值与观测值比较(单位: °C)

图4所示为白天(9:00~17:00)与夜间(0:00~8:00)控制试验2 m温度相对敏感试验的差异。可明显看出,无论是白天还是夜间,三垟湿地对湿地附近区域呈现明显的降温作用;白天降温面积增大,对七都岛区域也有2℃左右的降温作用,降温的幅度也更大,最大降温幅度达到了7.1℃;夜间降温作用减弱,降温面积缩小,降温的幅度也减小,最大降温幅度为5.2℃。三垟湿地造成降温的原因主要是由于湿地的比热容大,在白天能吸收更多热量。湿地在吸收太阳能后获得热量,通过水面蒸发、水面有效辐射和水面与大气的对流热交换等失去热量而导致降温。白天水面蒸发、水面与大气的对流热交换作用明显,降温作用变大;夜间水面蒸发、水面与大气的对流热交换作用减弱,降温作用变小。

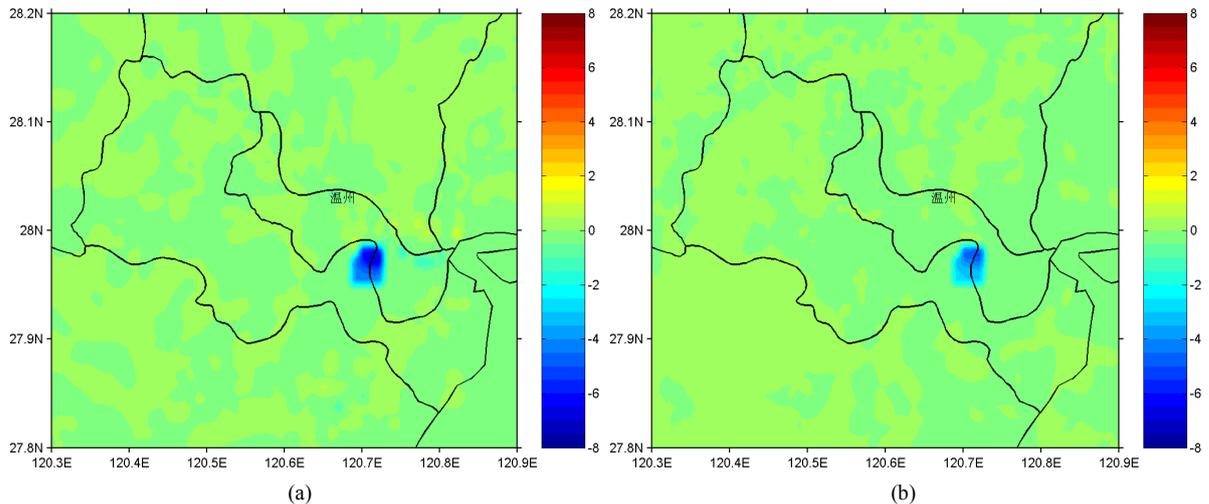


Figure 4. Surface temperature differences in the daytime (a) and nighttime (b) between cases of control simulation and sensitive simulation (Unit: °C)

图4. 控制试验与敏感试验的白天(a)和夜间(b)地面气温差值(单位: °C)

图5所示为白天与夜间控制试验2 m相对湿度相对于敏感试验的差异。由图可见,三垟湿度对研究区域的增湿效果不明显,最大增湿幅度仅为2.5%,几乎无增湿作用。

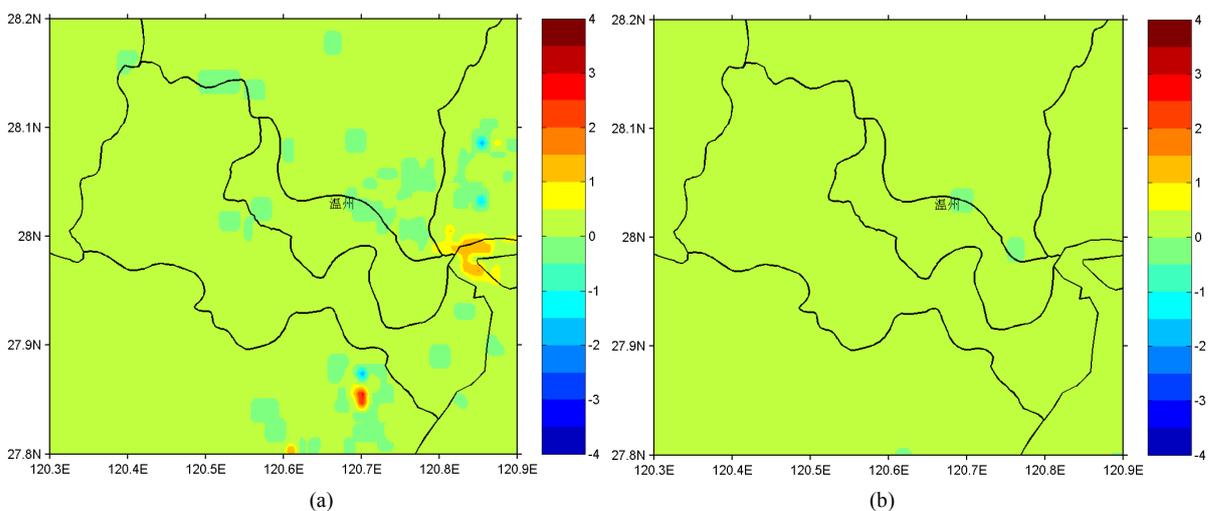


Figure 5. Surface relative humidity differences in the daytime (a) and nighttime (b) between cases of control simulation and sensitive simulation (Unit: %)

图5. 控制试验与敏感试验的白天(a)和夜间(b)地面相对湿度差值(单位: %)

图6为白天与夜间控制试验10 m平均风速相对敏感试验的差异,棕色线条代表平均风场。从图中可知,三垟湿地对湿地附近区域的风环境影响较大,正因三垟湿地的存在,湿地附近区域的风速明显增大,白天和夜间风速增加幅度分别达到了1.6 m/s和1.9 m/s;白天风速增加区域变大,分别向湿地的东北方向和西南方向扩大,夜间风速增加区域则缩小至湿地附近区域;无论是白天还是夜间,三垟湿地均增大了东南风风道,对研究区域的通风环境有较好改善效果。由于风速大小的改变主要是受水陆粗糙度差异的动力作用和水陆热力差异的热力作用的影响。因三垟湿地的存在,使得下垫面粗糙度减小,气流的拖曳能力被减弱,从而导致研究区域内风速的增加。

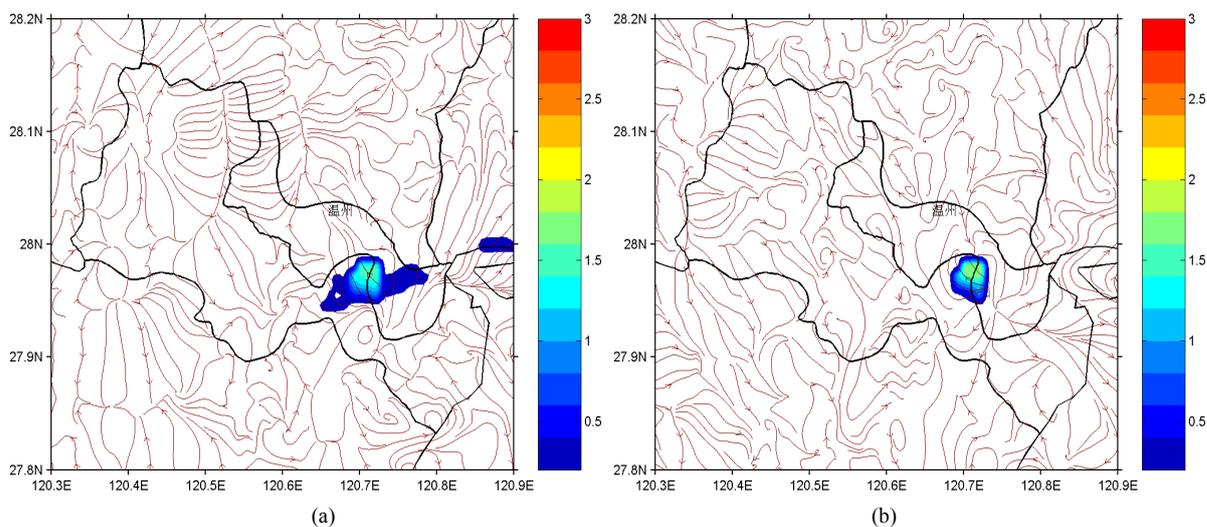


Figure 6. Surface wind differences in the daytime (a) and nighttime (b) between cases of control simulation and sensitive simulation (Unit: m/s)

图 6. 控制试验与敏感试验的白天(a)和夜间(b)地面风场差值(单位: m/s)

由上述分析可知,三垟湿地有明显的降温效果,无论是白天还是夜间,对城市热岛效应都有明显的减缓作用。三垟湿度几乎无增湿作用。10 m风场的分析表明,三垟湿地有利于东南风风道的加强,从而改善通风环境,通风环境改善之后将改善局地空气扩散能力。

4. 结论和讨论

本文利用 WRF 模式下垫面敏感性试验对温州三垟湿地对局地气象环境的影响进行分析研究,主要得到以下结论:

- 1) 湿地对局地温度影响较大,能较为明显地对研究区域起到降温作用,最大降温幅度达到了 7.1°C 。
- 2) 湿地有利于东南风风道的加强,最大风速增加幅度达到了 1.9 m/s ,增强了研究区域的通风能力,并进而引起研究区域内的温度调节。
- 3) 三垟湿地起到了有效改善城市气候、减弱城市热岛效应和保护大气环境的作用。

本文所得到的结论仅是基于一个个例的模拟结果,尚需进一步的观测和模拟研究加以验证。使用的 MODIS 下垫面资料与实际地表类型和植被覆盖还有一些差异,并且 WRF 模式也不完全适用于局地高分辨率数值模拟。这一切都需要在今后的研究工作中解决。

基金项目

温州市气象局项目(2018ZD01)资助。

参考文献

- [1] 雷昆, 张明祥. 中国的湿地资源及其保护建议[J]. 湿地科学, 2005, 3(2): 81-86. <http://dx.chinadoi.cn/10.3969/j.issn.1672-5948.2005.02.001>
- [2] 陈燕, 蒋维楣. 南京城市化进程对大气边界层的影响研究[J]. 地球物理学报, 2007, 50(1): 66-73. <http://dx.chinadoi.cn/10.3321/j.issn:0001-5733.2007.01.009>
- [3] Fang, X.Y., Jiang, W.W., Miao, S.G., Zhang, N., Xu, M., Ji, C.P., *et al.* (2004) The Multi-Scale Numerical Modeling System for Research on the Relationship between Urban Planning and Meteorological Environment. *Advances in Atmospheric Sciences*, **21**, 103-112. <https://doi.org/10.1007/BF02915684>
- [4] Arnfield, A.J. (2003) Two Decades of Urban Climate Research: A Review of Turbulence, Exchanges of Energy and Water, and the Urban Heat Island. *International Journal of Climatology*, **23**, 1-26. <https://doi.org/10.1002/joc.859>
- [5] 胡非, 洪钟祥, 雷孝恩. 大气边界层和大气环境研究进展[J]. 大气科学, 2003, 27(4): 712-728.
- [6] 高志球, 卞林根, 禄昌贵, 等. 城市下垫面空气动力学参数的估算[J]. 应用气象学报, 2002, 12(1): 26-33. <http://dx.chinadoi.cn/10.3969/j.issn.1001-7313.2002.z1.003>
- [7] Peterson, T.C. and Owen, T.W. (2005) Urban Heat Island Assessment: Metadata Are Important. *Journal of Climate*, **18**, 2637-2646. <https://doi.org/10.1175/JCLI3431.1>
- [8] Saaroni, H. and Ziv, B. (2003) The Impact of a Small Lake on Heat Stress in a Mediterranean Urban Park: The Case of Tel Aviv, Israel. *International Journal of Biometeorology*, **47**, 156-165. <https://doi.org/10.1007/s00484-003-0161-7>
- [9] 徐敏, 蒋维楣, 季崇萍, 等. 北京地区气象环境数值模拟试验[J]. 应用气象学报, 2002, 13(z1): 61-68. <http://dx.chinadoi.cn/10.3969/j.issn.1001-7313.2002.z1.007>
- [10] Chen, F., Kusaka, H., Bornstein, R., Ching, J., Grimmond, C.S.B., Grossman-Clarke, S., *et al.* (2011) The Integrated WRF/Urban Modelling System: Development, Evaluation, and Applications to Urban Environmental Problems. *International Journal of Climatology*, **31**, 273-288. <https://doi.org/10.1002/joc.2158>
- [11] 佟华, 刘辉志, 李延明, 等. 北京夏季城市热岛现状及楔形绿地规划对缓解城市热岛的作用[J]. 应用气象学报, 2005, 16(3): 357-366. <http://dx.chinadoi.cn/10.3969/j.issn.1001-7313.2005.03.009>
- [12] 冯娴慧, 高克昌, 钟水新. 基于 GRAPES 数值模拟的城市绿地空间布局对局地微气候影响研究: 以广州为例[J]. 南方建筑, 2014(3): 10-16. <http://dx.chinadoi.cn/10.3969/j.issn.1000-0232.2014.03.010>
- [13] 朱浩楠, 刘晓冉, 孙佳, 等. 湿地公园对局地气候舒适性影响的数值试验[J]. 自然资源学报, 2019, 34(2): 412-423.