



白洋淀流域未来日最高最低气温变化的统计降尺度分析

摘要

大气环流模型(GCMs)预测的气候变化情景空间分辨率低,不能满足气候变化对水资源影响进行评估的需要.利用统计降尺度模型可以解决GCMs预测的气候变化情景空间分辨率低的缺陷.在白洋淀流域应用统计降尺度模型(SDSM),选取日平均气温作为预报量,根据NCEP再分析数据与站点实测数据序列的相关关系选择合适的预报因子,建立大气环流因子与各站点日最高气温和最低气温之间的统计关系.将数据序列分为1961—1975年和1976—1990年两个时段,对SDSM进行率定和验证.最后将HadCM3输出的未来情景降尺度到站点尺度,模拟白洋淀流域未来时期三个时段2020s(2010—2039年)、2050s(2040—2069年)和2080s(2070—2099年)的日最高气温和最低气温时间序列.结果表明:SDSM在白洋淀流域的模拟效果较好.白洋淀流域日最高气温和最低气温在A2和B2两种情景下均呈现上升趋势,且A2情景下的增幅高于B2情景,山区的增幅高于平原,日最高气温的增幅大于日最低气温.

关键词

气候变化;白洋淀流域;统计降尺度;日最高气温;日最低气温

中图分类号 P467

文献标志码 A

收稿日期 2015-11-27

资助项目 国家自然科学基金青年基金(41501029);南京信息工程大学人才启动经费

作者简介

王洁,男,博士,讲师,主要从事水文气象学研究.wangjie0775@163.com

1 南京信息工程大学 水文气象学院,南京,210044

2 中国矿业大学 孙越崎学院,徐州,221116

3 国网电力科学研究院,南京,210006

0 引言

气候变化是当今国际社会普遍关注的全球性问题,不仅影响人类社会经济生活,同时也影响水文水循环和生态系统.全球气候变化对区域水文水资源的影响问题已经引起了全世界广泛的关注^[1-4].全球气候变暖将加剧水文循环过程,驱动降水、蒸发量等水文要素的变化,增大水文极端事件发生的概率,改变流域水量平衡,影响流域水资源分布^[5].因此,为应对极端气候变化对流域自然因素和社会因素带来的一系列挑战,定性定量地研究流域未来最高最低气温变化趋势具有重要意义.

白洋淀流域属于海河流域,其水资源状况直接影响着流域内经济、社会以及生态环境的可持续发展.但是,近年来,受人类活动和气候变化的影响,白洋淀水文特征已发生明显的变化,主要表现在入淀水量减少、水位降低、蒸发量增加等.资料显示,白洋淀在1952—2002年的51年中,实际入淀水量呈减少趋势,共有20年出现干涸现象^[6].近年来,对于海河流域气候变化趋势已经开展了许多研究,但是针对白洋淀流域气候变化的研究甚少.2007年,刘春兰等^[7]以白洋淀为研究对象,分析了白洋淀过去40年气候、水文与生态系统发展变化过程及湿地生态与影响因子之间的相关关系,探寻气候变化对白洋淀湿地的影响,指出气候变化在白洋淀湿地退化中起决定性作用,但并未定量研究白洋淀流域未来气候变化趋势.因此,本文拟采用统计降尺度模型(Statistical Downscaling Model,SDSM),通过建立大气环流因子(如气温、平均海平面气压等)与站点气温数据序列之间的统计关系,将大气环流模式(GCM)输出的未来气候情景降尺度到白洋淀流域的各气象站点,生成各站点未来最高最低气温序列,进而分析白洋淀流域未来气温变化规律.

1 研究区概况

白洋淀流域位于海河流域中部,地跨晋、冀、京三省市,流域面积约3万km²,位于113°39'~116°20'E,38°23'~40°09'N之间.如图1所示,流域包括大清河山区和淀西平原两部分,其中山区面积16536km²,占53%,平原面积14700km²,占47%^[8].流域上游支流发源于西部太行

山脉,主要为潞龙河、孝义河、唐河、府河、漕河、瀑河、萍河、拒马河、清水河等 9 条主要河流,自西向东,由南至北构成扇形河网,汇流一处,形成白洋淀。目前入淀 9 条河流中仅拒马河、府河常年有水入淀,漕河、孝义河、瀑河仅在部分季节有水,其余河流长期断流。

白洋淀流域属暖温带季风型大陆性半湿润半干旱气候,全年四季分明。流域气温空间差异大,自西北向东南递增,平原区年平均气温 12.7℃,山区 7.4℃。流域多年平均降水量 563.9 mm,受季风气候影响,降水年内分配不均,80%的降水量集中在 7—9 月。受地形的影响,流域内年平均降水量空间差异较大,其中太行山迎风坡前降雨较大,平原和背风坡较小,不同地区年降水量最大值是最小值的 3 倍^[8-9]。

2 数据资料与研究方法

2.1 数据来源

本研究所需要的数据包括:

1) 站点实测数据:本文选取白洋淀流域及其周边保定、蔚县等 7 个气象站 1961—1990 年的日最高气温和最低气温数据。其中西北山区 2 个,平原区 5 个,所选站点有一定代表性。数据来自于中国气象科学数据共享服务网。在计算之前,对数据进行了一致

性、完整性和极值检验,质量良好。各气象站点在流域中的分布如图 1 所示。

2) NCEP (National Center for Environmental Prediction) 再分析数据:包括覆盖在白洋淀流域且有实测站点 2 个网格的数据序列,序列年限为 1961—2001 年,其中包含了 26 个大气环流因子(包括地表、500 和 850 hPa 高度场的气压和比湿等)。为了统一数据格式,NCEP 数据被转换成了符合英国气象局 Hadley Centre 海气耦合气候模式(HadCM3)输出数据的格式,即网格大小由 1.875°×1.875° 转换为 2.5°×3.75°。

3) GCM 数据:英国气象局 Hadley Centre 海气耦合气候模式(HadCM3)数据,包括 A2 和 B2 两种气候情景,序列年限为 1961—2099 年,包含的网格和预报因子与 NCEP 相同,网格大小为 2.5°×3.75°。

2.2 研究方法

目前,应用最为广泛的降尺度方法主要有动力降尺度^[10-11]和统计降尺度^[12-13] 2 种。前者的主要优势在于它可以模拟小范围内的大气特征(如地形雨等),考虑陆地生态环境或大气化学变化等。但是,动力降尺度需要高配置的计算机,计算代价较大。统计降尺度方法较为简单,计算方便,且以历史资料为依据,较为可靠,因此,本文选择了能取得较好结果并

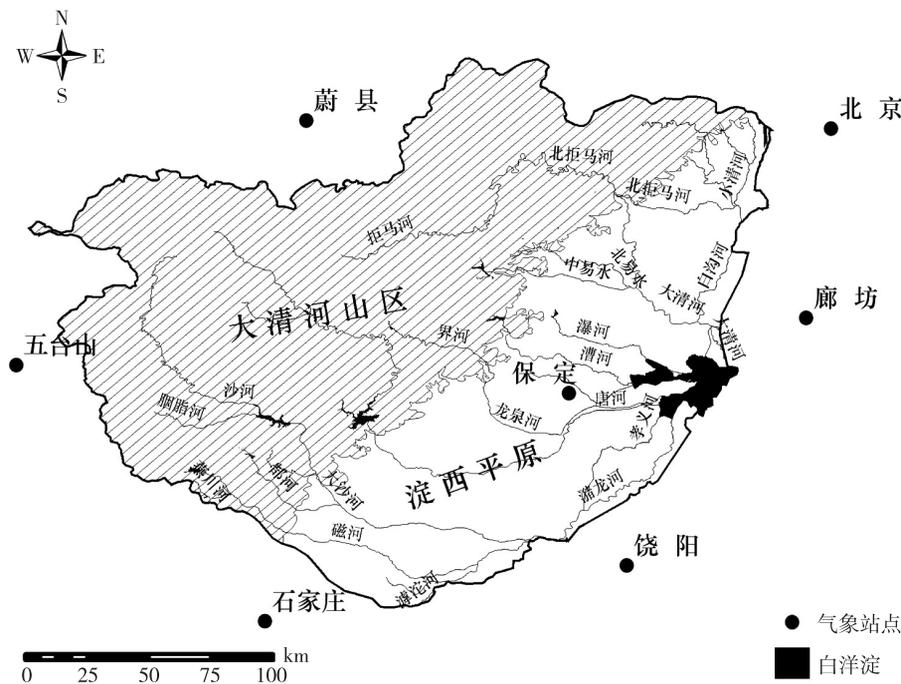


图 1 白洋淀流域气象站点分布
Fig. 1 Location of meteorological stations in the Baiyangdian Lake basin

省时可靠的统计降尺度方法。

SDSM 是一个综合了天气发生器和多元回归两种方法的统计降尺度模型^[14],它主要包括两个方面的内容:其一是建立预报量(小尺度或站点气象数据序列)与预报因子(大气环流因子)之间的统计关系,以确定模型;其二是根据确定好的模型,生成小尺度或站点气候要素的未来日序列。其核心是建立预报量和预报因子之间的关系^[15]。

预报量主要根据研究目的以及站点资料来选择,而预报因子的选择需要遵循以下原则:

- 1) 与预报量有比较明确的物理意义上的联系;
- 2) 与预报量之间有较强的相关性和一致性;
- 3) 必须是实测数据和 GCM 输出数据中都有的因子;
- 4) 必须是 GCMs 能够准确模拟的因子^[15]。

确定预报因子后,SDSM 根据选定的一组预报因子与预报量,建立它们之间的统计关系,确定多元回归方程的参数,即对模型进行率定,SDSM 中的多元回归方程是通过有效对偶单纯形法建立的。模型确定后,即可应用 GCMs 输出的未来气候情景,模拟小尺度或站点气候要素的未来日序列,并与气候要素的基准期数据序列比较,分析区域气候要素未来的变化趋势。

3 SDSM 在白洋淀流域的应用

3.1 预报量与预报因子的选择

本研究选择白洋淀流域作为研究区域生成未来气候变化情景。选择的气候变量必须是可预测的,而且是受大尺度气候状况控制的,同时必须确保该气候变量在研究区域有足够的观测资料用于建立统计降尺度模式。本研究选取日最高气温和最低气温作为预报量。

本文根据预报因子选择原则,从 NCEP 再分析数据中的 26 个因子(1961—1990 年)中,通过季节相关分析、偏相关分析和散点图结果来选择预报因子。最终选择的预报因子有 2 m 高度的平均气温(temp)和平均海平面气压(mslp)、500 hPa 位势高度场(p500)、地表相对比湿(rhum)等,各站点的预报因子均在 5 个左右,7 个站点的相关系数均达到 80%以上,与气温具有很强的相关性。

3.2 模型率定及验证

本文在应用 SDSM 时,根据国际上 WMO 推荐的方法,选用 1961—1990 年作为基准期,并分为率定

期和验证期两个时间段,率定期定为 1961—1975 年,验证期为 1976—1990 年,分别用于模型率定和验证。

模型率定过程中,SDSM 给出的统计特征值是模型的解释方差(r^2)和标准误差(E_s)。模型的解释方差表示预报量与预报因子之间的相关性大小,而标准误差则反映预报量对预报因子的敏感性。表 1 列出了在模型率定期各站点日最高最低气温的解释方差和标准误差。分析可知,模型率定期区域环流因子可以很好解释日最高最低气温的方差,其中山区站点的解释方差高于平原地区。对于最高气温,7 个站点的解释方差均在 60%以上,其中五台山最高达 77.6%;相对于最高气温,最低气温的解释方差稍低,但是解释方差仍均在 50%以上,其中五台山最高达 79.8%。另外,由模型的标准误差可知,无论最高气温还是最低气温,各站点的标准误差大都在 3.1℃以下,蔚县最高达 3.121℃,五台山最低为 1.973℃。由此可以看出,SDSM 模型能够很好地模拟白洋淀流域日最高最低气温。

表 1 SDSM 模型率定的解释方差(r^2)和标准误差(E_s)
Table 1 Explained variance (r^2) and standard error (E_s) during calibration period (1960–1975) at 7 stations

站点	最高气温		最低气温		
	r^2	E_s	r^2	E_s	
北京	0.623	2.32	0.507	2.378	
廊坊	0.627	2.525	0.529	2.501	
平原	石家庄	0.635	2.565	0.512	2.584
	保定	0.641	2.395	0.504	2.347
	饶阳	0.653	2.397	0.512	2.567
山区	蔚县	0.736	2.301	0.538	3.121
	五台山	0.776	1.973	0.798	2.001

本文用 1976—1990 年的数据进行模型验证,对各个站点最高气温和最低气温的模拟序列和实测序列进行比较,计算其相关系数(r)和纳什效率(Nash-Sutcliffe)系数(E_{ns}),结果如表 2 所示。据此分析可知,SDSM 模型对各个站点的日最高最低气温的模拟效果都很好,山区和平原的相关系数均大于 0.94, Nash-Sutcliffe 效率系数也均在 0.9 以上。从不同地区来看,山区的模拟效果略优于平原地区。另外,根据各站点的面积权重,分别计算山区和平原的最高最低气温的月平均时间序列,如图 2,模拟和实测的流域日平均最高最低气温吻合程度很高。因此,SDSM 模型的模拟精度满足模拟要求,该模型可以用

于模拟白洋淀流域未来的气候变化.

表 2 各站点模型验证期(1976—1990)气温的相关系数(r)和纳什效率系数(E_{ns})

Table 1 Assessment on statistic characters of the simulated daily maximum and minimum temperatures during validation period (1976—1990) at 7 stations

站点	最高气温		最低气温		
	r	E_{ns}	r	E_{ns}	
北京	0.956	0.908	0.953	0.945	
廊坊	0.952	0.905	0.966	0.963	
平原	石家庄	0.943	0.901	0.942	0.933
	保定	0.957	0.904	0.954	0.943
	饶阳	0.954	0.903	0.948	0.943
山区	蔚县	0.965	0.933	0.940	0.957
	五台山	0.964	0.980	0.966	0.988

总之,从模型率定期和验证期的各个统计变量来看,SDSM 模型在模拟白洋淀流域最高最低气温时有很好的表现,同样也说明由此生成的未来气候情

景是比较可靠的.

3.3 白洋淀流域未来气温变化

应用确定的 SDSM 模型,将 HadCM3 数据输入模型,分别生成 A2、B2 情景下白洋淀流域各个气象站点的未来日最高气温和最低气温序列.考虑到流域的实际地形情况,将流域分为山区和平原两部分,根据各站点的面积权重,分别计算流域未来日平均气温序列.

在进行未来气候情景分析时,国际上普遍使用 WMO 推荐的方法,选用 1961—1990 年为基准期,同时将未来时段分为 2020s (2010—2039 年)、2050s (2040—2069 年) 和 2080s (2070—2099 年) 三个时期进行研究^[16-17].生成白洋淀流域未来时期日气温序列,并与 1961—1990 年基准期的气温对比,得到未来时期不同时段气温变化情景,从而分析未来气温的变化趋势.本文分别对白洋淀流域未来平均气温的年、季和月的变化情况进行分析,其中年和季节变化分别如表 3、表 4 所示,月变化情景如图 3 所示.

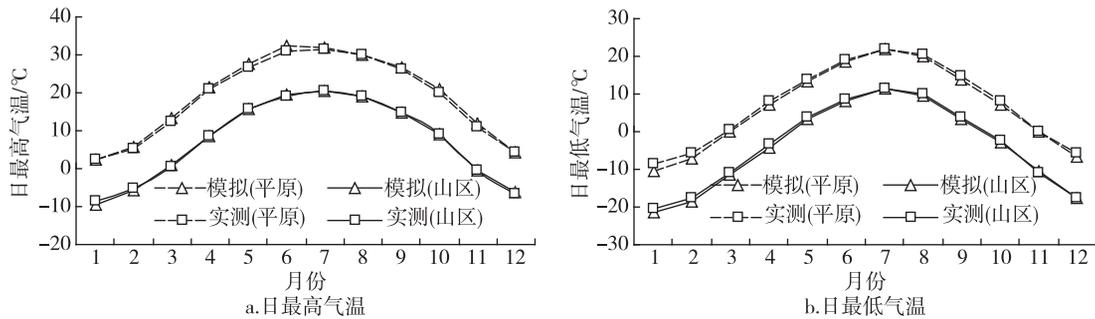


图 2 实测和模拟的日最高气温和最低气温年内分布(验证期)

Fig. 2 Monthly distribution for modeled and observed daily T_{max} , T_{min}

表 3 白洋淀流域未来年和季节最高气温变化

Table 3 Changes of annual and seasonal maximum air temperature compared with that during 1961—1990 in the Baiyangdian Basin in the future

时期	地形	日最高气温/°C	A2 情景下增温幅度/°C			B2 情景下增温幅度/°C		
		基准期	2020s	2050s	2080s	2020s	2050s	2080s
冬季	平原	5.90	0.12	0.98	1.38	0.18	0.53	1.30
	山区	-7.05	1.19	3.07	4.84	1.23	2.33	3.27
春季	平原	19.43	0.86	1.88	3.24	0.89	1.17	2.09
	山区	7.37	1.32	2.97	4.81	1.39	2.19	3.40
夏季	平原	31.33	1.85	2.63	4.77	1.68	2.39	3.65
	山区	20.11	2.18	3.20	5.71	1.86	2.90	4.06
秋季	平原	19.34	1.17	1.95	3.49	1.21	1.77	2.47
	山区	7.86	1.85	3.22	5.59	1.93	2.97	4.21
年	平原	19.00	1.00	1.86	3.22	0.99	1.47	2.37
	山区	7.07	1.63	3.11	5.24	1.60	2.60	3.73

表 4 白洋淀流域未来年和季节最低气温变化

Table 4 Changes of annual and seasonal minimum air temperature compared with that during 1961–1990 in the Baiyangdian Basin in the future

时期	地形	日最高气温/℃	A2 情景下增温幅度/℃			B2 情景下增温幅度/℃		
		基准期	2020s	2050s	2080s	2020s	2050s	2080s
冬季	平原	-8.90	0.18	1.24	1.88	0.53	1.09	1.62
	山区	-19.81	1.00	2.33	3.83	1.04	1.90	2.49
春季	平原	7.07	0.50	1.58	2.55	0.82	1.23	1.94
	山区	-4.17	0.98	2.79	4.38	1.29	2.28	3.47
夏季	平原	20.42	1.28	2.47	4.41	1.45	2.35	3.18
	山区	10.20	1.51	2.80	5.06	1.53	2.63	3.52
秋季	平原	6.71	0.74	1.76	3.36	1.10	1.66	2.36
	山区	-3.54	1.39	2.72	4.72	1.56	2.44	3.56
年	平原	6.32	0.67	1.76	3.05	0.97	1.58	2.28
	山区	-4.33	1.22	2.66	4.50	1.35	2.31	3.26

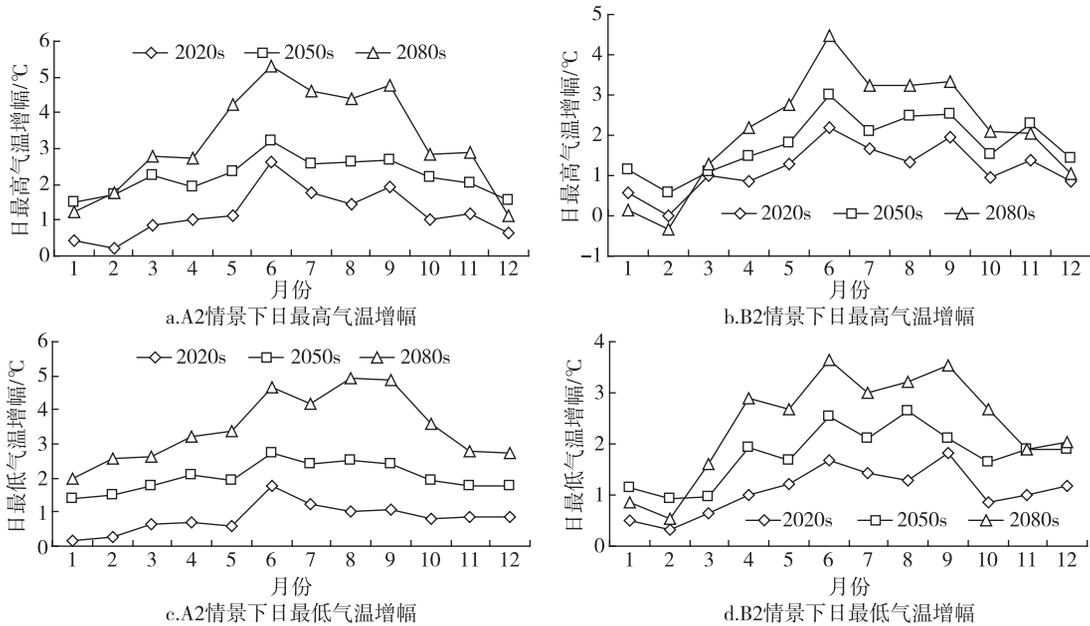


图 3 白洋淀流域未来月平均最高气温和最低气温变化

Fig. 3 Changes of monthly maximum and minimum air temperature in the Baiyangdian Basin in the future

由表 3、表 4 可以看出,在年尺度上,两种情景下的最高气温和最低气温都呈现出上升趋势,并且上升幅度越来越大,但未来日最低气温的增温速度略低于最高气温,这与张友妹等^[18]、郝立生等^[19]、肖嗣荣^[20]和王浩^[21]分析的气温上升结论相吻合.对于最高气温,A2 情景下,2020s、2050s 和 2080s 气温与基准期相比,平原区分别上升 1.00℃、1.86℃和 3.22℃,山区分别上升 1.63℃、3.11℃和 5.24℃,而 B2 情景下,最高气温的增长速率低于 A2 情景.对于最低气温,A2 情景下,2020s、2050s 和 2080s 气温与基准期相比,平原区分别上升 0.67℃、1.76℃和 3.05℃,山区分别上升 1.22℃、2.66℃和 4.5℃,

同样,在 B2 情景下,最低气温的增长速率低于 A2 情景.根据丁一汇等^[22]的研究,到 2020 年,全国平均地表气温(相对于 1961—1990 年平均值)将增加 1.3~2.1℃,到 2050 年可能增加 2.3~3.3℃,而到 2100 年则可能增加 3.9~6.0℃.本文预测的白洋淀流域最高最低气温增长趋势与此基本保持一致,但 B2 情景下气温增幅略低于全国平均气温增幅.

在季节尺度上,与年变化趋势保持一致,两种情景下的四季都呈现出显著的增温趋势.对于未来最高气温和最低气温,B2 情景下的增长速率都略小于 A2 情景下的增长速率.四季增温趋势一致,但增幅不一致,夏季增幅最大,春秋次之,冬季最小,年气温

增幅与春秋两季气温增幅最接近。

白洋淀流域未来月平均最高气温和最低气温增幅变化显示(图3),各月气温增幅差异较大,大多数月份呈现增长趋势,年内变化趋势基本保持一致,只有B2情景下2月的最低气温在2080年出现了略微的减少趋势,但总体上呈上升趋势.从变化幅度上看,对于日最高气温,A2情景下的变化幅度比B2情景下要大,各月中变化幅度最大的是6月,变化幅度最小的出现在冬季的1月和2月;对于最低气温,A2情景下的变化幅度也比B2情景下要大,各月中变化幅度最大的出现在6月和9月,变化幅度最小的出现在冬季的1月和2月。

从山区和平原的角度来看,无论是年尺度、季节尺度,山区的气温增幅均大于平原区,这说明地形对流域未来气温变化有很重要的影响,具有一定的规律性.为了定量描述山区和平原增温速率的不同,本文分别生成了白洋淀流域山区和平原区未来2010—2099年的年最高气温和最低气温序列变化趋势图.从图4中同样可以看出,无论是山区还是平原区,无论是最高气温还是最低气温,两种情景下未来时期白洋淀流域气温都呈上升趋势,且A2情景下的增温趋势较B2情景更明显.但是平原和山区的增温速率不一致,对于最高气温,A2情景下的增温速率分别为0.37、0.61 °C/(10 a),B2情景下的增温速率分别为0.18、0.35 °C/(10 a);对于最低气温气温,A2情景下的增温速率分别为0.40、0.55 °C/(10 a),B2情

景下的增温速率分别为0.17、0.31 °C/(10 a),明显呈现为山区增温速率高于平原区。

从上面的分析可知,不论年尺度、季节尺度还是月尺度,不论A2情景还是B2情景,不论山区还是平原,白洋淀流域未来最高最低气温均呈现显著的上升趋势。

4 结论与讨论

根据白洋淀流域7个站点30年的实测最高气温和最低气温资料,对流域未来最高气温和最低气温进行了模拟分析,可以得到以下初步结论:

1) 基于NCEP再分析数据和实测气象数据,针对不同站点,确定了适合白洋淀流域的大气环流预报因子,应用最多的预报因子是平均海平面气压、500 hPa位势高度场和2 m高度的平均气温等.由SDSM率定和验证的结果来看,该模型对于白洋淀流域极端气温的模拟结果较好,可以很好地预测白洋淀流域未来的气温变化情景。

2) 利用SDSM生成的未来气候情景中,预测的最高气温和最低气温总体上呈上升趋势,仅有最低气温在2080s时期的2月出现了略微的减少趋势.但对于季节和月的变化情景又各不相同,对于日最高气温和日最低气温,均是夏季增温幅度最大,春秋次之,冬季最小;A2情景的气温增幅大于B2情景,与全国平均状况保持一致。

3) 从空间上看,白洋淀流域内山区和平原未来

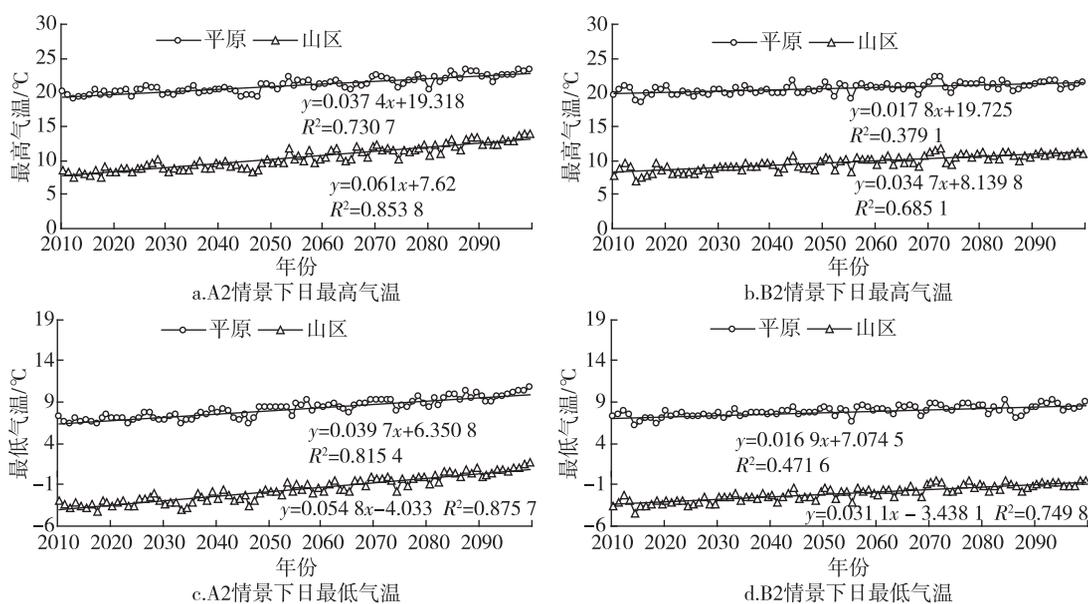


图4 A2和B2情景下流域未来年气温变化趋势

Fig. 4 Trend of annual air temperature under A2 or B2 scenario in future

增温幅度不同,山区明显高于平原.这说明地形对流域未来气温变化具有很重要的影响,有一定的规律性.

4) 白洋淀流域未来气温升高,将会加剧流域水文循环过程,驱动降雨量、蒸散发量等水文要素的变化,增大水文极端事件发生的概率,改变流域水量平衡,影响流域水资源分布.因此,全球气候变化情景下,白洋淀流域水文循环过程、水资源量的变化有待进一步研究.

参考文献

References

- [1] Nearing M A. Potential changes in rainfall erosivity in the United States with climate change during the 21st century [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 56 (3): 229-232
- [2] Menzel L, Bürger G. Climate change scenario sand runoff response in the Mulde catchment (Southern Elbe, Germany) [J]. *Journal of Hydrology*, 2002, 267(1/2): 53-64
- [3] Muzik I. A first-order analysis of the climate change effect on the flood frequencies in a subalpine Watershed by means of a hydrological rainfall-runoff model [J]. *Journal of Hydrology*, 2002, 267(1/2): 65-73
- [4] Pruski F F, Nearing M A. Runoff and soil loss responses to changes in precipitation: A computer simulation study [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 57 (1): 7-15
- [5] 张建云, 王国庆. 气候变化对水文水资源影响研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2007
ZHANG Jianyun, WANG Guoqing. Impact of climate change on water resources [M]. Beijing: Science Press, 2007
- [6] 李英华, 崔保山, 杨志峰. 白洋淀水文特征变化对湿地生态环境的影响 [J]. *自然资源学报*, 2004, 19(1): 62-68
LI Yinghua, CUI Baoshan, YANG Zhifeng. Influence of hydrological characteristic change of Baiyangdian on the ecological environment in wetland [J]. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(1): 62-68
- [7] 刘春兰, 谢高地, 肖玉. 气候变化对白洋淀湿地的影响 [J]. *长江流域资源与环境*, 2007, 16(2): 245-250
LIU Cunlan, XIE Gaodi, XIAO Yu. Impact of climatic change on Baiyangdian wetland [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2007, 16(2): 245-250
- [8] 宋中海. 白洋淀流域水文特性分析 [J]. *河北水利*, 2005(9): 10-11
SONG Zhonghai. Hydrologic characteristics analysis of Baiyangdian [J]. *Hebei Water Resources*, 2005(9): 10-11
- [9] 崔秀丽, 候玉卿, 王军. 白洋淀生态演变的原因、趋势与保护对策 [J]. *保定师专学报*, 1999, 12(2): 86-89
CUI Xiuli, HOU Yuqing, WANG Jun. The opinion on the ecological environment protection of Baiyangdian lake [J]. *Journal of Baoding Teachers College*, 1999, 12(2): 86-89
- [10] Giorgi F, Mearns L O. Approaches to the simulation of regional climate change: A review [J]. *Reviews of Geophysics*, 1991, 29(2): 191-216
- [11] Jones R G, Murphy J M, Noguer M, et al. Simulation of climate change over Europe using a nested regional-climate model I: Assessment of control climate, including sensitivity to location of lateral boundaries [J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1995, 121 (526): 1413-1449
- [12] Wilby R L. Simulation of precipitation by weather pattern and frontal analysis [J]. *Journal of Hydrology*, 1995, 173 (1): 91-109
- [13] Hewitson B C, Crane R G. Climate downscaling techniques and applications [J]. *Climate Research*, 1996, 7(2): 85-95
- [14] Wilby R L, Tomlinson O J, Dawson C W. Multi-site simulation of precipitation by conditional resampling [J]. *Climate Research*, 2003, 23(3): 183-194
- [15] Wilby R L. SDSM: A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts [J]. *Environmental Modelling & Software*, 2002, 17(2): 147-159
- [16] Diaz-Nieto J D, Wilby R L. A comparison of statistical downscaling and climate change factor methods: Impacts on lowflows in the river Thames, United Kingdom [J]. *Climatic Change*, 2005, 69(2): 245-268
- [17] Liu J Y, Yue T X, Ju H B, et al. Integrated ecosystem assessment of Western China [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2005: 71-87
- [18] 张友姝, 王谦谦, 钱永甫, 等. 近 50 年华北地区冬季气温的时空变化特征 [J]. *南京气象学院学报*, 2002, 25 (5): 633-639
ZHANG Youshu, WANG Qianqian, QIAN Yongfu, et al. Spatial/temporal variations of winter air temperature in North China in recent 50 years [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2002, 25(5): 633-639
- [19] 郝立生, 牛英杰, 张苍根. 海河低平原近 56 年气候变化特征 [C] // 中国气象学会 2007 年年会气候变化分会场论文集, 2007: 459-465
HAO Lisheng, NIU Yingjie, ZHANG Canggen. Climate changes over Haihe Lower Plain during recent 56 years [C] // Climate Change Session, Annual Conference of Chinese Meteorological Society, 2007: 459-465
- [20] 肖嗣荣. 未来气候变化及其对海河流域环境影响 [J]. *地理与国土研究*, 1992, 8(1): 32-35
XIAO Sirong. Future climate change and its environmental impact on the Haihe River Basin [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 1992, 8(1): 32-35
- [21] 王洁, 徐宗学. 白洋淀流域气温与降水量长期变化趋势及其持续性分析 [J]. *资源科学*, 2009, 31(9): 1498-1505
WANG Jie, XU Zongxue. Long-term trend and the sustainability of air temperature and precipitation in the Baiyangdian basin [J]. *Resource Science*, 2009, 31(9): 1498-1505
- [22] 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告 (I): 中国气候变化的历史和未来趋势 [J]. *气候变化*

研究进展,2006,2(1):3-8

DING Yihui, REN Guoyu, SHI Guangyu, et. al. National assessment report of climate change (I): Climate change

in China and its future trend [J]. Advances in Climate Change Research, 2006, 2(1): 3-8

Changes of future air temperature in the Baiyangdian Basin based on statistical downscaling technique

WANG Jie¹ WANG Hao² WANG Binbin³

1 School of Hydrometeorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 Sun Yueqi Honors College, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116

3 State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210006

Abstract Outputs of General Circulation Models (GCMs) are inadequate for the assessment of climate change on land-surface in regional scale. Statistical downscaling technique has been proposed as one of the tools to establish the relationship between the meso-scale GCM output and sub-grid-scale surface variables (such as air temperature). The Statistical Downscaling Model (SDSM) is applied to the Baiyangdian Basin in this study, with daily maximum and minimum air temperature as predictors. Selection of appropriate downscaling predictors is based on the relationship between meso-scale atmospheric variables and daily air temperature series in the Baiyangdian Basin, which are obtained from the NCEP re-analysis data set and observed data at meteorological stations, respectively. From the data set during the period of 1961–1990, data of the first 15 years (1961–1975) are used for calibration while the remaining data (1976–1990) are used for validation. Finally, daily maximum and minimum air temperature scenarios for future periods (2020s, 2050s, and 2080s) are estimated using SDSM from output of the HadCM3 at 7 stations, and the temporal trends of daily maximum and minimum air temperature are analyzed. The results show that both daily maximum and minimum air temperature will increase under A2 or B2 scenario. Under A2 scenario, the magnitudes of increase for daily maximum and minimum air temperature are 0.37 °C/(10 a) and 0.40 °C/(10 a) in the plain area, whereas, these values are 0.61 °C/(10 a) and 0.55 °C/(10 a) in mountainous areas, respectively. Under the B2 scenario the magnitudes of increase are smaller in both mountainous area and plain area. The increasing tendencies for different areas are quite different. The trend in mountainous area is greater than that in plain area. The results show that both daily maximum and minimum air temperature in the Baiyangdian basin will arise in future.

Key words climate change; Baiyangdian basin; statistical downscaling; daily maximum air temperature; daily minimum air temperature