

# 21 世纪中国极端气温指数变化情况预估

王冀<sup>1</sup>, 江志红<sup>1</sup>, 丁裕国<sup>1</sup>, 张金玲<sup>2</sup>, 张霞<sup>1</sup>

(1. 南京信息工程大学, 江苏省气象灾害重点实验室, 南京 210044;

2. 广东省汕头市气象局, 汕头 515041)

**摘要:**利用政府间气候变化委员会资料中心的模式预测结果(IPCC-AR4), 分析了在高(SRES A2)、中(SRES A1B)、低(SRES B1)3种不同的排放情景下中国未来21世纪极端气温变化特征。研究表明:随着全球变暖, 中国区域极端气温指数的变化是一致的增加(减少)趋势。其中霜冻日数和温度年较差呈减少趋势, 生长季指数、热浪指数和暖夜指数是增加趋势。在高排放(A2)情景下, 中国地区各极端气温指数增加(减少)趋势最明显, 低排放(B1)情景下极端气温指数变化趋势最小。在2075年前, 极端气温指数在A1B情景下的变化幅度要大于A2情景下的变化, 2075年之后, 却与之相反。在各极端气温指数中, 热浪指数(HWDI)和暖夜指数(TN90)上升趋势最为明显, 其次是霜冻日数(FD)和生长季指数, 气温年较差(ETR)变化最小。在空间分布的特征上, 极端气温指数基本上保持一致的增加或减少的变化趋势(温度年较差除外), 变化基本上是由北向南变化率逐渐增大, 其中西北的极端指数变化率高于东北, 只有暖夜指数的变化情况有所不同, 在西南和华南地区出现了变化的大值区。

**关键词:**极端指数; 排放情景; 模式集合

## 1 引言

近年来, 全球变暖已经给全球的社会、经济与环境带来重要影响。全球气候变化及其预估问题越来越受到各国政府和人民的关注与重视。它不仅涉及到科学家和公众关心的未来十年、百年到千年时间尺度的气候变化的可能情景, 而且还涉及到各国政府间关于全球气候变化的协商、公约谈判、减排以及军事和安全等诸多方面<sup>[1]</sup>。利用全球气候模式(GCM)在不同排放情景下对未来的气候变化进行预估是众多学者研究的话题。政府间气候变化委员会(IPCC-AR3)的预测结果发现, 在不同的SRES排放情景下, 全球平均地面气温在1990年~2100年期间将升高1.4~5.8, 较20世纪观测到的变暖值高2~10倍<sup>[2]</sup>。国内众多学者对我国不同地区的气候变化也进行了预估研究<sup>[3~15]</sup>, 结果表明在温室气体渐进递增情景下, 中国大陆年均表面气温升高过程与全球同步, 至21世纪末期, 相对于1961年~1990年的气候基准值, 全国地面平均气温增幅可达5~6, 在东北、西部和华中地区增幅较大, 且表现出明显的年际变化, 同时日内最高和最低气温都将明

显上升, 日较差将减小。最新的IPCC第四次评估报告收集了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、参数化方案合理、大部分模式没有使用通量调整方案等特点<sup>[16]</sup>, 并在对温度、降水和海平面气压等平均气候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 et al<sup>[17]</sup>利用IPCC-AR4模式资料对21世纪极端指数在不同排放情景下全球范围的变化情况进行了预估取得了有意义的结果。相比之下对我国极端事件未来变化的预估研究则很少。本文利用IPCC数据分发中心提供的新一代全球模式对5个极端气温指数在不同排放情景下模拟结果对我国未来极端气温的变化进行预估, 力求定性的说明21世纪在全球变暖的情景下、极端气温事件的变化情况。

## 2 模式与极端气温指数简介

本文选取的模式资料来自IPCC第四次科学评估报告(AR4)气候模式, 其中包括法国国家气象研究中心(CNRM)、美国普林斯顿大学地球物理流体动力学实验室(GFDL)2个, 这两个版本模式主要的

收稿日期:2007-10-27; 修订日期:2008-04-25

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:40675043); 江苏气象灾害重点实验室项目(编号:KLME050209)。

作者简介:王冀, 男, 河北人, 博士生, 主要从事全球气候变化研究。

E-mail:wangji\_zl@163.com

不同是使用了不同的大气环流动力框架和云调整方案)、俄罗斯气候研究中心(INM)、法国皮埃尔西蒙拉普拉斯学院(IPSL)、日本气候系统研究中心(CCSR 2 个)等提供的模式,具体见表 1。本文选取模式的水平分辨率范围从低分辨率 72 ×45 (INM. CM3.0)到高分辨率 320 ×160 (MIROC3.2 (hires))。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。

极端气温指数(表 2)首先由 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,这些极端气温指数能够展现极端气候不同层面的变化<sup>[18,19]</sup>,具有较弱的极端性、噪声低、显著性强的特点。霜冻日数(FD)指数描述了中高纬地区霜冻的长度,温度年较差(ETR)是定义年内夏季最高气温和冬季最低气温的跨度,生长季指数(GSL)表示中高纬度生物生长期的长度,热浪指数(HWDI)能反映夏季高温所持续的时间,暖夜指数(TN90)是暖夜所占的比例,由此可见,霜冻日数、暖夜指数主要反映日最低温度的变化,热浪指数则与日最高温度的变化有关。由各指数的定义表明,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。

鉴于表 1 中各模式具有不同的分辨率,使用双线性插值方法将各模式数据统一插值到 2.0° ×2.0° 的格点上。

### 3 全球模式对中国区域极端气温指数模拟能力的评估

国内外对未来气候进行数值预测过程中包含了很大的不确定性,这主要可以归结为气候模式本身、温室气体排放量估算的不确定性、以及气候资料的不足等。然而,当前气候模式有能力给出比较科学的关于未来气候变化的模拟结果,多模式的集合预测结果也被证明更加可信。评估结果显示<sup>[26]</sup>,本文采用的海气耦合模式对极端气温指数都具有一定的

表 1 在 SRES 温室气体排放情景下进行模拟预测的气候模式基本信息

模式名称	水平格点分布(经向 × 纬向)与垂直层面	积分时段	所属国家/研究中心缩写
CNRM. CM3	128 ×64 L45 T63	2000~2100	法国/CNRM <sup>[20]</sup>
GFDL-CM2.0	144 ×90 L24	2000~2100	美国/GFDL <sup>[21,22]</sup>
GFDL-CM2.1			
INM. CM3.0	72 ×45 L21	2000~2100	俄罗斯/INM <sup>[23]</sup>
IPSL. CM4	96 ×72 L19	2000~2100	法国/IPSL <sup>[24]</sup>
MIROC3.2 (medres)	128 ×64 L20 T42	2000~2100	日本/CCSR <sup>[25]</sup>
MIROC3.2 (hires)	320 ×160 L56 T106	2000~2100	

表 2 极端气温指数的定义

Table 2 Definitions of five indicators for monitoring temperature change in climatic extremes

指数名称	英文缩写	指数定义
霜冻日数	FD	每年日最低气温低于 0 的总天数(天)
气温年较差	ETR	每年日最高气温和最低气温的差值( )
生物生长季	GSL	每年日平均气温连续 5 天高于 5 的总天数(天)
暖夜指数	TN90	最低气温通过 90 % 气候态分布的天数百分率(%)
热浪指数	HWDI	连续 5 天最高气温高于气候态相同日期(1961 年~1990 年)5 的总天数(天)

模拟能力,对霜冻日数、生物生长季、温度年较差、暖夜指数的主要分布特征都能进行较好的模拟,但它们也都有各自的系统误差。模式集合的模拟效果比单独用某一个模式要好一些。时间变化的检测结果表明,模式模拟的结果可以很好反映极端气温指数的线性变化趋势。在年际的变化特征方面,霜冻日数、暖夜指数、热浪指数模式模拟和观测结果有很好的相关,大部分模式的相关系数能通过 95 % 的置信水平检验;生长季指数和温度年较差与观测数据的相关性较差,说明这两个指数的模拟结果虽然能表现出指数的整体变化趋势,但不能体现其年际的变化特点。空间分布的评估结果表明,模式可以很好的模拟出极端气温指数(除暖夜指数外)的空间分布特征。在全国范围内,以 110 °E 为界,东部地区模拟效果较好,西部地区的模拟效果较差,对青藏高原地区的模拟效果最差。统计分析的结果表明,在极端气温指数中,模拟效果最好的是温度年较差,其次是霜冻日数、生长季、热浪指数,最差的是暖夜指数。正是基于上述研究结果,本文将集合 7 个耦合模式的最新数值模拟预测结果,分析在 SRES A2、A1B 和 B2 温室气体排放情景下,中国大陆 21 世纪极端气

温指数的变化特征,以期初步研究中国区域极端气温指数的未来变化趋势。

### 4 21世纪极端气温指数随时间变化情景分析

首先对不同的排放情景下中国区域7个模式平均极端气温指数随时间变化的情况进行分析,从总体上看(图1),霜冻日数和温度年较差呈下降趋势,生长季、热浪指数、暖夜指数呈上升趋势,其中除了温度年较差的下降趋势较弱,没有通过95%置信水平检验,其他指数的上升和下降趋势都很明显,均通过95%置信水平检验。其中在低排放(B1)的情景下,极端气温指数的变化幅度最小;在高排放(A2)的情景下极端气温指数的变化幅度最大。不同时间区间内极端气温指数变化是不同的,在2030年前,不同排放情景下极端气温指数的变化基本一致;之后,A1B、A2情景下变化幅度明显增加。在2030年~2075年之间,A1B情景下极端气温指数的变化幅度大于A2情景的变化幅度,2075年之后,A2情景下极端气温指数的变化幅度最大。

为了进一步分析未来中国区域极端气温指数具体的变化情况,计算了极端气温指数在未来100年的变化率,并将结果列入表3。可以看出,热浪指数(HWDI)和暖夜指数(TN90)上升趋势最为明显,在A2(高排放)情景下,趋势系数分别达到90.2天/100年和44.3%/100年。由于这两个指数主要是与最高和最低温度的变化有关,说明在未来最高和最低气温相对于基本气候态来说均是明显增加的。也正是因为最低和最高气温同时增加而导致温度年较差变化不大。在A2情景下,气温年较差(ETR)也仅下降了1.7/100年,远远小于其他极端气温指数的变化;最低气温的升高同时带来了霜冻日数(FD)指数的明显减少和生长季指数(GSL)的增加。在高排放(A2)情景下,霜冻日数(FD)减少了42天/100年,生长季指数增加了28.1天/100年。

表3 中国区域不同模式模拟极端气温指数100年平均值的变率

Table 3 Difference models simulate extreme temperature indices trends

情景	FD (天/100年)	ETR ( /100年)	GSL (天/100年)	HWDI (天/100年)	TN90 (%/100年)
B1	-21.2	-0.8	12.4	35.2	25.7
A1B	-37.0	-1.2	23.5	74.2	37.6
A2	-42.0	-1.7	28.1	90.2	44.3

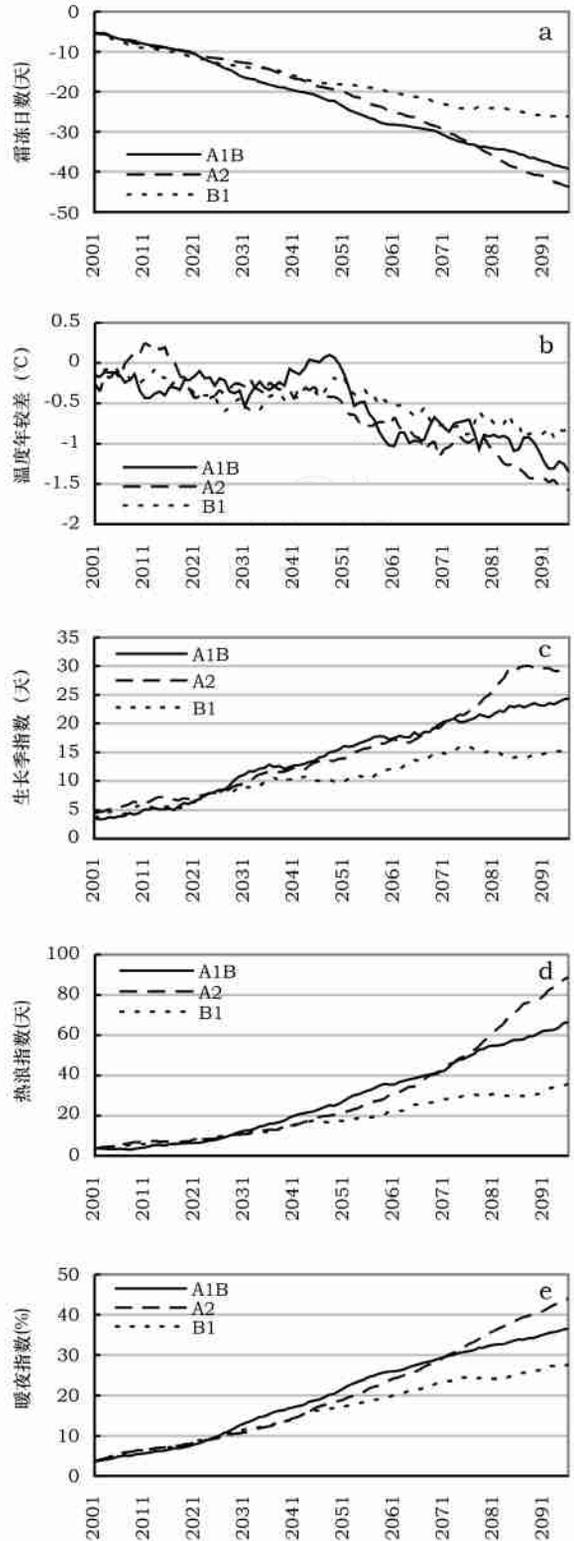


图1 全国不同极端气温指数相对基本气候态(1961~1990年)的21世纪时间序列(序列中的值都经过9点滑动平均)

Fig.1 Time series of china anomalies values of temperature extremes indices against the climatology through 1961 to 1990 (The value have been averaged and smoothed by 9-pot running mean)

## 5 极端气温指数 21 世纪的空间变化特征

为了解在 21 世纪中期(2021 年~2050 年)和后期(2071 年~2100 年)极端气温指数在我国的变化情况,本文将 SRES A1B、A2、B1 排放情景下模式模拟的 2021 年~2050 年、2071 年~2100 年极端气温指数相对于 1961 年~1990 年年气候态的距平分布集合的全国平均值列入表 4。结果表明,霜冻日数和温度年较差,整体呈减少趋势,生长季、热浪指数和暖夜指数呈增加趋势。其中,霜冻日数的减少趋

势最明显,热浪指数的增加趋势最明显。在不同的排放情景模式下,不同的时间区间内,极端气温指数的变化情况不同。在 2021 年~2050 年间,热浪指数在 B1(低排放)情景下变化幅度最小为 13.6 天,温度年较差在 B1 情景下变化幅度最大,为 -0.4;霜冻日数、生长季、热浪指数和暖夜指数在 A1B(中等排放)的情景下变化幅度最明显,分别为 -16.8 天、17.2 天、16.7 天、14.7%,温度年较差在该情景下变化最小,为 -0.18;霜冻日数、生长季、暖夜指数在 A2、B1 情景下变化幅度基本一致。

表 4 7 个全球海气耦合模式集合模拟中国区域极端气温指数的预估结果

Table 4 Projected change of extreme temperature indices in 21st century over China

气温指数	SRES B1		SRES A1B		SRES A2	
	2021~2050	2071~2100	2021~2050	2071~2100	2021~2050	2071~2100
霜冻日数(天)	-15.50	-25.80	-18.40	-36.80	-15.40	-39.80
年较差( )	-0.40	-0.80	-0.18	-1.06	-0.37	-1.30
生长季(天)	13.90	23.60	17.20	33.80	13.90	36.40
热浪指数(天)	13.60	32.60	16.70	59.20	14.30	72.80
暖夜指数(%)	12.80	25.30	14.70	33.20	12.90	38.00

在 21 世纪末期(2071 年~2100 年),极端气温指数的变化情况比较一致,即在 A2(高排放)情景下,各个指数的变化幅度最大,在 B2(低排放)情景下各个指数的变化幅度是最小。其中,热浪指数变化最明显,在 A2 情景下平均增加 72.8 天,在 B1 情景下,平均也增加了 32.6 天。温度年较差的变化最小,在平均仅减少了 -1.3。而霜冻日数、生长季、暖夜指数的变化幅度差距不大。

为了了解模式对我国不同区域模拟特征,将中国分为 7 个区域<sup>[27]</sup>,分别是东北(114°E~136°E,38°N~56°N)、西北(73°E~114°E,28°N~32°N)、华北(108°E~122°E,34°N~46°N)、华中(106°E~122°E,24°N~40°N)、华东(114°E~126°E,24°N~34°N)、华南(104°E~126°E,18°N~32°N)、西南(76°E~114°E,20°N~36°N),并结合模式平均的极端气温指数(2021 年~2050 年、2071 年~2100 年)相对于 1961 年~1990 年年气候态的距平分布图,分析极端指数在不同区域的变化情况。

从整体上看(图 2~图 6),在不同的排放情景下不同时段内,极端气温指数空间分布基本特征几乎一致。在全国范围内,霜冻日数表现为一致减少趋势,生长季指数、热浪指数、暖夜指数呈一致增加趋势。而温度年较差的变化有所不同,在 27°N 以南地

区年较差呈增加趋势,在 27°N 以北地区则是一致的减少趋势。高排放(A2)情景下极端气温指数的变化幅度最明显、低排放(B2)情景下极端气温指数的变化幅度最小。21 世纪末期(2070 年~2100 年)各个极端气温指数(温度年较差除外)的变化幅度明显要大于 21 世纪中期(2021 年~2050 年),均表现出了明显的年际变化特征。由于篇幅关系,在下面着重分析在 A2 情景下 21 世纪末期各极端气温指数的空间分布特征。

霜冻日数变化幅度由西北到东南逐渐减小(图 2)。其中,西北地区减少的幅度最大,平均值为 -44 天左右,其次是西南和青藏高原地区平均值为 -42 天,均高于全国区域均值;中国南部(华中、华南)的变化幅度比较小平均值为 -28 天左右,小于全国平均值。

从图 3 中发现,温度年较差变化在长江流域以北地区为减少趋势,长江流域以南为增加趋势,华南地区平均增加 0.16;东北和西北地区的减少幅度最大为 -2.0 左右;华东和华中的减少幅度比较小只有 -0.44。相对 2021 年~2050 年,除华东、华南等地年较差没有明显的变化外,其他地区 2071 年~2100 年的年较差变化都比较明显。

模式模拟的生长季指数结果有效范围主要集中在

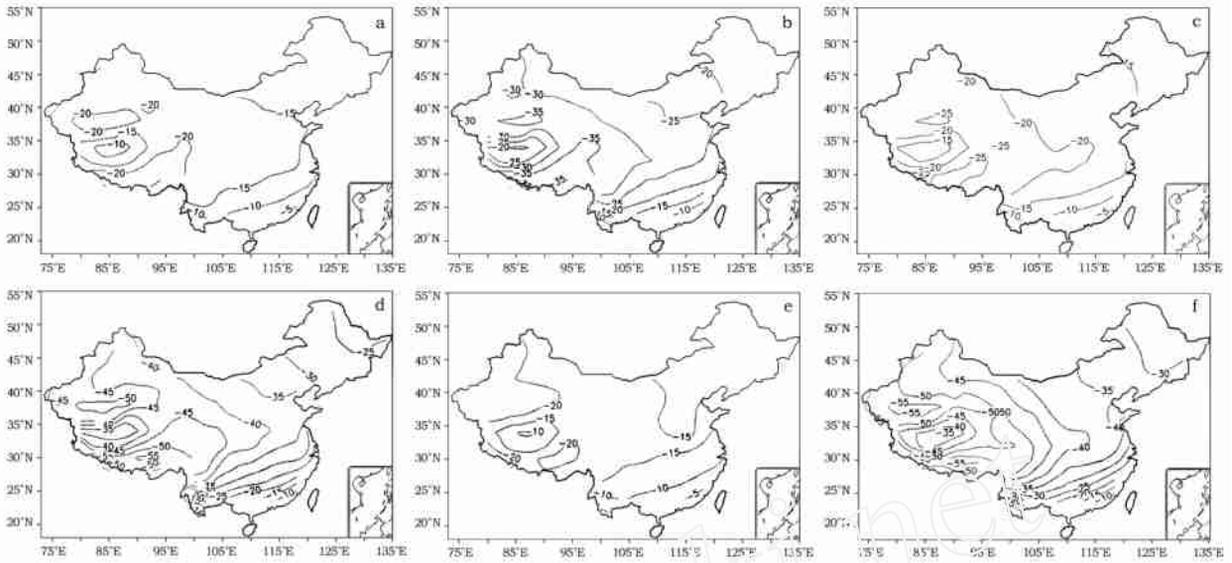


图 2 SRES B1、A1B、A2 排放情景下,7 个模式模拟到的 2021 年~2050 年、2071 年~2100 年霜冻日数相对于 1961 年~1990 年气候态的距平分布(等值线:5 天)(a、c、e,2021 年~2050 年),(b、d、f,2071 年~2100 年)

Fig. 2 FD anomalies during 2021~2050, and 2071~2100 against the climatology through 1961 to 1990 as simulated by seven climate models (contour interval: 5 days) under SRES A1B、A2、B1(a、c、e,2021~2050),(b、d、f,2071~2100)

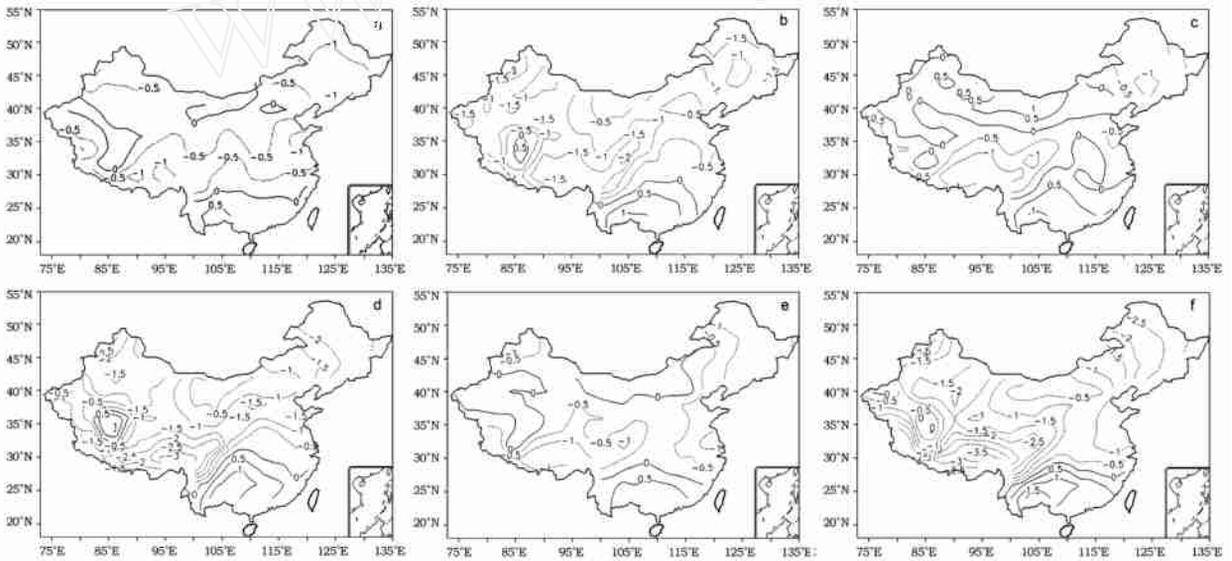


图 3 SRES B1、A1B、A2 排放情景下,7 个模式模拟到的 2021 年~2050 年、2071 年~2100 年较差相对于 1961 年~1990 年气候态的距平分布(等值线:0.5)(a、c、e,2021 年~2050 年),(b、d、f,2071 年~2100 年)

Fig. 3 ETR anomalies during 2021~2050, and 2071~2100 against the climatology through 1961 to 1990 as simulated by seven climate models (contour interval: 0.5) under SRES A1B、A2、B1(a、c、e,2021~2050),(b、d、f,2071~2100)

在 26 N 以北,青藏高原以外的地区,由北向南生长季呈增加趋势。由图 4 发现,东北和西北地区的生长季增加了 30 天左右;华东和华中的生长季增加幅度最明显,平均在 37 天左右。

热浪指数与其他极端气温指数相比变化幅度最明显,由图 5 可见,热浪指数在全国范围内由北向南变化幅度减少。西北和东北地区的变化最大,平均

值在 74~78 天之间,其次是华北地区,平均值在 62 天左右;华东、华中和华南地区的热浪指数增加趋势几乎相同,平均在 48~55 天左右。

由图 6 可以看到,暖夜指数在全国范围内由西向东增加幅度减少。西北、西南地区的变化幅度最大,平均值在 40%左右,其次是华南地区,平均值在 37%左右;其他地区的暖夜指数增加幅度几乎相同,

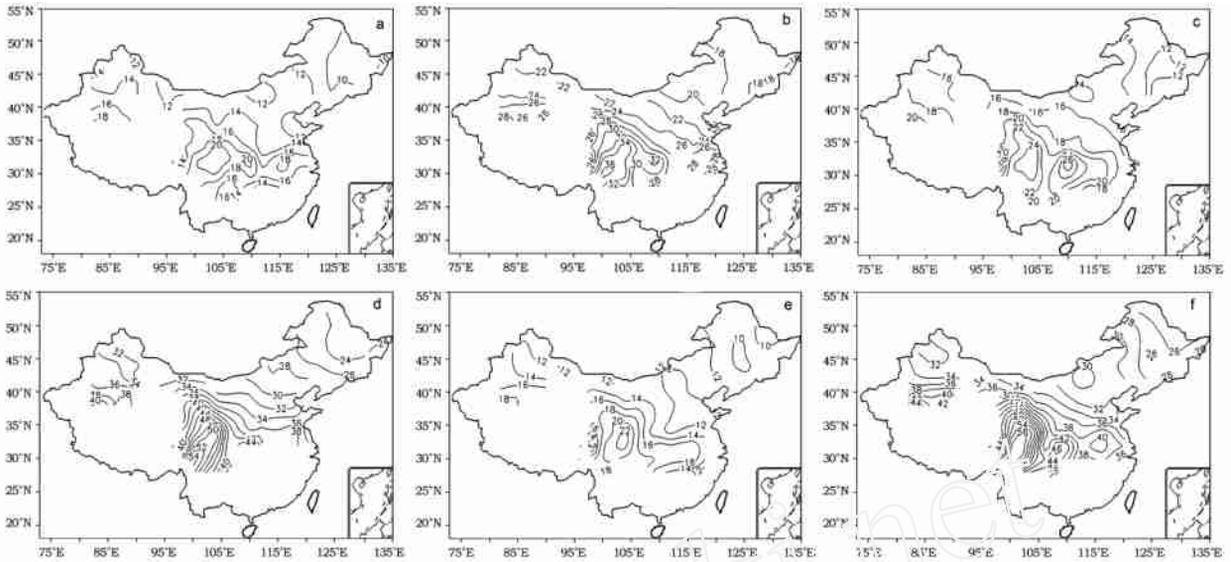


图 4 SRES B1、A1B、A2 排放情景下,7 个模式模拟到的 2021 年~2050 年、2071 年~2100 年生长季相对于 1961 年~1990 年气候态的距平分布(等值线:2 天)(a、c、e,2021 年~2050 年),(b、d、f,2071 年~2100 年)

Fig. 4 GSL anomalies during 2021~2050, and 2071~2100 against the climatology through 1961 to 1990 as simulated by seven climate models (contour interval: 2 days) under SRES A1B、A2、B1 (a、c、e, 2021~2050) ,(b、d、f, 2071~2100)

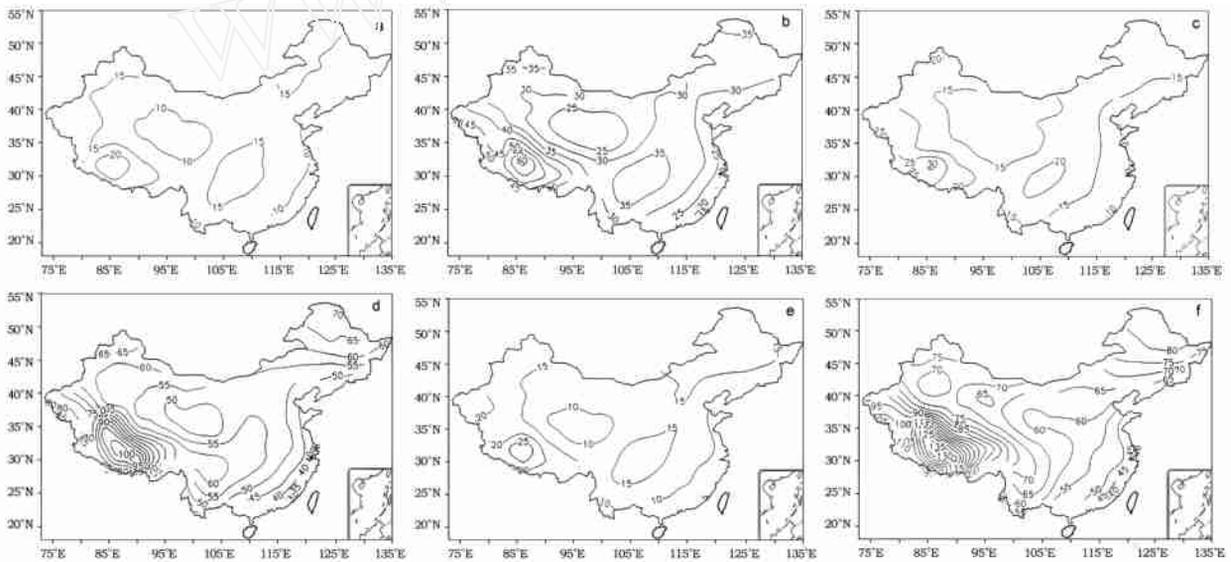


图 5 SRES B1、A1B、A2 排放情景下,7 个模式模拟到的 2021 年~2050 年、2071 年~2100 年热浪指数相对于 1961 年~1990 年气候态的距平分布(等值线间隔:5 天)(a、c、e,2021 年~2050 年),(b、d、f,2071 年~2100 年)

Fig. 5 HWDI anomalies during 2021~2050, and 2071~2100 against the climatology through 1961 to 1990 as simulated by seven climate models (contour interval: 5 days) under SRES B1、A1B、A2 (a、c、e, 2021~2050) ,(b、d、f, 2071~2100)

平均在 34%~37%左右。

### 5 结论

利用 IPCC 提供的 7 个模式的模拟结果,对中国未来的极端气温变化情景进行了分析,结果表明:

(1) 由时间尺度变化分析表明,随着全球变暖,极端气温指数中霜冻日数、温度年较差呈下降趋势,其他气温指数均呈明显的上升趋势,热浪指数的增

加趋势最明显。在高排放(A2)情景下,各极端气温指数变化最大,而在低排放的(B1)情景下变化最小。在 2075 年前,极端气温指数在 A1B 情景下的变化幅度要大于 A2 情景下的变化,2075 年之后,A2 情景下极端气温指数的变化趋势要明显大于 A1B 情景。除温度年较差之外,其他气温指数都表现出了明显的年际变化特征。

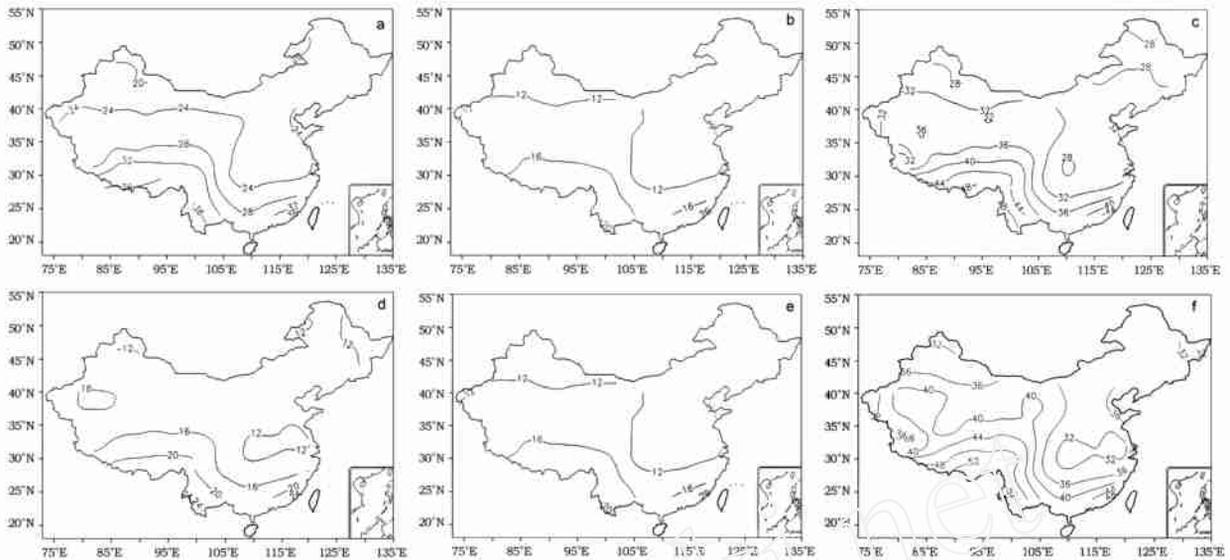


图6 SRES B1、A1B、A2 排放情景下,7 个模式模拟到的 2021 年~2050 年、2071 年~2100 年暖夜指数相对于 1961 年~1990 年气候态的距平分布(等值线:4 天)(a、c、e,2021 年~2050 年),(b、d、f,2071 年~2100 年)

Fig. 6 TN90 anomalies during 2021~2050, and 2071~2100 against the climatology through 1961 to 1990 as simulated by seven climate models (contour interval: 4 days) under SRES A1B、A2、B1 (a、c、e, 2021~2050) (b、d、f, 2071~2100)

(2) 从空间尺度变化发现,极端气温指数基本上保持一致的增加或减少的变化趋势(温度年较差除外),变化基本上是由北向南变化率逐渐增大,其中西北的变化率高于东北,暖夜指数的变化情况有所不同,在西南和华南地区出现了变化的大值区。

尽管我们通过分析得出了一些有意义的结论,但必须要指出的是,全球模式对中国地区气候的模拟依然存在着误差,这是因为海气耦合模式分辨率太粗而不能捕获区域和局地的气候过程,尤其是对我国自然条件复杂,人类活动频繁的区域,海气耦合模式在模拟局地地形、土地覆盖类型和土壤水文导致的中尺度特征方面都存在着不足,这也是产生系统误差的主要原因。另外,对未来气候平均态和极端事件变化的预估,不同的模式可能会给出不同的结果,增加了未来极端事件变化预估的不确定性。因此针对中国地区的具体情况,研究如何对多模式模拟(全球和区域模式)进行合理的集合,以得到更可靠的预估结果是非常必要的。

#### 参考文献 (References):

[1] 赵宗慈. 全球气候变化预估最新研究进展[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(2): 69~70. [ZHAO Zong-ci. Latest advances in global climate projections[J]. *Advance in Climate Change Research*, 2006, 2(2): 69~70.]

[2] Robert T Watson, Daniel L Albritton, Terry barker, et al. Climate

Change 2001: Synthesis Report [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

[3] 徐影,丁一汇,赵宗慈. 近 30 年人类活动对东亚地区气候变化影响的检测与评估[J]. 应用气象学报, 2002, 13(5): 514~525. [XU Ying, DING Yi-hui, ZHAO Zong-ci. Detection and evaluation of effect of human activities on climatic change in East Asia in recent 30 years [J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2002, 13(5): 514~525.]

[4] 许吟隆. 中国 21 世纪气候变化的情景模拟分析[J]. 南京气象学院学报, 2005, 28(3): 324~329. [XU Yin-long. Analyses on scenario simulations of the 21st century climate change in China [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2005, 28(3): 324~329.]

[5] 许吟隆,黄晓莹,张勇,等. 中国 21 世纪气候变化情景的统计分析[J]. 气候变化研究进展, 2005, 2(1): 81~83. [XU Yin-long, HUANG Xiaoying, ZHANG Yong, et al. Statistical analyses of climate change scenarios over China in the 21st Century [J]. *Advance in Climate Change Research*, 2005, 2(1): 81~83.]

[6] 陈起英,俞永强,郭裕福. 温室效应引起的东亚区域气候变化[J]. 气候与环境研究, 1996, 1(2): 114~123. [CHEN Qing-ying, YU Yong-qiang, GUO Yu-fu. Climatic change in East Asia induced by greenhouse effect [J]. *Climatic and Environmental Research*, 1996, 1(2): 114~123.]

[7] 姜大膀,王会军,郎咸梅. 全球变暖背景下东亚气候变化的最新情景预测[J]. 地球物理学报, 2004, 47(4): 591~596. [JIANG Da-bang, WANG Hui-jun, LANG Xian-mei. East Asian climate change trend under global warming background [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2004, 47(4): 591~596.]

[8] 姜大膀,王会军,郎咸梅. SRES A2 情景下中国气候未来变化的多模式集合预测结果[J]. 地球物理学报, 2004, 47(5): 777

- ~ 784. [JIANG Da-bang, WANG Hui-jun, LANG Xian-mei. Multimodel ensemble prediction for climate change trend of China under sRES A2 Scenario[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2004, 47(5): 777 ~ 784. ]
- [ 9 ] 高学杰,赵宗慈,丁一汇,等. 温室效应引起的中国区域气候变化的数值模拟 : 中国区域气候的可能变化[J]. 气象学报, 2003, 61(1): 30 ~ 38. [ GAO Xue-jie, ZHAO Zong-ci, DING Yi-hui, et al. Climate change due to greenhouse effects in China as simulated by a regional climate model part ii: Climate change [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 2003, 61(1): 30 ~ 38. ]
- [10] GAO Xue-jie, ZHAO Zong-ci, DING Yi-hui, et al. Climate change due to greenhouse effects in china as simulated by a regional climate model[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2001, 18(6): 1 225 ~ 1 230.
- [11] 高学杰. 中国地区极端事件预估研究[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(3): 163 ~ 165. [ GAO Xue-jie. Researches in projection of extreme events in China[J]. *Advance in Climate Change Research*, 2007, 3(3): 163 ~ 165. ]
- [12] 赵宗慈,王绍武,罗勇. IPCC 成立以来对温度升高的评估与预估[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(3): 183 ~ 184. [ ZHAO Zong-ci, WANG Shao-wu, LUO Yong. Assessments and projections of temperature rising since the establishment of IPCC[J]. *Advance in Climate Change Research*, 2007, 3(3): 183 ~ 184. ]
- [13] 许崇海,沈新勇,徐影. IPCC-AR4 模式对东亚地区气候模拟分析[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(5): 287 ~ 292. [ XU Chong-hai, SHEN Xin-yong, XU Ying. An analysis of climate change in East Asia by using the IPCC AR4 simulations [J]. *Advance in Climate Change Research*, 2007, 3(5): 287 ~ 292. ]
- [14] 周天军,赵宗慈. 20 世纪气候变暖的归因分析[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 29 ~ 31. [ ZHOU Tian-jun, ZHAO Zong-ci. Attribution of the climate warming in China for the 20th Century[J]. *Advance in Climate Change Research*, 2006, 2(1): 29 ~ 31. ]
- [15] ZHOU Tian-jun, YU Ru-cong. Twentieth century surface air temperature over China and the globe simulated by coupled climate models[J]. *Journal of Climate*, 2006, 19(22): 5 843 ~ 5 858.
- [16] 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): 162 ~ 163. [ SUN Ying. Introduction to analyses of climate model simulations for the ipcc ar4 [J]. *Advance in Climate Change Research*, 2005, 1(4): 162 ~ 163. ]
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] Salas y Melia, D., Chauvin, F., Deser, M., Douville, et al. Description and validation of the CNRM-CM3 global coupled model [J]. *Climate Dyn*. 2006, 26: 199 ~ 214.
- [21] Delworth, T. L., Broccoli, A. J., Rosati, A., Stouffer, R. J., et al. GFDL's CM2 global coupled climate models-Part 1: Formulation and simulation characteristics[J]. *Journal of Climate*, 2006, 19(5): 643 ~ 674.
- [22] Gnanadesikan, A., Coauthors. GFDL's CM2 global coupled climate models. Part 2: The baseline ocean simulation [J]. *Journal of Climate*, 2006, 19, 675 ~ 697.
- [23] Diansky, N. A., E. M. Volodin. Simulation of presentday climate with a coupled atmosphere-ocean general circulation model[J]. *Izv. Atmos. Oceanic Phys*. 2002, 38: 732 ~ 747.
- [24] Marti, O. The New IPSL Climate System Model: IPSL-CM4, Tech. rep., Institut Pierre Simon Laplace des Sciences de l' Environnement Global [M]. IPSL, Case 101, 4 place Jussieu, Paris, France, 2005.
- [25] Hasumi, H., S. Emori. K1 Coupled Model (MIROC) Description. K1 Tech. Rep. 1 [M]. Center for Climate System Research, University of Tokyo, 2004.
- [26] 王冀,江志红,宋洁,等. 基于全球模式对中国极端气温指数模拟的评估[J]. 地理学报, 2008, 63(3): 228 ~ 236. [ WANG Ji, JIANG Zhi-hong, SONG Jie, et al. Evaluating the simulation ability of the IPCC-AR4 GCMS on the extreme temperatures in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(3): 228 ~ 236. ]
- [27] 屠其璞,邓自旺,周晓兰. 中国气温异常的区域特征研究[J]. 气象学报, 2000, 58(3): 289 ~ 296. [ TU Qi-pu, DENG Zi-wang, ZHOU Xiao-lan. Studies on the regional characteristics of air temperature abnormal in China [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 2000, 58(3): 289 ~ 296.

## Multi-Model Ensemble Prediction of Extreme Temperature Indices in China

WANG Ji<sup>1</sup>, JIANG Zhi-hong<sup>1</sup>, DING Yu-guo<sup>1</sup>, ZHANG Jiu-ling<sup>2</sup>, ZHANG Xia<sup>1</sup>

(1. Nanjing University of Information Science & Technology, Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disasters, Nanjing 210044, China;

2. Shantou Meteorological Bureau, Shantou 515041, China)

**Abstract:** Using the results of IPCC-AR4 simulations, extreme temperature trends in China are analyzed under three different emissions scenarios—SRES A2, SRES A1B, and SRES B1. Results show that extreme temperature indices exhibit consistent trends throughout China. The indices of frost days (FD) and extreme temperature range (ETR) decrease, while increases occur for growing season length (GSL), warm nights (TN90) and heat wave duration index (HWDI). In the high emissions scenario (A2), index trends show the largest changes, and have the lowest amount of change in the low emissions scenario (B1). Changes in the five indices are more substantial in SRES A1B than in SRES A2 before the year 2075, in contrast to variations after that year. Among the extreme temperature indices, HWDI and TN90 have the largest increases. For SRES A2, the changes in heat wave duration index and warm nights are 90.2d/100a and 44.3%/100a respectively, and the frost days and growing season length have the second largest changes, of -42 days per decade and 28.1 days per decade, respectively, with the least change in ETR, which decreased 1.7 per decade. Zonal means indicate that during the period of 2021~2050, the smallest change in HWDI is an increase of 13.6 days in SRES B1, where ETR shows its largest change of -0.4. The most significant variations in FD, GSL, HWDI and TN90 are -16.8 days, 17.2 days, 16.7 days and 14.7%, respectively, in the emissions scenarios of A1B, in which ETR has the smallest change of -0.18. In the late 21st century (2071 to 2100), HWDI change is greatest with 72.8 days, but ETR has the smallest change of -1.3, while other indices such as FD, GSL and TN90 have similar changes as in the high emissions scenario. Except for the index of growing season length, the spatial distributions of the other four indices' trends are almost the same throughout the whole country, with variability tending to increase gradually from northern to southern China. There are more marked changes in northwest China than northeast China for indices of FD, ETR and HWDI, as compared to TN90 which has larger changes in southwest and southern China.

**Key words:** Extreme temperature indices; Emissions scenarios; Model ensemble