

# 湿地公园对局地气候舒适性影响的数值试验

朱浩楠, 刘晓冉, 孙佳, 王颖, 廖代强, 周杰

(重庆市气候中心, 重庆 401147)

**摘要:**为探索湿地公园对局地气候舒适性的影响,利用WRF数值模式,对重庆市梁平区待建湿地公园的位置与面积规划进行敏感性试验。结合当地主导风向和实际项目需求,设计了不建设湿地公园、湿地公园占地分别达10 km<sup>2</sup>、15 km<sup>2</sup>和20 km<sup>2</sup>等面积敏感性试验,以及湿地公园位于保护区西南部、东北部和分为南北两部分等建设位置敏感性试验。通过对比不同试验方案下垫面修改前后模拟结果的2 m气温、湿度等气象要素并计算热气候指标,认为湿地公园建设面积约15 km<sup>2</sup>、且将湿地分为两部分但东北部面积较大时,对当地的局地气候舒适性有较好改善。对风场的分析表明,这可能是因该规划方案能产生新的风道所致,因此也说明湿地公园的规划应当将局地风环境状况作为重要的参考指标。

**关键词:**数值模拟;湿地;规划;气候舒适性

湿地,指天然或人工、常年或季节性蓄有静止或流动的淡水、半咸水或咸水沼泽地、泥炭地或水域,包括低潮时水深不超过6 m的海域。湿地不仅为人类的生产、生活提供多种资源,还有巨大的环境效益,能起到抵御洪水、调节径流、蓄洪防旱、降解污染、调节气候、控制土壤侵蚀、促淤造陆、美化环境等多方面的作用<sup>[1]</sup>。城市湿地公园,指“纳入城市绿地系统规划且适宜作为公园的天然湿地,通过合理的保护利用,形成保护、科普、休闲等功能于一体的公园”<sup>[2]</sup>,能够在一定程度上减缓城市热岛效应,对局地气候起到降温、增湿等作用,从而也提高了局地的气候舒适性<sup>[3]</sup>。近年来,为发展生态型城市,国内多个地区都在逐步推进城市湿地公园的建设<sup>[4]</sup>。

然而,湿地与人居环境有着非常复杂的相互关系<sup>[5]</sup>,若未经过科学论证、缺乏合理设计和管理,湿地也会带来负面效果:任意变动原有土地利用,会对居民生活方式及习惯产生干扰<sup>[6]</sup>;而糟糕的湿地环境会降低人居舒适度,导致居民心理压力增加,妨害身心健康<sup>[7]</sup>。同时,在有限的资金投入下若未经过科学论证,很可能造成人力物力的浪费。因此,为了充分发挥湿地公园的作用和价值,科学规划与评估必不可少。

气候舒适性是评价区域宜居程度的重要内容,它主要表现为气温、相对湿度、风速等多个要素间相互关联,共同对人居环境造成的影响<sup>[8]</sup>。Jia等<sup>[5]</sup>认为湿地对局地气候舒适性的调整也是湿地规划中应重点考虑的一部分。对气候舒适性的研究通常包含热环境及风环境<sup>[9-10]</sup>的分析。而为对局地气候舒适性形成较为全面的认识,需要综合了解当地气象

收稿日期: 2018-06-05; 修订日期: 2018-11-15

基金项目: 重庆市气象局智慧气候应用创新团队项目(ZHCXTD-201916, ZHCXTD-201807); 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201506014); 重庆市气象局青年基金项目(QNJJ-201708)

作者简介: 朱浩楠(1991-),男,四川眉山人,硕士,工程师,主要从事应用气候数值模式研究。

E-mail: 245825875@qq.com

通讯作者: 刘晓冉(1982-),男,河南洛阳人,博士,高级工程师,主要从事天气、气候动力学研究。

E-mail: liuxiaoran8283@126.com

要素特征及舒适度指数<sup>[11-12]</sup>,若仅依赖传统气象观测手段很难实现对湿地公园建成后的状况评估。

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、气候可行性论证、城市规划等领域。Chen等<sup>[13]</sup>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。Fang等<sup>[14]</sup>开发了一套多尺度数值模式系统,并成功应用于城市规划中。秦文翠等<sup>[15]</sup>基于ENVI-met模式对北京的典型住宅区进行了数值模拟分析,认为ENVI-met能较好地反映案例的微气候特征。佟华等<sup>[16]</sup>在研究中使用边界层数值模式探索绿地对其周边区域温度的影响;Zhou等<sup>[17]</sup>利用CFD(计算流体力学模型)对辽阳市的绿地规划方案进行设计和论证。苗世光等<sup>[18]</sup>利用城市多尺度数值模拟系统中的城市边界层尺度模式对成都市周边的绿地布局进行敏感性试验,认为分散式的绿地布局对成都地区的气候调节作用较为明显。冯娴慧等<sup>[19]</sup>利用GRAPES模式对广州城市区域的绿地布局进行规划评估,认为应该建立位于城市上风方向的大规模绿地,而非点小面广的布局。

由于局地大气环境的复杂性等因素,使得关于湿地对局地气候舒适性影响的研究依旧不够成熟。因此,本文利用WRF模式对重庆市梁平区农田生态湿地进行下垫面敏感性试验。通过分析湿地建成前后的当地气象要素场及人体舒适度指数,结合实际应用探索不同湿地布局对局地气候舒适性的影响。这对农田湿地公园的生态规划也具有重要参考意义。

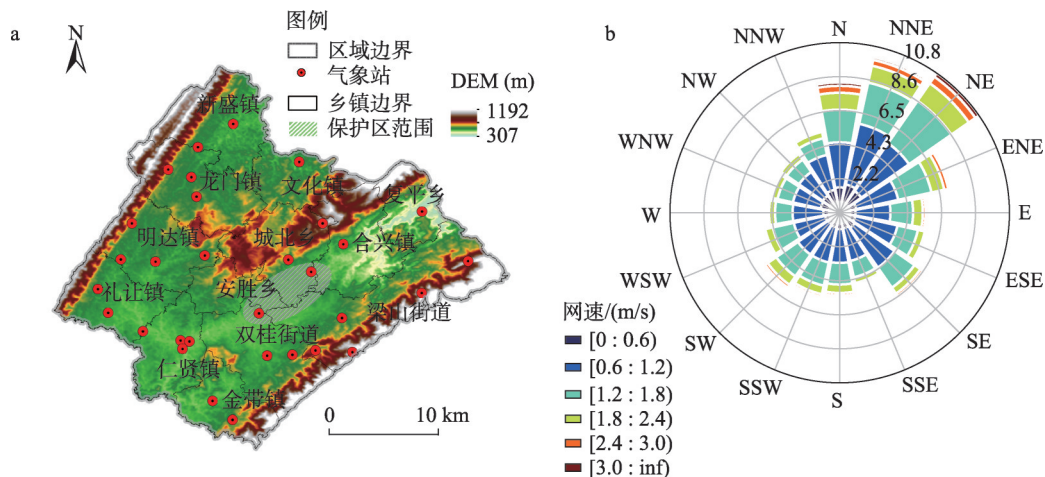
## 1 研究方法

### 1.1 梁平农田湿地公园介绍

重庆市梁平区位于重庆市东北部,是成渝城市群的重要节点城市。为有效改善城市气候适应性,营造良好的宜居环境、提高局地气候舒适度,当地规划部门拟对城市周边的农田、林地、水系、山体等进行保护及开发利用。因此,拟在梁平区主要城镇的上风方向规划25 km<sup>2</sup>的农田保护区,并在其中建设农田湿地公园(图1a),湿地公园的第一期工程拟建设在保护区的西南角。但为了合理开支政府经费并尽量减少对当地居民生产生活的影 响,需要对现存及后续方案进行设计论证。从图1a可知,梁平地区地势陡峭多变;主要的城市区域(梁山街道和双桂街道)位于保护区南部地形相对平坦的山谷地带。图1b所示为梁平地区风玫瑰图。结果显示当地出现频率最多的风向为东北风和东北偏北风,合计占比20.6%。结合图1a可知城市区域并非完全处于保护区的下风方向,而是与主导风向近似平行。

### 1.2 WRF模式及参数设置

Weather Research and Forecasting Model(简称WRF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小尺度天气预报模式<sup>[20]</sup>。本文模式设置采用4层网格嵌套,从外到内模式网格分辨率分别为:9 km、3 km、1 km、333.33 m。网格采用兰伯特投影坐标系,最外层网格中心纬度和经度分别为31°N和105°E,参考纬度为30°N和60°N,参考经度为105°E。图2所示为模式网格范围和嵌套设置。模式使用NCEP的全球1°×1°再分析资料(FNL)作为初始场,微物理参数化方案采用WSM6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CLM4陆面模式进行耦



注：阴影代表保护区范围，红点代表当地自动气象站，填色代表DEM高程。

图1 梁平地区规划以及梁平地区风向风速玫瑰图

Fig. 1 Region planning and windrose diagram of Liang Ping

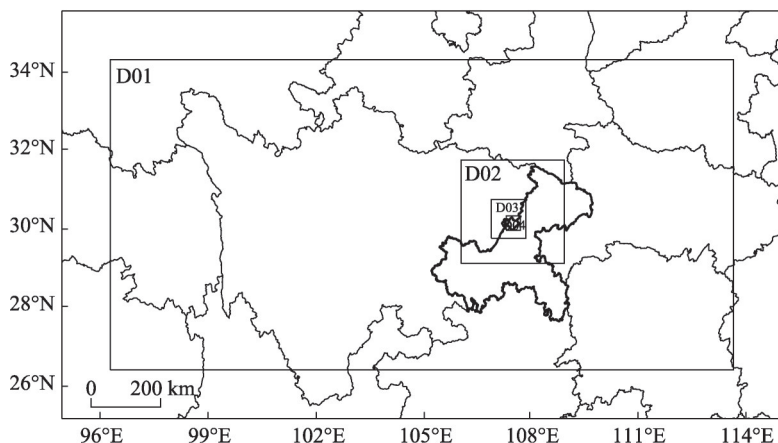


图2 模式网格区域和嵌套设置

Fig. 2 WRF Simulation domain setting

合，边界层参数化采用YSU方案。2014年8月初梁平地区盛行风向与多年盛行风向一致即东北偏北风，所以模式选取模拟时间为2014年7月28日-8月6日，前4天作为模式启动时间而舍去。

图3所示为WRF模拟结果中2 m气温和模拟区域内所有观测站实测温度平均值的时间变化对比。可以看到WRF模式的模拟结果与观测数值在变化趋势上基本一致，数值误差较小，说明模式能较好地模拟该地的气象环境，用于分析该地的局地气候是可行且可信的。

## 2 结果分析

### 2.1 湿地面积和位置的局地气候调节作用分析

#### 2.1.1 湿地面积敏感性试验

为对比不同湿地规划面积对区域气象环境的影响，首先设计了四组试验，分别为：

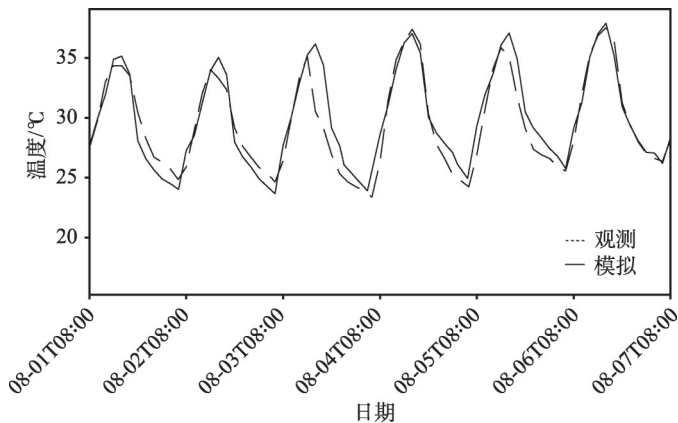
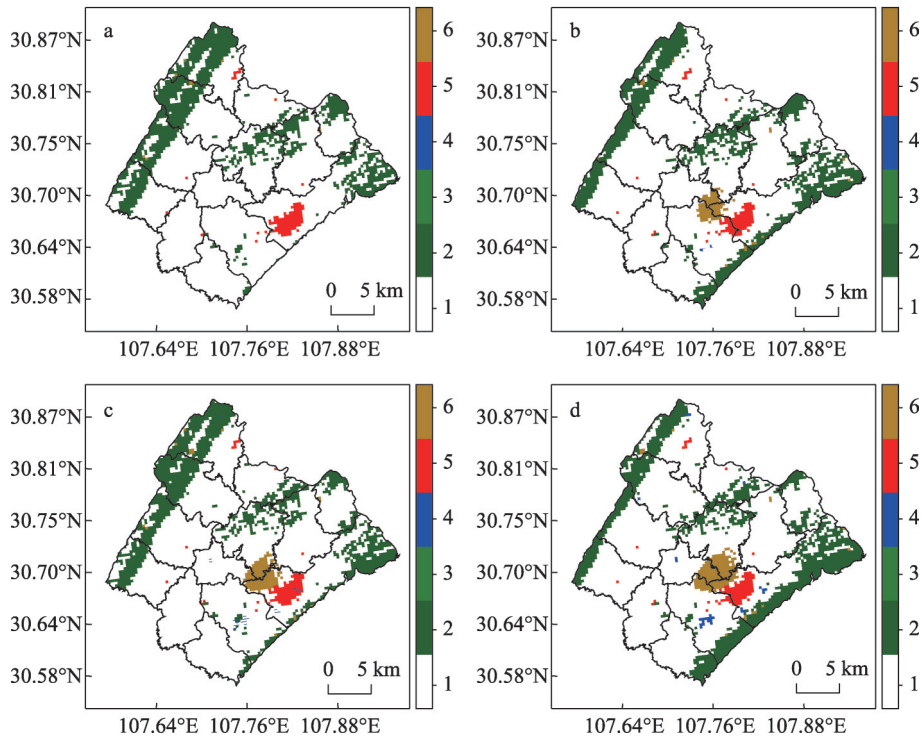


图3 WRF模式最内层网格平均温度和站点实测平均温度的时间变化  
Fig. 3 Regional mean 2 m temperature time series of WRF simulation data and observation

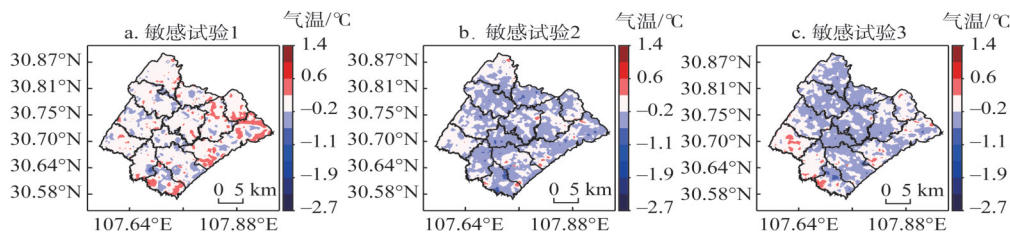
控制实验，不规划湿地；敏感试验1，在农田湿地一期工程位置上，放置面积约10 km<sup>2</sup>的湿地；敏感试验2，放置面积约15 km<sup>2</sup>的湿地；敏感试验3，放置面积约20 km<sup>2</sup>的湿地。图4所示为不同试验模式最内层网格的土地利用分布。

图5所示为2014年8月1日-6日（后文无特殊说明皆同）每天下午（13~18时），三组敏感试验平均2 m气温相对控制试验的差异。从图中可见当湿地面积为10 km<sup>2</sup>时，模



注：色标1~6依次代表农业用地、树林、草地、水体、城市和湿地。  
图4 a~d代表控制试验和敏感试验1~3的土地利用  
Fig. 4 a~d represent land use distribution of control experiment and sensitive experiment 1~3, respectively





注：a~c分别代表敏感试验1~3。

图5 2014年8月1日-6日下午的各敏感试验平均2 m气温相对控制试验的差异

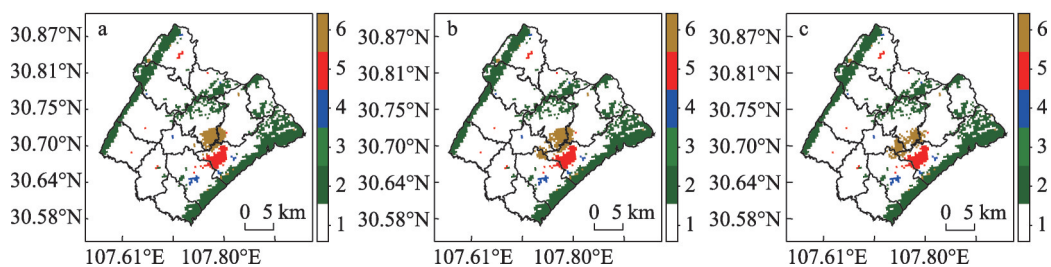
Fig. 5 Mean 2 m Temperature difference between sensitive experiments and control of afternoon, August 1 to 6, 2014

拟区域内的降温并不明显，温度变化区域空间分布没有一致性特征。说明因湿地面积过小，下垫面修改后对局地气候影响不大，只形成小的气温波动；而敏感试验2、3的降温较为明显，出现了大面积0.2 °C以上的降温区域。20 km<sup>2</sup>湿地带来的降温区域面积较15 km<sup>2</sup>湿地略大，但降温幅度并无太大差异。同时，从白天各敏感试验平均2 m相对湿度对控制实验的差异可知，不同面积的湿地对研究区域都有增湿效果，但以15 km<sup>2</sup>和20 km<sup>2</sup>规划面积时较为明显。

以上分析表明，增加湿地下垫面对当地气温和湿度有一定改变，并以湿地面积为15 km<sup>2</sup>和20 km<sup>2</sup>时效果较为明显，但二者间并无太大差异。综合各方面因素，考虑到工程成本和保护区内其他规划调整，认为规划15 km<sup>2</sup>面积的湿地较为合适。

### 2.1.2 湿地位置敏感性试验

为进一步探索湿地公园位置对局地气象环境的影响，继续设计了三组敏感性试验，分别为敏感试验4：将15 km<sup>2</sup>面积的湿地全部放在保护区的东北部；敏感试验5：将15 km<sup>2</sup>面积的湿地分为两个部分，分别放在保护区东北部和西南部，且东北部的面积较大；敏感实验6：与敏感实验5类似，但两部分湿地面积相同。具体的下垫面土地利用分布如图6所示。

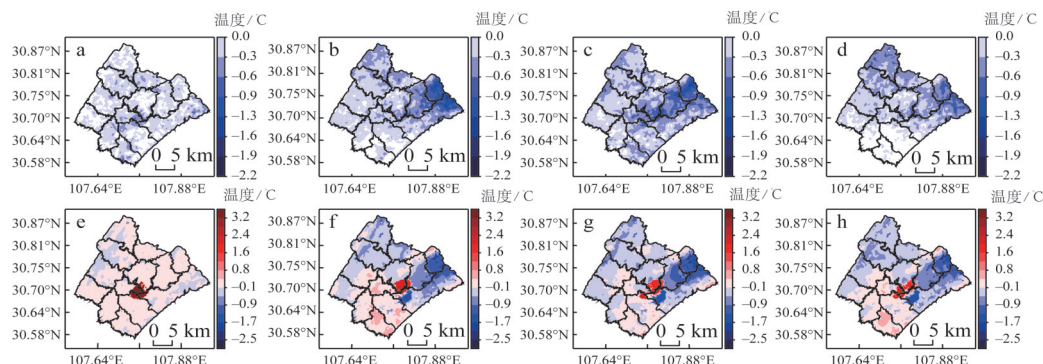


注：图中色标含义同图4。

图6 a~c分别代表敏感试验4~6的土地利用配置

Fig. 6 a~c represents landuse of sensitive experiments 4~6, respectively

图7所示为白天与夜间各敏感试验平均2 m温度相对控制试验的差异。可明显看出相对敏感试验2，敏感试验4~6中湿地对整个模拟区域的降温作用得到明显提升：不仅降温面积增加，降温的幅度也更大。如图7e~图7h所示，由于热容较大，湿地在夜间呈现增温；当湿地位置全部在保护区西南部时（图7e），对研究区域几乎无降温作用；而当保护区北部存在湿地时（图7f~图7h），对研究区域降温效果明显，在城市所在位置可看到



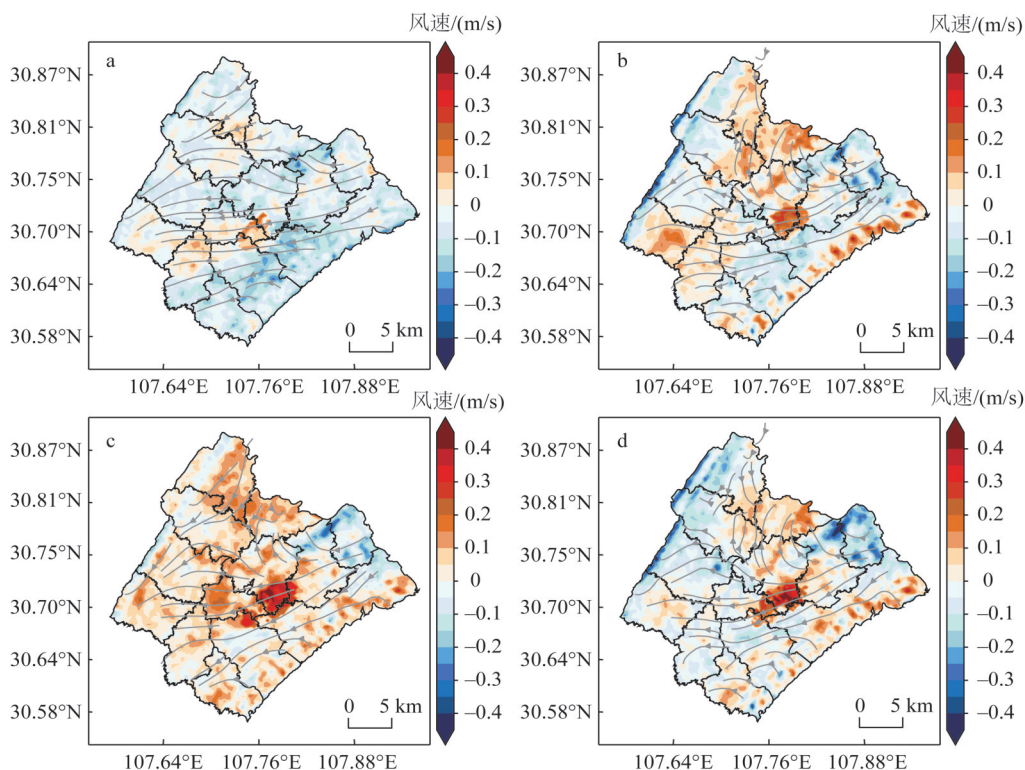
注: 图a~图d分别代表敏感试验2、4、5、6白天的温度差异; 图e~图h则代表夜间的相温度差异。

图7 各敏感试验平均2 m温度相对控制试验的差异

Fig. 7 Mean 2 m temperature difference between sensitive experiments and control

明显的温度负增量, 且敏感试验5、6降温效果略优于敏感试验4。

综合分析图5和图7发现, 当地气象环境对湿地位置变化的敏感程度相比面积变化更高, 参考已有研究可知<sup>[18]</sup>这说明风场可能是各敏感试验间差异的主要成因。为获得更具代表性的风场变化结果, 进一步将模拟时间延长至16日。图8填色为8月1日-16日敏感试验2、4、5、6全天平均风速与控制试验的差异, 灰色线条代表平均风流场。从图中可



注: 灰色线条代表平均风流场。

图8 2014年8月1日-16日敏感试验2、4、5、6全天平均10 m风场相对控制试验的差异

Fig. 8 Mean 10 m wind difference from August 1st to 16th 2014, between experiment 2, 4-6 and control

知,当湿地全部位于保护区西南部时,研究区域风环境整体变化较小,湿地西南侧的风速有略微增加;而在敏感实验4~6都出现了较大面积的风速增加区域,同时可发现敏感实验5相比敏感实验4、6风速增加的区域更多。结合图8流场和图1a的地形分布可知,造成这一现象的原因可能是下垫面参数的改变产生了新风道。保护区北部刚好存在两座小山体相交构成的峡谷,当峡谷南侧的下垫面替换为摩擦系数较低的湿地时,有利于气流从此通过,进而在研究区域北部构成由南至北的新风道;而当湿地全部位于保护区西南部时,由于同峡谷位置错开,新风道未能产生,因此对局地风环境影响较小。对比图8b~图8d可知,保护区北部的湿地面积越大则新风道影响范围也越大;而若在保护区南部也布置一定面积的湿地(图8c,敏感实验5),则原有风道的通风效果也会得到加强,从而对整个区域的通风环境都能有较好改善。

分析可知,湿地在保护区北部或分南北两部分布置都有明显的降温效果并减缓夜间城市热岛效应,且敏感试验5表现略优于敏感试验4和6。10 m风场的分析表明,当保护区北部存在湿地时有利于形成新的风道,其中敏感试验5对当地通风环境改善效果最好。通风环境改变后将改善局地空气扩散能力,并与地形相互作用引发局地次级环流,进而对温度、湿度造成影响。这说明进行湿地规划时,当地风环境应当作为重要参考。

## 2.2 湿地面积和位置的局地舒适度调整分析

为更加直观地表现湿地对当地舒适性的影响,以白天及夜间2 m通用热气候指标(UTCI)<sup>[21]</sup>来做进一步分析。UTCI是由世界气象组织倡导下,多名科学家共同建立的舒适度指数模型,它通过结合气温、风速、相对湿度、辐射温度、天空云量等变量计算得到,是研究人体舒适度的常用指数<sup>[22-23]</sup>。这里采用该项目官网(<http://www.utci.org/>)给出的六次多项式方法做近似计算。常用的UTCI舒适度对应等级见表1<sup>[24]</sup>。

图9所示为控制试验与敏感试验1~5白天、夜间UTCI空间分布(敏感实验6与敏感实验5差异较小,因而省略)。从整体来看,可发现在白天时段所有试验研究区域均属强热应力(UTCI数值大于32);而夜间所有试验研究区域均属温和热应力(UTCI数值介于26~32之间)。但可知在白天时段,无湿地时(图9a)研究区域强热应力区数值更高,甚至有数值接近超强热应力的区域;敏感试验1(图9b)因湿地面积较小,对当地舒适度调整并不明显;而敏感试验2~5(图9c~图9f)对当地舒适性调整较好,高UTCI数值面积明显减少;另外还可发现其他试验位于研究区域东北部的UTCI高值区,在敏感试验4、5中都已得到改善。

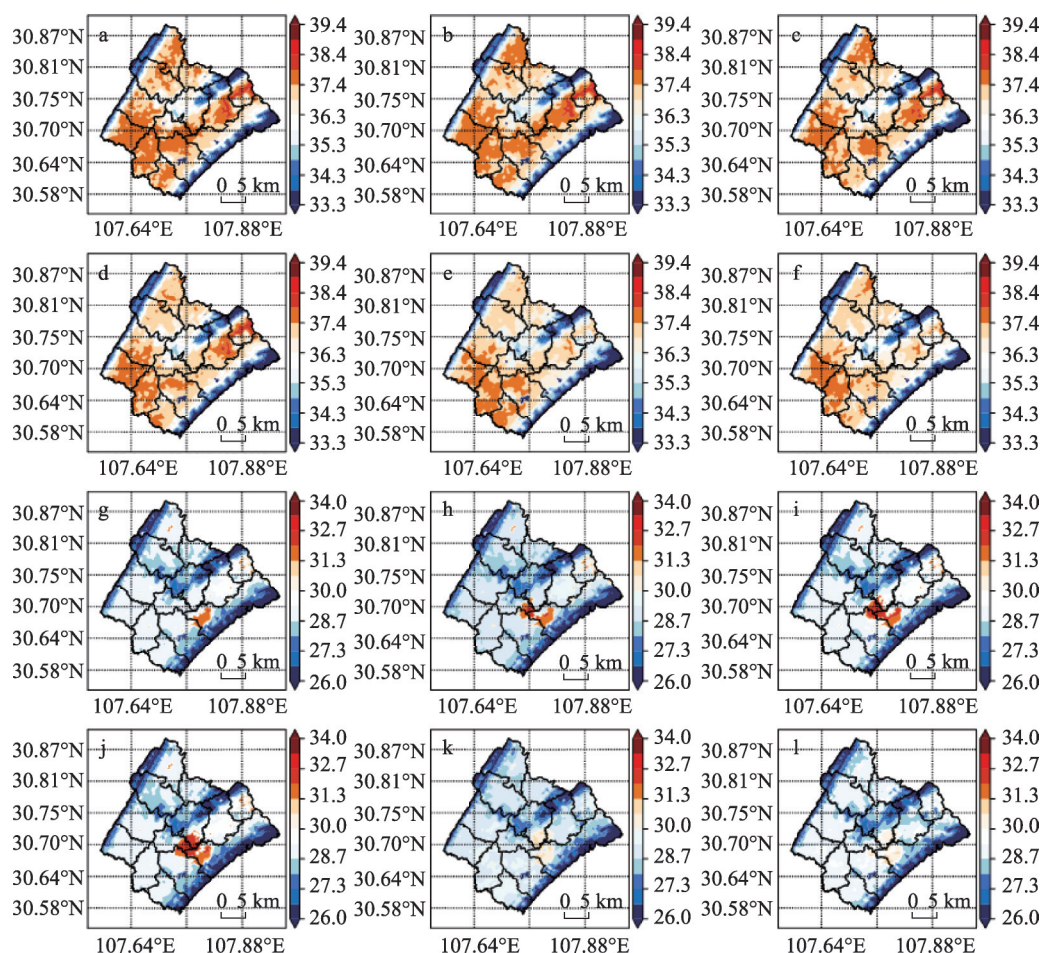
从研究区域夜间的舒适度(图9g~图9l)来看,可知各组试验结果的主要区别在城市区域。由于城市热岛效应,控制试验中城区位置UTCI数值较高,人体热舒适度相对较低;敏感试验1~3(图9h~图9i)则由于湿地位置问题,未能对城区的舒适度做出明显调整;而不管是湿地都放置在北部还是分两部分放置(敏感试验4、5,图9k、图9l),都能明显提高城镇夜间的人体

表1 UTCI数值与对应热应力等级

Table 1 Relation between UTCI value and heat stress level

UTCI数值	热应力等级
< -40	极端冷应力
-40~-27	非常强的冷应力
-27~-13	强冷应力
-13~0	温和冷应力
0~9	微小冷应力
9~26	无热应力
26~32	温和热应力
32~38	强热应力
38~46	非常强的热应力
> 46	极端热应力





注: 图a~图f分别代表控制试验和敏感试验1~5在白天的UTCI; 图g~图l则代表各试验组夜间的UTCI; 其中填色代表UTCI数值。

图9 各试验UTCI空间分布

Fig. 9 Mean UTCI of control and sensitive experiments

热舒适度。值得注意的是, 对比图9h~图9l可知, 适宜的湿地位置不仅能提高其对局地气候舒适性的调整, 还能较好地改善湿地公园本身的舒适度, 这与新风道的形成可能存在一定关系。

由于各方案的UTCI数值都较为接近, 因此难以计算各舒适度等级面积。为进行定量对比, 图10显示了采用Z-score标准化<sup>[25]</sup>后的控制试验及敏感试验1~5城市区域及全部研究区域白天、夜间UTCI平均值。经过Z-score标准化处理后的数据可代表其相对样本整体状态的偏差程度。由于各试验的平均值都高于最佳UTCI数值范围(9~26), 因此可认为负偏差越高则表明越接近最佳舒适度。从图10能明显看出, 城市区域的白天、夜间以及全部研究区域的白天, 控制试验与敏感试验1~3的UTCI平均值皆表现为正向偏差, 而敏感试验4、5都比控制试验更加接近最佳舒适度, 且敏感试验5表现略优。然而对整个区域的夜间平均UTCI来说, 敏感试验4、5数值较高, 敏感试验1和3相比其他方案则更接近最佳舒适度。通过对比图9g~图9l可知, 这是由于敏感试验4、5中整个研究区域内



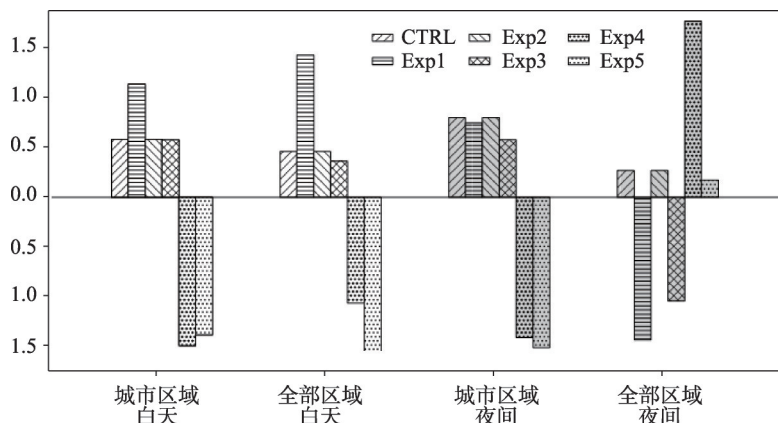


图10 控制试验和敏感试验1~5城市及全部区域的平均UTCI归一化数值

Fig. 10 Regularized mean UTCI of control and sensitive experiment 1~5 at urban region and whole simulation area

UTCI低值区域面积相比其他试验较少, 所以导致其UTCI平均值更高。但由于夜间人类的主要活动区域位于城市, 因此并不会影响当地居民的实际舒适度感受。

综上所述, 将湿地位置移至保护区的北部, 或将湿地分为两个部分分别放置在保护区的西南、东北且东北部面积较大, 都能有效地提高当地的人体舒适度, 且当湿地分为两部分布局时改善效果略优于全部放置在东北部。结合规划部门的第一期工程计划并综合各种因素, 建议将敏感试验5的布局作为参考规划方案, 如此就能同时满足工程规划和当地的气候舒适性调整需求。另外也对将10 km<sup>2</sup>面积的湿地分为两部分放置或全部放置在保护区北部进行了模拟试验, 发现其对气候环境的调整远不如15 km<sup>2</sup>的湿地, 这说明一定面积大小的湿地是必须的。

### 3 结论

本文利用WRF模式下垫面敏感性试验对重庆梁平区农田生态湿地公园不同规划对当地的气候舒适性的调整进行分析。通过在保护区范围内增加湿地下垫面, 对比分析不同湿地面积和位置分布对局地气象环境及舒适度的影响, 主要得出以下几点结论:

(1) 湿地面积敏感性试验表明, 10 km<sup>2</sup>面积的湿地对局地温度、湿度影响较小; 当湿地面积为15 km<sup>2</sup>和20 km<sup>2</sup>时, 能较为明显地对研究区域起到降温、增湿的作用。但由于梁平地区主导风向和复杂地形共同作用, 使得湿地的气候调节能力受到限制。

(2) 湿地位置敏感性试验表明, 相比将湿地全部放置在保护区西南角, 将湿地分为西南、东北两部分或者全部放置在保护区东北部, 有利于当地形成新的风道, 增强模拟区域的通风能力, 并进而对温度、湿度做出更好调整。这说明区域风环境对湿地布局的规划具有重要意义。相比其他方案, 当湿地分为两部分、且东北部面积较大时改善效果更为明显。

(3) 通过计算并对比各试验方案的通用热气候指标, 发现无论湿地全部放置在保护区东北部还是分为南北两部分, 都能较好地改善当地气候舒适性, 尤其对于夜间城镇区域的热舒适度能起到很好的调节作用, 且当湿地分为两部分时调节效果略优。

综合以上试验结果, 并考虑到规划部门初期设计和人力物力等方面的因素, 认为应

该在保护区东北和西南两个部位分别修建湿地公园,总面积约为15 km<sup>2</sup>,且位于东北部位的湿地面积应较大。这样既能满足工程规划需求,又能较好地提高当地的气候舒适性。

本文利用数值模式对湿地公园的局地气候舒适性影响进行了探索,但依然存在很多有待解决及改进的问题。WRF模式作为一个天气尺度模式,并不完全适用于局地高分辨率数值模拟;湿地与局地小气候之间的复杂动力、热力作用还有待进一步探索;同时,在公园建成后,还应采集真实的气象资料从而实现数值模拟结果的验证。

### 参考文献(References):

- [1] 雷昆,张明祥. 中国的湿地资源及其保护建议. 湿地科学, 2005, 3(2): 81-86. [LEI K, ZHANG M X. The wetland resources in China and the conservation advices. Wetland Science, 2005, 3(2): 81-86.]
- [2] 中华人民共和国建设部城市湿地公园规划设计导则(试行). 2005-06-24. <https://wenku.baidu.com/view/901aba0f4a7302768e9939ea.html>. [Guidelines for urban wetland park planning and design by Ministry of Construction, PRC. 2005-06-24.]
- [3] 崔丽娟,康晓明,赵欣胜,等. 北京典型城市湿地小气候效应时空变化特征. 生态学杂志, 2015, 34(1): 212-218. [CUI L J, KANG X M, ZHAO X S, et al. Spatiotemporal variation in the microclimate effects of typical urban wetland in Beijing. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(1): 212-218.]
- [4] 张庆辉,赵捷,朱晋,等. 中国城市湿地公园研究现状. 湿地科学, 2013, 11(1): 129-135. [ZHANG Q H, ZHAO J, ZHU J, et al. Current status of studies on urban wetland park in China. Wetland Science, 2013, 11(1): 129-135.]
- [5] JIA H F, MA H T, WEI M J. Urban wetland planning: A case study in the Beijing central region. Ecological Complexity, 2011, 8(2): 213-221.
- [6] HORWITZ P, FINLAYSON M, WEINSTEIN P. Healthy wetlands, healthy people: A review of wetlands and human health interactions. Ramsar Technical Report No. 6. Secretariat of the Ramsar Convention on Wetlands, Gland, Switzerland, & The World Health Organization, Geneva, Switzerland. 2012.
- [7] HORWITZ P, FINLAYSON C M. Wetlands as settings for human health: Incorporating ecosystem services and health impact assessment into water resource management. Bioscience, 2011, 61(9): 678-688.
- [8] 曹伟宏,王淑新. 京津冀地区城市人居环境气候舒适性评价. 冰川冻土, 2017, 39(2): 435-442. [CAO W H, WANG S X. Evaluation of climate suitability for urban human settlement in Beijing-Tianjin-Hebei region. Journal of Glaciology & Geocryology, 2017, 39(2): 435-442.]
- [9] 金虹,王博. 城市微气候及热舒适性评价研究综述. 建筑科学, 2017, 33(8): 1-8. [JIN H, WANG B. A review of evaluation studies on urban micro-climate and thermal comfort. Building Science, 2017, 33(8): 1-8.]
- [10] 马丽君,孙根年,王洁洁. 中国东部沿海城市旅游气候舒适度评价. 地理科学进展, 2009, 28(5): 713-722. [MA L J, SUN G N, WANG J J. Evaluation of tourism climate comfortableness of coastal cities in the Eastern China. Progress in Geography, 2009, 28(5): 713-722.]
- [11] 任学慧,李颖,王健. 近60 a北方沿海城市人居环境气候舒适性评价: 以辽宁省为例. 自然资源学报, 2013, 28(5): 811-821. [REN X H, LI Y, WANG J. Evaluation of climate comfortability for human settlement environment in northern coastal cities in recent 60 years: Taking Liaoning as a case. Journal of Natural Resources, 2013, 28(5): 811-821.]
- [12] 那守海,张彦彦,肖小英. 骆驼峰森林公园旅游气候资源适宜性评价. 森林工程, 2009, 25(3): 34-38. [NA S H, ZHANG Y Y, XIAO X Y. Evaluation on suitability of the tourist climate resource of Luotoufeng Peak Forest Park. Forest Engineering, 2009, 25(3): 34-38.]
- [13] CHEN F, KUSAKA H, BORNSTEIN R, et al. The integrated WRF/urban modelling system: Development, evaluation, and applications to urban environmental problems. International Journal of Climatology, 2011, 31(2): 273-288.
- [14] FANG X, JIANG W, MIAO S, et al. The multi-scale numerical modeling system for research on the relationship between urban planning and meteorological environment. Advances in Atmospheric Sciences, 2004, 21(1): 103-112.
- [15] 秦文翠,胡聃,李元征,等. 基于ENVI-met的北京典型住宅区微气候数值模拟分析. 气象与环境学报, 2015, 31(3): 56-62. [QIN W C, HU D, LI Y Z, et al. Numerical simulation of microclimate in Beijing typical residential area based

- on ENVI-met model. *Journal of Meteorology & Environment*, 2015, 31(3): 56-62.]
- [16] 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. *应用气象学报*, 2005, 16(3): 357-366. [TONG H, LIU H Z, LI Y M, et al. Actuality of summer urban heat island and the impact of urban planning "wedge shaped greenland" to reducing the intensity of urban heat island in Beijing. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2005, 16(3): 357-366.]
- [17] ZHOU Y, SHI T M, HU Y M, et al. Urban green space planning based on computational fluid dynamics model and landscape ecology principle: A case study of Liaoyang city, Northeast China. *Chinese Geographical Science*, 2011, 21(4): 465.
- [18] 苗世光, 王晓云, 蒋维楣, 等. 城市规划中绿地布局对气象环境的影响: 以成都城市绿地规划方案为例. *城市规划*, 2013, 37(6): 41-46. [MIAO S G, WANG X Y, JIANG W M, et al. Impact on atmospheric environment by green space layout in urban planning: A case study on green space planning of Chengdu. *City Planning Review*, 2013, 37(6): 41-46.]
- [19] 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. *南方建筑*, 2014, (3): 10-16. [FENG X H, GAO K C, ZHONG S X. A study on the local climate effects of green space layout based on the numerical simulation of GRAPES: Case of Guangzhou. *South Architecture*, 2014, (3): 10-16.]
- [20] WANG W, BEEZLEY C, DUDA M. WRF ARW V3: User's Guide. URL: <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users> (accessed: 11.01.2013), 2012.
- [21] 闫业超, 岳书平, 刘学华, 等. 国内外气候舒适度评价研究进展. *地球科学进展*, 2013, 28(10): 1119-1125. [YAN Y C, YUE S P, LIU X H, et al. Advances in assessment of bioclimatic comfort conditions at home and abroad. *Advances in Earth Science*, 2013, 28(10): 1119-1125.]
- [22] 郑有飞, 尹继福, 吴荣军, 等. 热气候指数在人体舒适度预报中的适用性. *应用气象学报*, 2010, 21(6): 709-715. [ZHENG Y F, YIN J F, WU R J, et al. Applicability of universal thermal climate index to thermal comfort forecast. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2010, 21(6): 709-715.]
- [23] JENDRITZKY G, DEAR R D, HAVENITH G. UTCI: Why another thermal index?. *International Journal of Biometeorology*, 2012, 56(3): 421-428.
- [24] LAI D Y, GUO D H, HOU Y F, et al. Studies of outdoor thermal comfort in Northern China. *Building & Environment*, 2014, 77(3): 110-118.
- [25] ALTMAN E I. Financial ratios, discriminant analysis and the prediction of corporate bankruptcy. *The Journal of Finance*, 1968, 23(4): 589-609.



## Numerical experiments on the impact of wetland park on regional climatic comfort

ZHU Hao-nan, LIU Xiao-ran, SUN Jia, WANG Yin, LIAO Dai-qiang, ZHOU Jie

(Chongqing Climate Center, Chongqing 401147, China)

**Abstract:** To explore the impact of wetland park on regional climatic comfort, numerical simulation sensitive experiments of wetland area and position have been conducted on wetland park planning in Liangping, Chongqing, using Weather Research and Forecasting Model (WRF). Based on local dominant wind direction and actual project requirements, sensitive experiments in the conditions of no wetland, and wetland area of 10 km<sup>2</sup>, 15 km<sup>2</sup> and 20 km<sup>2</sup> have been designed respectively. By comparing the mean 2 m temperature and 2 m moisture of different experiments, the wetland park with an area of 15 km<sup>2</sup> and 20 km<sup>2</sup> has a better cooling effect on the study region. And then, experiments with different spatial patterns of wetland, namely, by putting wetland in the southwest and northeast of protection area respectively, and also the experiment of dividing wetland into two parts, placed in SW and NE separately, have been tested. By calculating and comparing a 10 m wind field, 2 m temperature and 2 m universal thermal climate index, the results showed that the wetland park can bring a preferable local climate comfort when its area is around 15 km<sup>2</sup> and it can be divided into two parts with a larger NE part, which may be the result of the generation of a new ventilation corridor. This also means that the status of local wind environment should be an important reference for wetland park planning.

**Keywords:** numerical simulation; wetland; planning; climatic comfort