

Scenarios Projection of Extreme Temperature Indices in the Three Gorges for the 21st Century

tianyu Zhang¹, bingyan Cheng², chonghai Xu³

¹Chongqing Climate Center, Chongqing, China

²National Climate Center, Beijing, China

Email: zhangtianyu821227@hotmail.com, xuchonghai@126.com

Abstract: The projections of extreme temperature indices (ETR、TN90 and HWDI) in the Three Gorges for the 21st century by using the global climate system models provided by PCMDI with the SRES A2 ,A1B and B1 that joined the IPCC fourth scientific assessment report had been analyzed in this paper. The results showed that compared to the current climate (1980~1999), ETR will possibly increase in the most of period in the 21st century , TN90 and HWDI will sharply increase. During the 21th century(2011~2100), ETR will be increased by 0.4~0.8℃, TN90 increased by 13.3~17.4%,HWDI increased by 8.5~13.3 day. In the former of 21st century(2011~2040), ETR will be increased by 0.2~0.6℃, TN90 increased by 5.1~7.3%, HWDI increased by 3.1~4.1 day. In the medium-term of 21st century(2041~2070), ETR will be increased by 0.4~1.0℃, TN90 increased by 13.6~18.9%, HWDI increased by 7.7~12.1 day. In the latter of 21st century(2071~2100), ETR will be increased by 0.6~1.4℃, TN90 increased by 19.1~28.9%, HWDI increased by 14.3~23.7 day.

Keywords: climate change; extreme temperature; projection; the Three Gorges

21 世纪三峡库区极端气温指数的情景预估

张天宇¹, 程炳岩¹, 许崇海²

¹重庆市气候中心, 重庆, 中国, 401147

²国家气候中心, 北京, 中国, 100081

Email: zhangtianyu821227@hotmail.com, 2. xuchonghai@126.com

摘要: 利用气候模式诊断与比较计划(PCMDI)提供的9个新一代气候系统模式的模拟结果,通过多模式集合方法预估分析了3种排放情景(高排放A2、中等排放A1B和低排放B1)下21世纪三峡库区3种极端气温指数的可能变化。结果表明:21世纪三峡库区气温年较差呈震荡的趋势,主要都将以增大为主。暖夜指数和热浪指数都将显著增加。整个21世纪,库区气温年较差将增加0.4~0.8℃,暖夜指数将增加13.3~17.4%,热浪指数将增加8.5~13.3天。分阶段来看,21世纪前期,气温年较差将增加0.2~0.6℃;暖夜指数将增加5.1~7.3%,热浪指数将增加3.1~4.1天;21世纪中期,气温年较差将增加0.4~1.0℃,暖夜指数将增加13.6~18.9%,热浪指数将增加7.7~12.1天;21世纪后期,气温年较差将增加0.6~1.4℃,暖夜指数将增加19.1~28.9%,热浪指数将增加14.3~23.7天。

关键词: 气候变化; 极端气温; 预估; 三峡

1 引言

近年来,全球及区域气候变化已成为研究的热点问题^[1-2]。IPCC第四次评估报告(简称IPCC-AR4,下同)指出^[3],自20世纪70年代以来,在更大的范围,尤其是在热带和亚热带地区,观测到了强度更强、持

续时间更长的干旱;强降水事件的发生频率有所上升。近50a来已观测到了极端温度的大范围变化,冷昼、冷夜和霜冻已变得稀少,而热昼、热夜和热浪变得更为频繁。未来在温室效应影响下,热事件、热浪和强降水事件的发生频率可能将会持续上升。

IPCC-AR4收集了23个复杂全球气候系统模式,在原模式基础上进行了改善,具有精度高、参数化方案

资助信息:中国气象局气候变化专项“全球变暖背景下三峡库区极端天气气候事件趋势预估研究”资助

合理、大部分模式没有使用通量调整方案等特点^[4],并在对温度、降水和海平面气压等气候平均场进行模拟预测基础上,增加了对极端指数的模拟,使得对未来极端事件在不同情景下的预估成为可能。Claudia 等学者^[5-7]利用用于 IPCC-AR4 模式资料对未来 21 世纪全球和中国区域极端气温指数进行了预估研究。

三峡库区位于长江中上游,西起重庆江津,东至湖北宜昌,全长 600km,为跨长江两岸数公里的狭长区域。三峡库区属亚热带季风气候,库区内植被类型多样,同时生态环境比较脆弱,库区水土流失严重,干旱、暴雨、滑坡、泥石流等自然灾害频繁^[8]。预估全球变暖背景下未来三峡库区极端气温事件的变化,对于进一步分析该地区区域气候变化的影响评估与适应措施具有重要的意义。本文在国际上通用极端气候指数^[9,10]中选取 3 个极端气温指数—气温年较差、热浪和暖夜指数,利用全球模式产品在不同排放情景下对其进行预估,力求定量地说明在全球变暖的情景下 21 世纪三峡库区极端气温事件变化情况,以便为相应的影响评估提供依据。

2 模式、情景及极端气温指数简介

气候模式诊断与比较计划(Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison , PCMDI)提供的 23 个全球模式结果中,其中的 9 个给出了高(A2)、中(A1B)、低(B1)3 种排放情景^[11]的极端气候指数的模拟和预估结果,分别是法国的 CNRMCM3 和 IPSLCM4,美国的 GFDLCM2.0、GFDLCM2.1 和 NCAR_PCM1,俄罗斯的 INMCM3.0,日本的 miroc3_2_hires、miroc3_2_medres 和 MRI_cgcm2_3_2a^[12]。本文所选取的 3 个极端气温指数(表 1)是由 WMO 在 1998 年到 2001 年的气候变化监测会议中通过研究和讨论所提出^[9,10],气温年较差(ETR)是定义年内夏季最高气温和冬季最低气温的跨度,热浪指数(HWDI)能反映高温所持续的时间,暖夜指数(TN90)是暖夜所占的比例。由定义表明,上述极端指数综合考虑了极端气温事件的强度与持续时间,已成为欧盟 STARDEX 计划推荐用于描述与极端气温事件有关的核心指标。

Table .1 Definitions of extreme Temperature indices
表 1 极端气温指数的定义

指数名称	英文缩写	指数定义
------	------	------

气温年较差	ETR	每年日最高气温和最低气温的差值(°C)
暖夜指数	TN90	每年日最低气温通过 90%气候态(1961~1990 年)分布的天数百分率(%)
热浪指数	HWDI	每年连续 6 天以上(含 6 天)日最高气温高于气候态(1961 年~1990 年)相同日期 5°C 的总天数(天)

由于全球气候模式分辨率比较低,在评估模式模拟能力和预估中,都将三峡库区(106°E~112°E, 28.5°N~32°N)进行区域平均,考察其整体上的变化。选用与 IPCC 第四次评估报告一致的气候基准时段,预估中的距平值统一采用相对于 1980~1999 年的变化。对于观测序列,选取三峡库区范围内的沙坪坝、南川、长寿、涪陵、武隆、丰都、垫江、梁平、石柱、忠县、万州、云阳、奉节、巫山、巴东、兴山和宜昌 17 个观测站 1961~2007 年 47a 逐日气温资料,站点分布见图 1;对 17 个站的极端气温指数进行平均作为观测序列。计算了 1961~2007 年期间三峡库区 17 个站极端气温指数与区域平均间的相关系数,结果表明所有台站的相关系数均非常高,远远超过 0.001 显著性水平信度,说明三峡库区各台站极端气温指数变化趋势与区域平均相当一致,17 个站平均的能够很好的反映库区极端气温指数的时间演变情况。

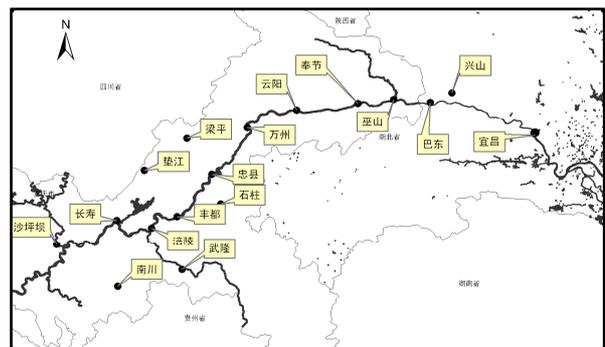


Figure1. Distribution of the representative stations in the Three Gorges
图 1. 三峡库区所选站点分布图

3 基于全球模式对三峡库区极端气温指数模拟的评估

利用三峡库区极端气温指数的实测数据,对 PCMDI 提供的 9 个全球模式对其在现代气候情景下(20C3M)的模拟结果进行检测和评估,为利用 IPCC AR4 模式模拟的结果对未来三峡库区极端气温的预估提供可靠的依据。

3.1 极端气温指数时间变化模拟能力的评估

9 个全球气候模式模拟的 1961~2000 年三峡库区极端气温指数与观测值的相关分析 (表 2) 表明, 不同气候模式对三峡库区的模拟结果有较大差别, 而且无论是单个模式还是 9 模式集合 (即 9 个模式平均), 模式的模拟结果与观测值的相关性并不好, 尤其是 GFDLCM2.0、GFDLCM2.1、INMCM3.0、NCAR_PCM1 模拟的指数 ETR, CNRMCM3、GFDLCM2.1、miroc3_2_hires 模拟的指数 TN90, GFDLCM2.0、GFDLCM2.1、miroc3_2_medres、9 模式集合模拟的指数 HWDI 与观测值表现为负相关, 说明这些模式对三峡库区相应的极端气温指数模拟性能较差。miroc3_2_hires、MRI_cgcm2_3_2a 模拟的指数 ETR 相关系数超过了 0.2, MRI_cgcm2_3_2a 模拟的指数 TN90 相关系数为 0.39, miroc3_2_hires、MRI_cgcm2_3_2a、NCAR_PCM1 模拟的指数 HWDI 相关系数接近 0.2, 说明有的模式还是具有一定的模拟能力。

随着对气候模式性能评估的深入, 一些研究表明, 气候模式对当前气候模拟性能的优劣将可能影响对未来气候变化的预估结果, 当模拟性能较好的模式在一起进行集合时, 所得到的预估结果将更加迫近于真实的观测结果^[13]。因此将呈现负相关以及相关系数 ≤ 0.1 的模式不参与相应的集合平均, 从而选取 CNRMCM3、IPSLCM4、miroc3_2_hires、miroc3_2_medres、和 MRI_cgcm2_3_2a 这 5 个模式集合平均作为指数 ETR 集合模式, 选取 GFDLCM2.0、IPSLCM4、和 MRI_cgcm2_3_2a 这 3 个模式集合平均作为指数 TN90 集合模式, 选取 IPSLCM4、miroc3_2_hires、MRI_cgcm2_3_2a 和 NCAR_PCM1 这 4 个模式集合平均作为指数 HWDI 集合模式。表 3 给出了筛选后多模式组合模拟值与观测值的相关系数, 利用 9a 二项式平滑^[14]来代表年代际变化, 同时也给出了筛选后多模式组合模拟值 9a 二项式平滑与观测值的相关系数。对比 9 模式集合的相关系数, 筛选后多模式组合模拟的指数 ETR、TN90、HWDI 均远高于 9 模式集合, ETR 和 TN90 均通过了 95%信度检验, HWDI 通过了 90%信度检验。筛选后多模式组合模拟 3 个指数 9a 二项式平滑与观测值的相关系数均通过了 99%信度检验。由此说明, 无论是年际还是年代际变化, 筛选后多模式组合对三峡库区极端气温指数的模拟能力均强于 9 模式集合或单个模式。所以对于三峡库区极端气温指数的预估, 有选择的进行多模式组合, 可以得到更为可靠的预估结果。

Table 2. The correlation coefficients between simulations and observations during 1961~2000

表 2. 1961~2000 年模式模拟值与观测值的相关系数

模式	ETR	TN90	HWDI
CNRMCM3	0.17	-0.07	0.00
GFDLCM2.0	-0.05	0.15	-0.03
GFDLCM2.1	-0.04	-0.01	-0.34
INMCM3.0	-0.02	0.06	0.09
IPSLCM4	0.17	0.16	0.14
miroc3_2_hires	0.21	-0.01	0.19
miroc3_2_medres	0.11	0.02	-0.09
MRI_cgcm2_3_2a	0.21	0.39	0.18
NCAR_PCM1	-0.02	0.00	0.18
9 模式集合	0.15	0.17	-0.02

Table3. The correlation coefficients between multi-model ensembles simulations and observations during 1961~2000

表 3. 1961~2000 年筛选后多模式组合模拟值与观测值的相关系数

	9 模式集合	筛选后多模式组合	筛选后多模式组合 9a 二项式平滑
ETR	0.15	0.37**	0.49***
TN90	0.17	0.35**	0.43***
HWDI	-0.02	0.27*	0.46***

注: “*”表示 90%信度, “**”表示 95%信度, “***”表示 99%信度

3.2 区域平均值的模拟能力

模式对极端气候指数气候态平均场模拟情况也是模式评估和检验的重要因素。IPCC 第四次评估报告预估中相对于常年气候平均值的时段是 1980~1999 年, 所以选取同样时段 1980~1999 年模式模拟、观测数据、以及两者之间的相对偏差统计列入表 4。发现不同模式的偏差差异比较大, 除 CNRMCM3 模拟的指数 ETR 相对偏小 (偏小 5.1%) 外, 其他模式模拟的 ETR 相对实测值均偏大; 所有模式模拟的 TN90 均偏大, 偏大也均不超过 20%; 所有模式模拟的 HWDI 也均偏大, miroc3_2_hires 模拟最接近实测值, 除了 miroc3_2_medres 和 NCAR_PCM1 外, 其他模式均偏大超过 100%。重点关注筛选后多模式组合的偏差, ETR 偏大 8.2%, TN90 偏大 9.7%, HWDI 偏大 189.7%。由此可见, 若在预估距平值中不考虑模式模拟值相对基准时段模式的偏差, 则预估的结果将会偏大, 尤其是指数 HWDI 会明显偏大。除了筛选模式进行合理组合外, 进行预估时还需要考虑模式的偏差, 才能得到更为可靠的预估结果。

Table 4. Comparison between simulated and observed extreme Temperature indices during 1980~1999
表 4. 1980~1999 年三峡库区极端气温指数模拟的平均值与观测值的对比

	ETR 相对偏差 (%)	TN90 相对偏差 (%)	HWDI 相对偏差 (%)
实测数据			
CNRMCM3	-5.1	16.8	117.9
GFDLCM2.0	29.0	2.6	434.8
GFDLCM2.1	18.6	18.9	480.8
INMCM3.0	65.0	7.5	150.6
IPSLCM4	18.5	14.6	389.5
miroc3_2_hires	5.0	8.8	0.5
miroc3_2_medres	7.9	6.2	19.3
MRI_cgcm2_3_2a	14.4	11.9	292.1
NCAR_PCM1	20.3	19.3	76.5
9 模式集合	19.3	11.8	218.0
筛选后多模式组合	8.2	9.7	189.7

4 21 世纪三峡库区极端气温指数变化情景预估

基于以上对各模式模拟三峡库区极端气温指数的检验和评估, 集合筛选后的模式的模拟结果, 并去除集合模式平均的偏差率, 对不同排放情景下未来21世纪三峡库区极端气温指数进行预估分析。图2和图3分别给出了A2、A1B、B1情景下21世纪三峡库区极端气温指数的逐年和逐年代变化。排放情景中,B1(低排放)情景代表着经济趋于向服务和信息经济方面迅速变化、材料密集程度下降、并采用了清洁和高效资源技术,强调经济和社会、环境的持续性; A1B(中等排放)情景主要是指随着区域间人均收入差异的大幅度减小,基本活动的主题主要表现为地区间的融合增加能力; A2(高排放)情景代表自给自足以及地方性保护,区域之间的生产力非常缓慢地趋于一致,进而导致持续性人口增长,经济的发展主要是地区主导型的^[15]。

由图2可见,3种情景下未来21世纪三峡库区ETR都呈震荡的趋势,主要都将以增大为主。A2情景下变幅为-1.3~2.2℃,增大年份占71%。A1B情景下变幅为-1.5~3.1℃,增大年份占77%。B1情景下变幅为-1.2~3.1℃,增大年份占84%。逐年代变化来看,A2情景下除了2000年代减小外,其他年代均增大。A1B

和B1情景下所有年代都将增大。A1B情景下2070年代增幅最大,平均增大1.6℃;2000年代增幅最小,平均仅增0.1℃。B1情景下2050年代增幅最大,平均增大1.4℃;2020年代增幅最小,平均仅增0.2℃。

3种情景下未来21世纪三峡库区TN90都呈显著增加的趋势,21世纪前半叶3种情景下增幅相当,后半叶A2和A1B情景下增幅相当,B1情景下增幅相对小些。其中A2情景下变幅为-1.7~40.9%,增大年份占99%。A1B情景下变幅为-0.3~34.0%,增大年份占98%。B1情景下增幅为0.7~25.0%。逐年代变化来看,3种情景下未来21世纪TN90所有年代均将增加,A2情景下增幅从2010年代开始逐年代增加。A1B情景下增幅21世纪逐年代增加,其中2090年代增幅最大,平均增大30.0%,2000年代增幅最小,平均仅增1.8%。B1情景下在2070年代前增幅逐年代增加,2080和2090年代增幅小于2070年代。

3种情景下未来21世纪三峡库区HWDI都呈显著增加的趋势,21世纪前半叶三种情景下增幅相当,后半叶A2和A1B情景下增幅相当,B1情景下增幅相对小些。A2情景下变幅为-2.8~34.9天,增大年份占92%。A1B情景下变幅为-0.7~33.0天,增大年份占96%。B1情景下变幅为-2.3~19.1天,增大年份占95%。逐年代变化来看,3种情景下未来21世纪HWDI所有年代均将增加,除了B1情景下2090年代增幅略小于2080和2070年代外,3种情景下增幅都逐年代增加,其中2010年代增幅最小,分别为0.8、1.1、0.5天;A2和A1B情景下2090年代增幅最大,分别为27.0、27.5天;B1情景下2070和2080年代增幅最大,同为14.4天。

将21世纪分成3个阶段(初期2011~2040年,中期2041~2070年和后期2071~2100年)分别给出了三种不同排放情景下三峡库区极端气温指数在3个阶段的变化情况,见表5。3种情景下21世纪初、中和后期ETR都将增大。A2和A1B情景下增幅21世纪后期最大,中期次之,前期最小。B1情景下增幅21世纪中期最大,后期次之,前期最小。整个21世纪(指2011~2100年,下同),A1B情景增幅最大,为0.8℃;B1次之,为0.7℃;A2最小,为0.4℃。从3种情景下21世纪各阶段ETR的线性趋势来看,下降趋势的仅A1B情景下21世纪后期,下降率为-0.2℃/10a。整个21世纪,A1B情景线性增加趋势最大,为0.2℃/10a;A2次之,为0.1℃/10a;B1无明显变化。

21世纪前期,3种情景下三峡库区TN90平均增幅为5.1~7.3%,中期为13.6~18.9%,后期为19.1~

28.9%。整个 21 世纪，TN90 平均增幅为 13.3~17.4%，其中 A1B 情景增幅最大，A2 次之，B1 最小。21 世纪前期 TN90 的线性变化趋势为增加 2.0~3.3%/10a，中期为增加 1.9~4.5%/10a，后期为-0.5~4.7%/10a。整个 21 世纪为 1.9~3.9%/10a。

21 世纪前期，3 种情景下三峡库区 HWDI 平均增幅为 3.1~4.1 天，中期为 7.7~12.1 天，后期为 14.3~23.7 天。整个 21 世纪，HWDI 平均增幅为 8.5~13.3

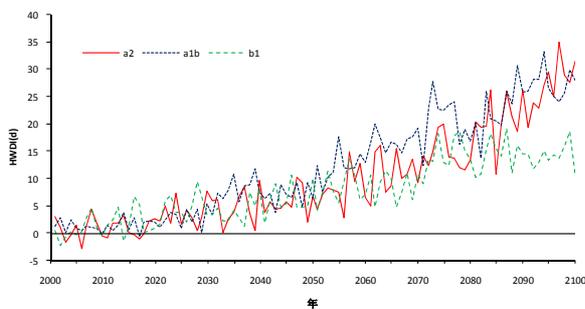
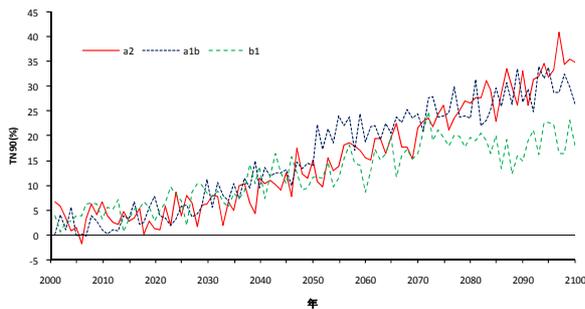
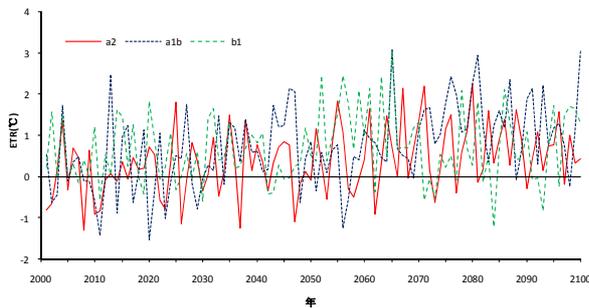


Figure 2. The results of extreme Temperature indices in the 21st century relative to the average of 1980~1999 in the Three Gorges, projected by Multi-model Ensembles under the A2, A1B, and B1 emissions scenarios of SRES

图 2. 不同情景下集合多个模式对三峡库区极端气温指数的集成预估结果(相对于 1980~1999 年)

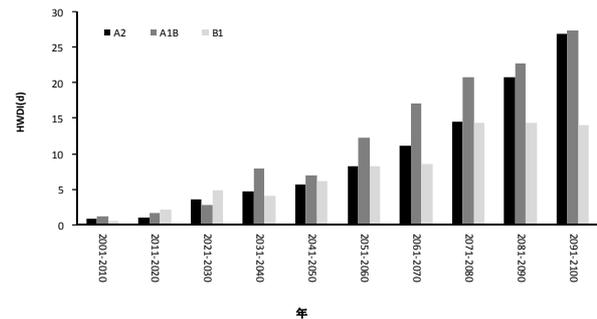
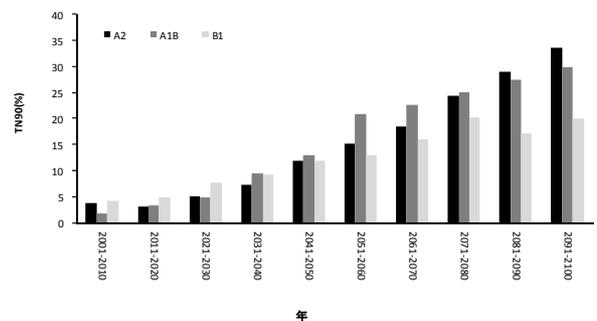
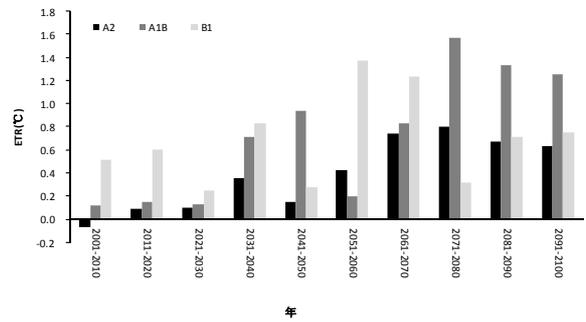


Figure 3. Same as Figure 2 except for decadal results
图 3. 不同情景下集合多个模式对三峡库区极端气温指数的逐年代集成预估结果(相对于 1980~1999 年)

天，其中 A1B 情景增幅最大，A2 次之，B1 最小。21 世纪前期库区 HWDI 的线性变化趋势为增加 1.1~3.0 天/10a，中期为增加 1.3~4.7 天/10a，后期为增加 0.2~6.0%/10a。整个 21 世纪为增加 1.7~3.3 天/10a。

总之，3 种排放情景下三峡库区极端气温指数的变化存在一定差异。王冀等^[4]集合 7 个全球海气耦合模式预估 21 世纪中国极端气温指数的变化趋势，在 21 世纪后期（2071—2100 年）A2、A1B 和 B1 情景下中国地区 ETR 都将分别减小 1.30℃、1.06℃和 0.80℃，TN90 都将分别增加 38.0%、33.2%和 25.3%；HWDI 都将分别增加 72.8 天、59.2 天和 32.6 天。对比三峡库区预估结果发现，三峡库区 ETR 的变化和中国地区的

不一致，但 TN90 和 HWDI 的变化和中国地区的变化在整体上比较一致，增幅存在一定差异。造成原因可能是选取的模式不同和范围不同，各局地气候和极端气候事件变化本不太一致，得出的区域预估结果存在一些差异。

5 结论与讨论

随着全球气候变暖日渐加剧，极端气候事件的频繁出现，对于当前和未来人类社会与生态环境的影响将更加明显。事实上，在观测、理论及模拟预估等各个方面，对极端气温事件的研究都有了不少新的进展。本文利用 PCMDI 提供的气候系统模式在 A2、A1B 及 B1 排放情景的模拟结果，对三峡库区未来 21 世纪三峡库区气温年较差、暖夜指数和热浪指数进行情景预估分析，结果表明：

(1) 对于三峡库区极端气温指数的预估，筛选模式进行合理组合，并考虑模式的偏差，能得到更为可靠的预估结果。

(2) 21 世纪三峡库区 A2、A1B 及 B1 排放情景下气温年较差 (ETR) 都呈震荡的趋势，主要都将增大为主。21 世纪前期，3 种情景下 ETR 将增加 0.2~0.6℃；21 世纪中期增加 0.4~1.0℃；21 世纪后期将增加 0.6~1.4℃。整个 21 世纪 ETR 将增加 0.4~0.8℃。

Table 5. Variations and Linear tendency of extreme Temperature indices in different periods of the 21st century relative to the average over 1980~1999 in the Three Gorges, projected by Multi-model Ensembles under the SRES A2, A1B and B1 emissions scenarios

表 5. 多个气候模式集成预估 21 世纪不同时期三峡库区极端气温指数的变化及线性趋势(相对于 1980~1999 年)

	ETR 变化			线性趋势(10a)		
	A2	A1B	B1	A2	A1B	B1
2011-2040 年	0.2	0.3	0.6	0.2	0.3	0.1
2041-2070 年	0.4	0.7	1.0	0.2	0.0	0.4
2071-2100 年	0.7	1.4	0.6	0.0	-0.2	0.3
2011-2100 年	0.4	0.8	0.7	0.1	0.2	0.0

	TN90 变化			线性趋势(10a)		
	A2	A1B	B1	A2	A1B	B1
2011-2040 年	5.1	5.9	7.3	2.0	3.3	2.4
2041-2070 年	15.2	18.9	13.6	3.5	4.5	1.9
2071-2100 年	28.9	27.5	19.1	4.7	2.3	-0.5

	HWDI 变化			线性趋势(10a)		
	A2	A1B	B1	A2	A1B	B1
2011-2100 年	16.4	17.4	13.3	3.9	3.6	1.9
2011-2040 年	3.1	4.1	3.7	1.8	3.0	1.1
2041-2070 年	8.3	12.1	7.7	2.7	4.7	1.3
2071-2100 年	20.7	23.7	14.3	6.0	3.3	0.2
2011-2100 年	10.7	13.3	8.5	3.0	3.3	1.7

(3) 21 世纪三峡库区 A2、A1B 及 B1 排放情景下暖夜指数 (TN90) 和热浪指数 (HWDI) 都呈显著增加的趋势。21 世纪前期，3 种情景下 TN90 将增加 5.1~7.3%，HWDI 将增加 3.1~4.1 天；21 世纪中期，TN90 将增加 13.6~18.9%，HWDI 将增加 7.7~12.1 天；21 世纪后期，TN90 将增加 19.1~28.9%，HWDI 将增加 14.3~23.7 天。整个 21 世纪 TN90 将增加 13.3~17.4%，HWDI 将增加 8.5~13.3 天。

需要指出的是，气候变化情景预估都存在一定的不确定性，一方面气候模式本身存在较大的不确定性，包括模式的计算稳定性、次网格尺度过程与参数化的有效性、物理过程描述的合理性等。另一方面未来温室气体排放情景也存在较大的不确定性，主要来源于不能准确地描述未来社会经济、环境变化、土地利用变化和技术进步等非气候情景^[16]。本文在验证模式模拟能力的基础上集合了多个模式同时考虑模式的偏差，得出的预估结果，在很大程度上减少了不确定性，给出了不同排放情景下的预估结果还是具有相当的参考意义的。

致 谢

由衷感谢“气候模式诊断与比较计划(Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison , PCMDI)”提供的模式资料。

References (参考文献)

[1] Zhou Tianjun, Zhao Zongci. Attribution of the Climate Warming in China for the 20th Century[J], *Advances in Climate Change Research*, 2006 , 2 (1) : P 29-31(Ch).
周天军, 赵宗慈. 20 世纪中国气候变暖的归因分析[J]. 气候变化研究进展, 2006 , 2 (1) : P 29-31.

[2] Wang Huaiqing, Zhao Guannan, Peng Jing, et al. Precipitation Characteristics over five major river systems of Poyang Drainage Areas in recent 50 years[J], *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2009, 18 (7): P 615-619(Ch).
王怀清, 赵冠男, 彭静, 等. 近 50 年鄱阳湖五大流域降水变

- 化特征研究[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18 (7): P 615-619.
- [3] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge, UK; New York. USA: Cambridge University Press, 2007.
- [4] Sun Ying. Introduction to Analyses of Climate Model Simulations for the IPCC AR4[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2005, 1 (4): P 162 -163(Ch).
孙颖. 用于 IPCC 第四次评估报告的气候模式比较研究简介[J]. 气候变化研究进展, 2005, 1 (4): P 162 -163.
- [5] Claudia Tebaldi, Katharine Hayhoe. Going to the extremes: An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events[J]. *Climatic Change*, 2006, 79 : 185-211.
- [6] Wang Ji, Jiang Zhihong, Ding Yuguo, et al. Multi-Model Ensemble Prediction of Extreme Temperature Indices in China[J]. *Resources Science*, 2008, 30(7): P 1084-1092(Ch).
王冀, 江志红, 丁裕国等. 21 世纪中国极端气温指数变化情况预估[J]. 资源科学, 2008, 30(7): P 1084-1092.
- [7] Zhao Zongci, Luo Yong. Projections of climate change over northeastern China for the 21st century[J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2007, 23(3): P 1-4(Ch).
赵宗慈, 罗勇. 21 世纪中国东北地区气候变化预估[J]. 气象与环境学报, 2007, 23(3): P 1-4.
- [8] He Jinsheng, Chen Weilie, Jiang Mingxi, et al. Plant Species diversity of the degraded ecosystems in the Three Gorges Region[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18 (4) : P 399-407(Ch).
贺金生, 陈伟烈, 江明喜, 等. 长江三峡地区退化生态系统植物群落物种多样化特征[J]. 生态学报, 1998, 18 (4) : P 399-407.
- [9] Frich , P. , Alexander , L. V. , Della-Marta , P. , et al . Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century[J]. *Climate Research*, 2002, 19: 193-212.
- [10] Alexander , L. V. , Zhang , X. , Peterson , T. C. , Caesar , et al . Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation [J]. *Geophys Res .* 2006 ,111 : 1-22.
- [11] Qin Dahe, Chen Zhenlin, Luo Yong, et al. Updated Understanding of Climate Change Sciences[J]. *Adv.Clim.Change Res.*, 2007, 3(2): 63-73.
- [12] Zhao Zongci. Latest Advances in Global Climate Projection[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2006, 2(2): P 68-70(Ch).
赵宗慈. 全球气候变化预估最新进展[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(2): P 68-70.
- [13] SUN Ying, DING Yihui. Validation of IPCC AR4 climate models in simulating interdecadal change of East Asian summer monsoon[J]. *ACTA METEOROLOGICA SINICA*, 2008, 66(5): P 765-780(Ch).
孙颖, 丁一汇. IPCC AR4 气候模式对东亚夏季风年代际变化的模拟性能评估[J]. 气象学报, 2008, 66(5): P 765-780.
- [14] Zhang HengDe, Gao ShouTing, Zhang YouShu. The Interdecadal Variation of North Polar Vortex and Its Relationships with Spring Precipitation in China[J]. *Climatic and Environmental Research*, 2006, 11(5): 593-603(Ch).
张恒德, 高守亭, 张友姝. 北极涡年代际变化及其与我国春季降水的关系[J]. 气候与环境研究, 2006, 11(5): 593-603.
- [15] Qin Dahe, Chen Zhenlin, Luo Yong, et al. Updated Understanding of Climate Change Sciences[J]. *Adv.Clim.Change Res.*, 2007, 3(2): 63—73
- [16] National assessment report of climate change[M]. Beijing, Science Education Press, 2007(Ch).
《气候变化国家评估报告》编写委员会. 气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2007.