

张 勇,许吟隆,董文杰等. SRES B2 情景下中国区域最高、最低气温及日较差变化分布特征初步分析. 地球物理学报, 2007, 50(3): 714~723

Zhang Y, Xu YL, Dong WJ, et al. A preliminary analysis of distribution characteristics of maximum and minimum temperature and diurnal temperature range changes over China under SRES B2 scenario. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2007, 50(3): 714~723

SRES B2 情景下中国区域最高、最低气温及 日较差变化分布特征初步分析

张 勇^{1,2,3,4},许吟隆^{2*},董文杰³,曹丽娟^{1,4}

1 中国科学院大气物理研究所东亚区域气候-环境重点实验室,北京 100029

2 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所,北京 100081

3 中国气象局国家气候中心,北京 100081

4 中国科学院研究生院,北京 100049

摘 要 本文利用 Hadley 气候预测与研究中心的区域气候模式系统 PRECIS 进行中国区域气候基准时段(1961~1990年)和 SRES B2 情景下 2071~2100 年(2080s)最高、最低气温及日较差变化响应的分析. 气候基准时段的模拟结果与观测资料的对比分析表明:PRECIS 具有对中国区域最高、最低气温及日较差的模拟能力,能够模拟出中国区域最高、最低气温及日较差的局地分布特征. 对 SRES B2 情景下相对于气候基准时段的最大、最低气温及日较差变化响应分析表明:中国区域 2080s 时段年、冬季和夏季平均最高、最低气温变化均呈一致增加的趋势,北方地区增温幅度普遍大于南方地区. 夏季东北地区极端高温事件发生的频率将会增加,而冬季华北地区极端冷害事件发生频率将会减少. 未来中国区域年平均日较差将出现北方地区减小而南方地区增加的趋势. 冬季长江中下游以南地区日较差呈增加趋势,而夏季华东地区、西北地区及内蒙古中部日较差将呈减小趋势,其中在青藏高原北部地区存在一个较强的低值中心.

关键词 PRECIS,最高气温,最低气温,日较差,SRES B2 情景

文章编号 0001-5733(2007)03-0714-10

中图分类号 P467

收稿日期 2006-01-20, 2006-11-13 收修定稿

A preliminary analysis of distribution characteristics of maximum and minimum temperature and diurnal temperature range changes over China under SRES B2 scenario

ZHANG Yong^{1,2,3,4}, XU Yin-Long^{2*}, DONG Wen-Jie³, CAO Li-Juan^{1,4}

1 Key Laboratory of Regional Climate-Environment for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2 Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

3 National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China

4 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract In this paper, the PRECIS, a regional climate model system developed at the UK Met Office Hadley Centre for Climate Prediction and Research, is employed to simulate the baseline (1961~1990) and future 2071~2100 (2080s) maximum and minimum temperature and diurnal temperature range change responses under SRES B2 scenario over China. A comparison of the simulated baseline results with observations shows that

基金项目 国家“十五”科技攻关课题(2004BA611B02)及中英气候变化双边合作研究项目联合资助.

作者简介 张 勇,男,1976年生,中国科学院大气物理研究所博士研究生,主要从事全球和区域气候变化研究.

***通讯作者** 许吟隆, E-mail: xuyi@ami.ac.cn

PRECIS can well simulate the local distribution characteristics of maximum and minimum temperature and diurnal temperature range over China. Analyses of the simulated results in the 2080s under SRES B2 scenario relative to the baseline show that there would be an overall increasing trend in the maximum and minimum temperatures in annual, winter and summer over China and the warming amplitude in the north of China is projected to be greater than in the south. There would be an increasing trend of extreme hot temperature occurrence in summer in Northeast China and a decreasing trend of extreme cold disaster occurrence in winter in North China. The changes in the annual diurnal temperature range in the 2080s under SRES B2 scenario relative to the baseline are projected to present a decreasing trend in the north of China and an increasing trend in the south of China. In winter there would be an increasing trend of diurnal temperature range in the southern region of the middle and lower reaches of the Yangtze River, while a decreasing trend in East China, Northwest China and the middle of Inner Mongolia. In particular, a stronger low value center is projected to exist in the north of the Tibetan Plateau.

Keywords PRECIS, Maximum temperature, Minimum temperature, Diurnal temperature range, SRES B2 scenario

1 引言

气候变化是气候系统内部变异与外界因子(包括自然的和人为的)共同作用的结果。政府间气候变化专门委员会(IPCC)2001 评估报告^[1]指出:全球平均地面气温自 20 世纪初以来升高了 0.6 ± 0.2 。从全球来看,20 世纪 90 年代很可能是 1861 年以来仪器记录中最暖的 10 年,1998 年很可能是同期最暖的一年。自 1950 年以来,极端最低气温出现的频率减少,而极端最高气温出现的频率增加。国外一些学者的研究表明,随着全球平均地面气温的升高,大多数地区最低气温的升高速率明显高于最高气温,从而表现出一种日夜增暖的不对称性,使得日较差减小^[2-5]。日最高、最低气温的变化对农业和环境的影响比平均地面气温的影响更为重要,对其进行深入研究有利于了解气候变化自身的规律并对探讨气候变化原因具有十分重要的意义^[6]。

目前国内外大量工作主要是对平均地面气温变化的影响研究。在全球气候变化研究中,对中国区域最高、最低气温的变化规律研究集中在对观测资料分析的层面^[7-12],利用高分辨率的区域气候模式(RCM)进行最高、最低气温的模拟研究较少。Cao et al.^[13]使用 RegCM2 区域气候模式单向嵌套澳大利亚 CSIRO R2IL9 全球海-气耦合模式,模拟分析中国区域未来 CO₂ 倍增情景下极端事件的变化特征。许吟隆等^[14]利用 1979~1983 年的欧洲中期天气预报中心(ECMWF)再分析数据作为准观测边界条件驱动区域气候模式系统 PRECIS (Providing Regional

Climates for Impacts Studies)^[15],初步分析了其对中国区域气候的模拟能力。许吟隆等^[16]和 Zhang et al.^[17]利用 PRECIS 单向嵌套全球海-气耦合气候模式 HadCM3 高分辨率的大气部分 HadAM3P,分析了 PRECIS 对中国区域当代平均气候与极端气候事件的模拟能力以及 SRES B2 情景下 2080s (2071~2100 年)相对于气候基准时段(1961~1990 年)平均气候与极端气候事件的变化响应。

IPCC 在 2000 年发布的温室气体《排放情景特别报告》(SRES)^[18]设计了 4 种新的排放方案。许多学者借助 GCM 对 SRES 情景下东亚区域气候未来变化进行情景分析^[19-21]。SRES 情景中的 B2 方案特点是区域性的可持续发展,世界人口缓慢但持续地增长,温室气体排放维持中-低水平。本文应用区域气候模式系统 PRECIS 对气候基准时段中国区域气候进行控制模拟试验,分析 PRECIS 对中国区域最高、最低气温及日较差的模拟能力并对 B2 情景下 2080s 中国区域未来最高、最低气温及日较差的变化响应进行比较详细的分析。

2 中国区域地面最高、最低气温及日较差的模拟能力分析

区域气候模式系统 PRECIS 在 2003 年由中国农业科学院研究人员引入中国,发展中国区域高分辨率的 SRES 气候变化情景。Hadley 气候中心高分辨率的 GCM 模式(HadAM3P)为其提供边界场和初始场,PRECIS 模式的水平分辨率为 $0.44^\circ \times 0.44^\circ$,垂直方向分为 19 层,积分时间步长为 5 min。模式物理过程

的详细介绍参见文献[15,16].文中使用的资料包括气候基准时段中国区域经过质量检验的693个气象台站(其分布图见文献[22])最高、最低气温观测值、CRU^[23]数据与PRECIS输出的气候基准时段及B2情景下2080s时段年、冬季和夏季平均最高、最低气温.本文所指的气候变化响应是B2情景下2080s模拟结果相对于气候基准时段的变化值.

2.1 最高气温

图1给出PRECIS对中国区域气候基准时段年、冬季和夏季平均最高气温的模拟结果与观测值的空间分布.由图中可以看出,PRECIS能够较好地模拟

中国区域气候基准时段年、冬季和夏季平均最高气温的局地分布特征,模拟结果与观测值吻合较好.PRECIS模拟出了中国区域最高气温由南向北的递减趋势,各条等温线的分布与模拟值大体一致.模式模拟的年平均最高气温分布在95°E以东地区与观测结果基本重合,只是在长江入海口,模式模拟较观测值偏高.对青藏高原的模拟结果较观测值偏低,在新疆天山以南地区模拟的高温区偏强且范围偏大;冬季东北地区常年处于0°以下,模式能够模拟出这一地区多年平均冬季最高气温的分布状况,但是模式对四川盆地的模拟结果较观测值偏低,而长江

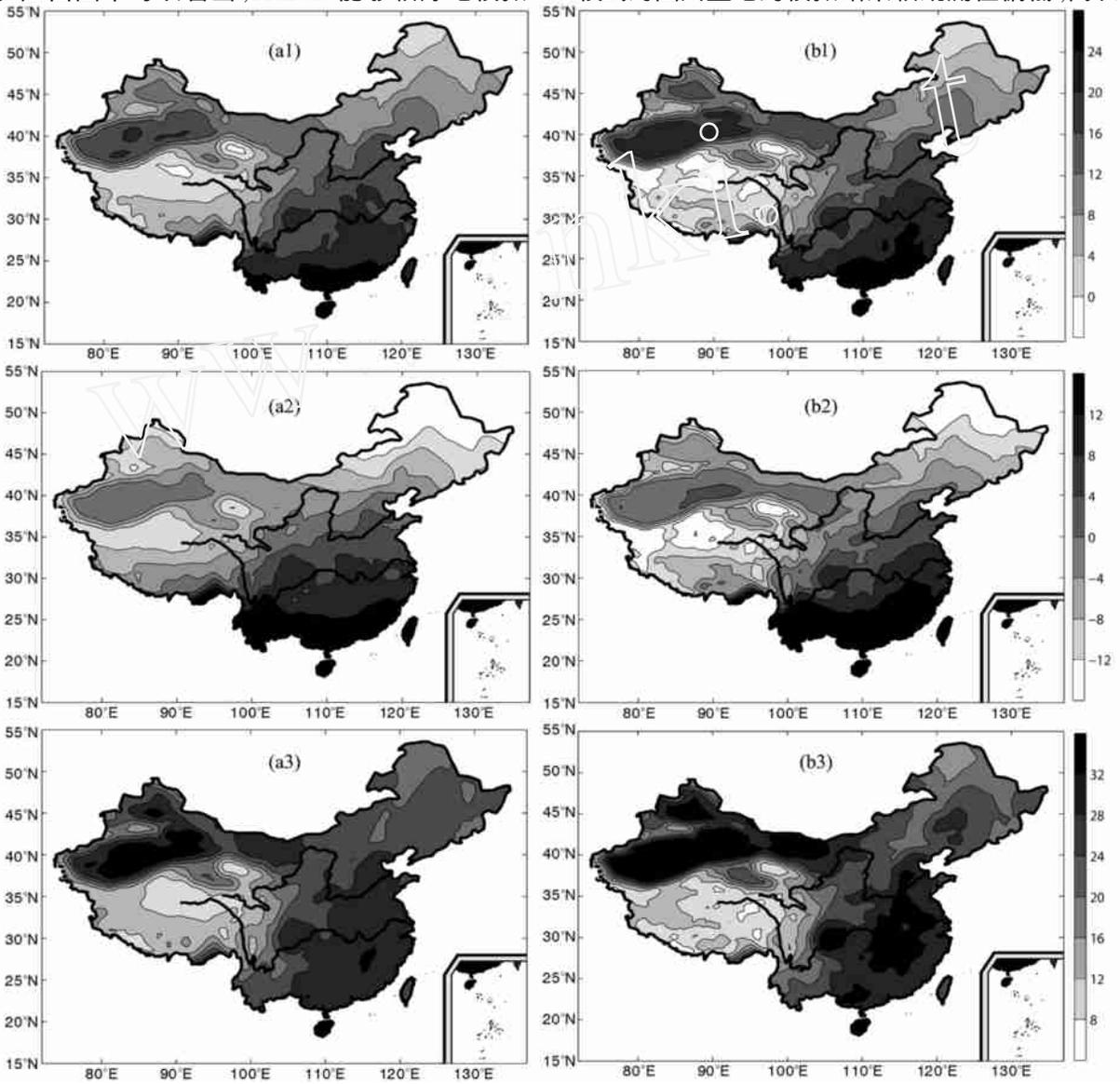


图1 中国区域气候基准时段年(a1, b1)、冬季(a2, b2)和夏季(a3, b3)平均最高气温分布(单位:)
(a) 观测值;(b) PRECIS模拟值.

Fig. 1 Distribution of (a1, b1) the baseline annual, (a2, b2) winter and (a3, b3) summer mean maximum temperature over China (unit:)
(a) Observations; (b) PRECIS simulation.

中下游地区的模拟值较观测值偏高. 青藏高原的模拟结果与观测值较为接近,只是在北部模拟结果略有偏低;在我国东北北部地区模拟的夏季平均最高气温较观测值偏低. 模式对内蒙古中西部、四川盆地、华南部分地区和长江中下游地区的模拟结果较观测值偏强.

2.2 最低气温

图 2 给出 PRECIS 对中国区域气候基准时段年、冬季和夏季平均最低气温分布的模拟结果与观测值

的对比. 最低气温的空间分布形势与最高气温基本相似. 从年平均最低气温的模拟结果可以看出,对东北地区与新疆中部的低温区以及四川盆地、长江中下游和华南地区的高温区的模拟结果均给出与观测值比较一致的区域分布特征. 但是模拟结果中也存在一些不足,青藏高原北部模拟结果较观测值偏低,模式模拟的 12 等温线比观测值凸出向北 1~2 °;模式能够模拟出中国北方大部分地区冬季平均最低气温的分布特征,只是对东北模拟结果较观测值偏

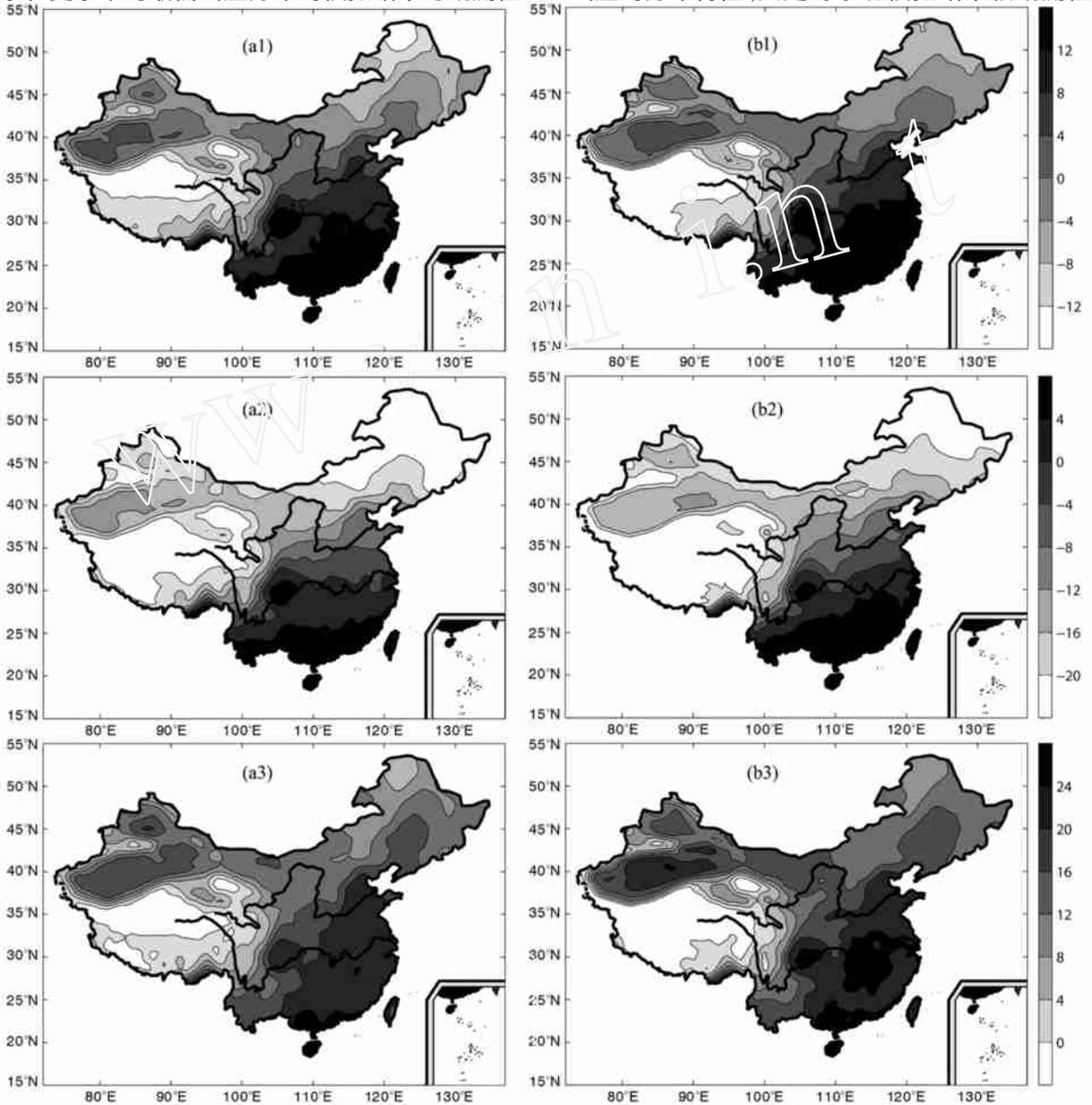


图 2 中国区域气候基准时段年 (a1, b1)、冬季 (a2, b2) 和夏季 (a3, b3) 平均最低气温分布 (单位:)
(a) 观测值; (b) PRECIS 模拟值.

Fig. 2 Distribution of (a1, b1) the baseline annual, (a2, b2) winter and (a3, b3) summer mean minimum temperature over China (unit:)
(a) Observations; (b) PRECIS simulation.

高. 模拟的长江中下游地区及华南地区最低气温比观测值偏高, 模式模拟的四川盆地最低温度高值区范围较观测值偏小. 模拟的 4 等温线的位置比观测结果偏北; 夏季平均最低气温的模拟结果与观测值吻合较好, 只是东北北部低值区的模拟范围偏小而长江中下游地区和新疆天山以南地区模拟结果偏大.

2.3 日较差

图 3 给出 PRECIS 对中国区域气候基准时段年、冬季和夏季平均温度日较差的模拟结果与观测值的空间分布. 模式模拟出的中国区域年平均温度日较

差最大的地区位于约 30°N 以北、100°E 以西, 这与观测结果比较吻合, 但模拟值较观测值偏高. 模式模拟的年平均温度日较差在东北北部地区偏低, 长江中下游及以南地区模拟结果与观测值较为一致; 模式模拟出了冬季四川盆地较小的日较差, 但是模拟范围偏大. 与年平均模拟结果相似, 东北北部地区冬季模拟结果较观测值偏低, 西北地区的模拟结果普遍偏高; 模式对东北和华北地区的夏季模拟结果偏低, 而对西部地区的模拟结果又较观测值偏高.

2.4 最高、最低气温及日较差的月际变化特征分析

为了更严格地对模式模拟结果进行检验, 文中

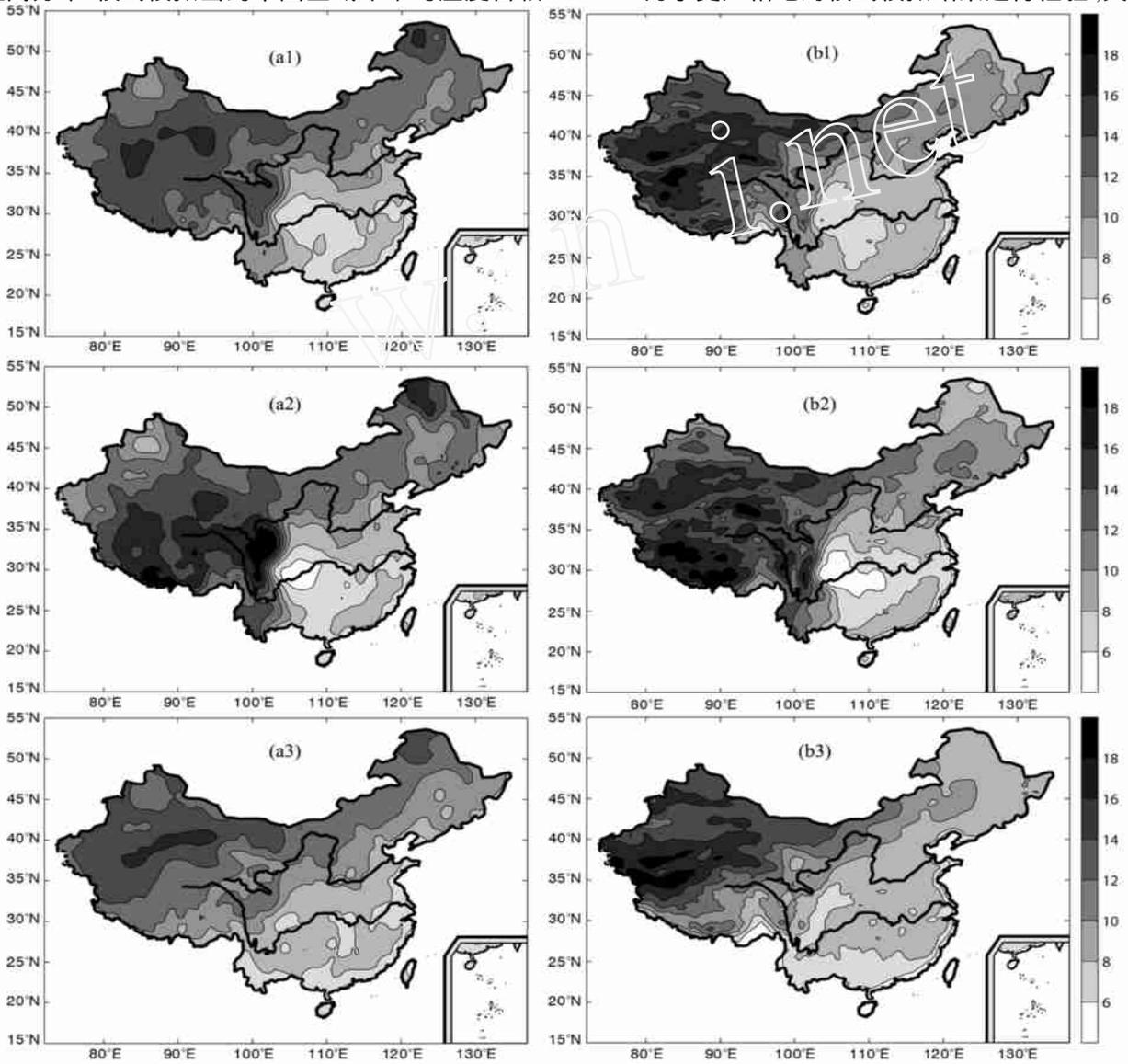


图 3 中国区域气候基准时段年 (a1, b1)、冬季 (a2, b2) 和夏季 (a3, b3) 平均温度日较差分布 (单位:)
(a) 观测值; (b) PRECIS 模拟值.

Fig. 3 Distribution of (a1, b1) the baseline annual, (a2, b2) winter and (a3, b3) summer mean diurnal temperature range over China (unit:)
(a) Observations; (b) PRECIS simulation.

将模式结果插值到观测站点上,对气候基准时段月平均最高、最低气温和日较差的模拟结果进行对比分析.从图4中可以看出,模式对中国区域月平均最高、最低气温和日较差的模拟结果与观测结果均较

为接近.模式对最高气温冬半年的模拟效果好于夏半年,而最低气温夏半年的模拟结果与观测值更为接近.冬季和春季的温度日较差高于夏季和秋季,模式模拟的温度日较差较观测结果普遍偏低.

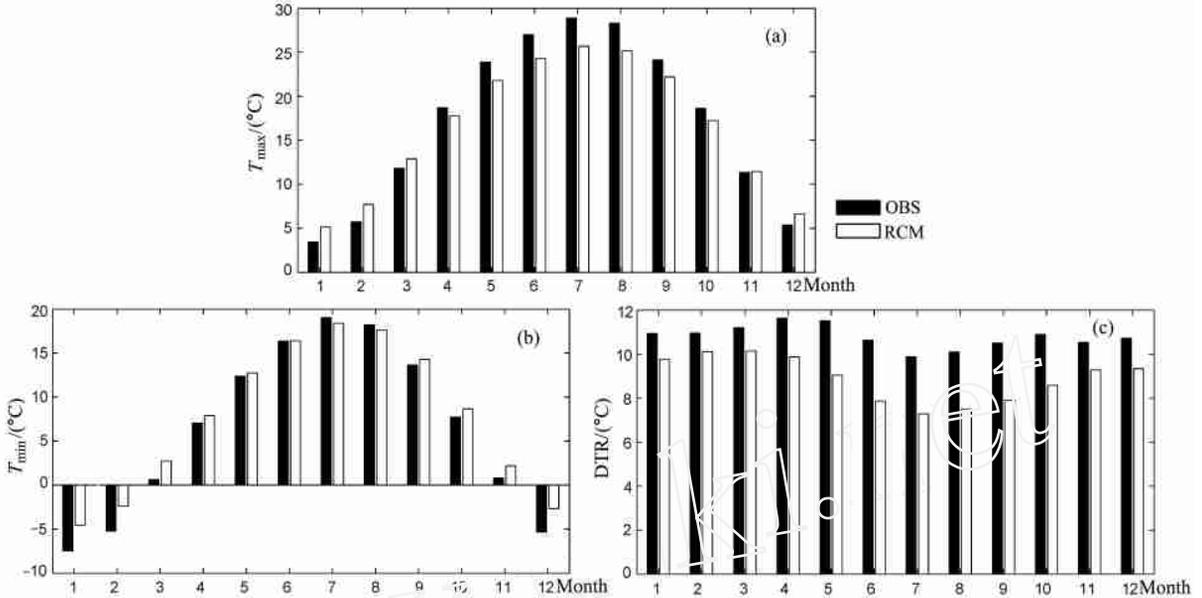


图4 中国区域气候基准时段模式模拟的月平均最高气温(a)、最低气温(b)、日较差(c)与观测值的比较(单位:)

Fig. 4 Comparison of the baseline PRECIS simulation and observations of monthly mean (a) maximum temperature, (b) minimum temperature, (c) diurnal temperature range over China (unit:)

3 中国区域 2080s 时段最高、最低气温及日较差变化响应分析

3.1 最高气温

从图5可以看出:中国区域年、冬季和夏季平均最高气温变化呈一致增加趋势,同时又呈现出季节和区域的差异.年平均值(图5a)增加较大的区域位于东北地区、新疆北部和甘肃至四川盆地一带,而青藏高原西部增幅较小;内蒙古中部地区冬季平均最高气温(图5b)增幅较大,增幅达4.5左右;夏季最高气温增幅(图5c)较年平均值和冬季平均值大.东南沿海与青藏高原北部地区增温幅度最小.北方地区普遍呈显著增温趋势,其中东北地区是未来30年增温最显著的区域,增幅达5以上,这表明与气候基准年相比此区域夏季出现极端高温事件的频率将会加大.

3.2 最低气温

从图6可以看出:中国区域年平均最低气温增幅由北向南逐渐递减.其中在东北、内蒙和西北地区年平均地面最低气温增幅较大;冬季增温明显的范

围包括整个西北、华北和东北地区,尤其华北部分地区增温幅度最为明显,增幅达5以上,而长江流域和华南地区增温幅度较小.表明未来冬季华北地区极端冷害事件将呈减少的趋势;夏季东北地区 and 西北地区最低气温增幅均较年平均和冬季平均大,其中东北部分地区和西北地区增温幅度超过5.

3.3 日较差

人类活动引起的温室气体排放将明显改变最高、最低气温从而导致日较差的变化.中国区域年平均日较差增幅较大的区域位于东北、华南、华东地区和长江中下游地区,青藏高原南部也有小幅增加.华北、内蒙古、青藏高原北部以及西北大部地区年平均日较差呈减少趋势(图7a);冬季长江中下游以南地区日较差增幅较大,增幅超过1.西北、华北和东北地区日较差呈减小趋势,其中在内蒙古中部地区减小幅度达到-1.5(图7b);夏季日较差增幅较大的地区为东北、华北、华南、江淮流域、四川盆地及青藏高原南部地区.内蒙古中部、华东、新疆大部地区及青藏高原北部地区日较差均呈减小趋势,其中在青藏高原北部地区存在一个较强的低值中心(图7c).

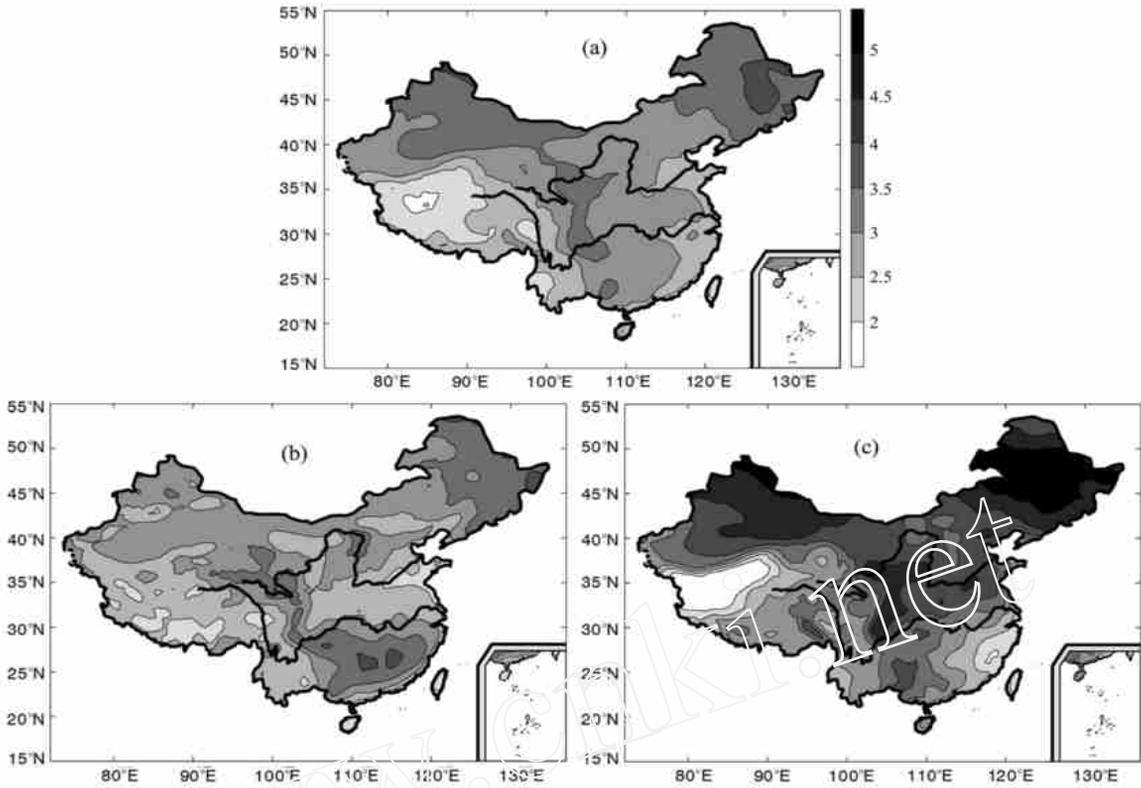


图 5 中国区域 2080s 平均最高气温相对于 1961~1990 年气候态的变化 (单位: $^{\circ}\text{C}$)
 (a) 年; (b) 冬季; (c) 夏季.

Fig. 5 Changes of mean maximum temperature over China in 2080s relative to baseline (unit: $^{\circ}\text{C}$)
 (a) Annual; (b) Winter; (c) Summer.

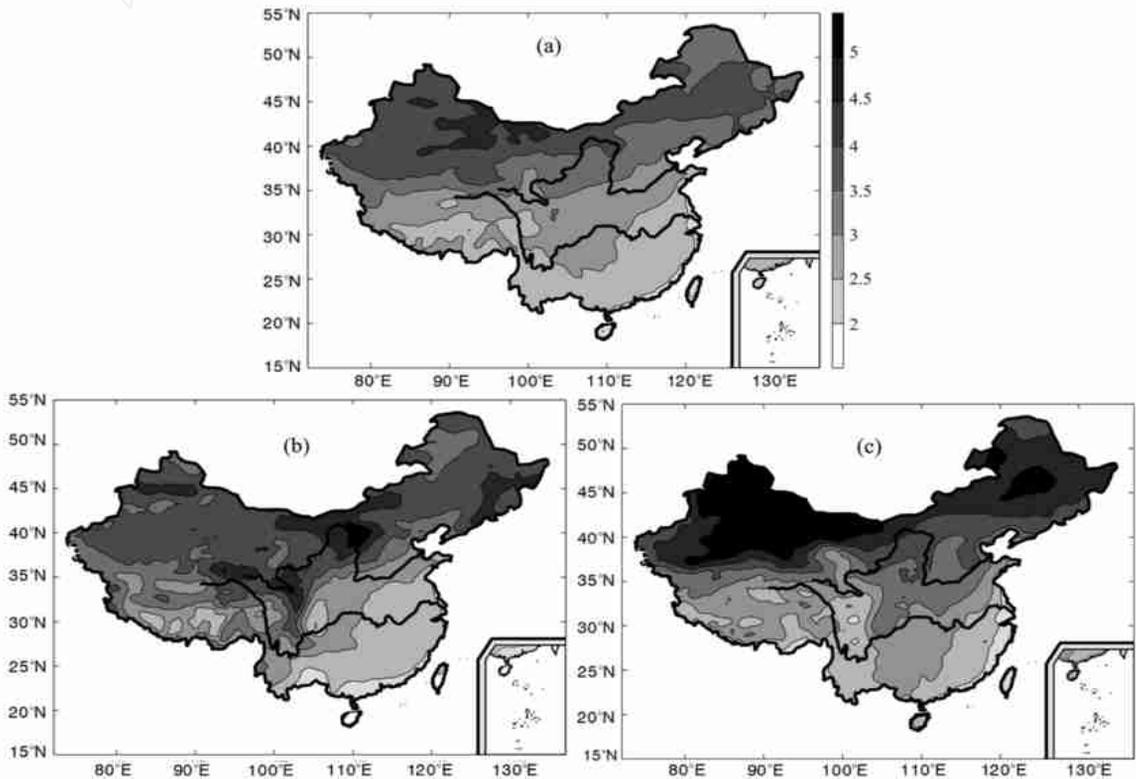


图 6 中国区域 2080s 平均最低气温相对于 1961~1990 年气候态的变化 (单位: $^{\circ}\text{C}$)
 (a) 年; (b) 冬季; (c) 夏季.

Fig. 6 Changes of mean minimum temperature over China in 2080s relative to baseline (unit: $^{\circ}\text{C}$)
 (a) Annual; (b) Winter; (c) Summer.

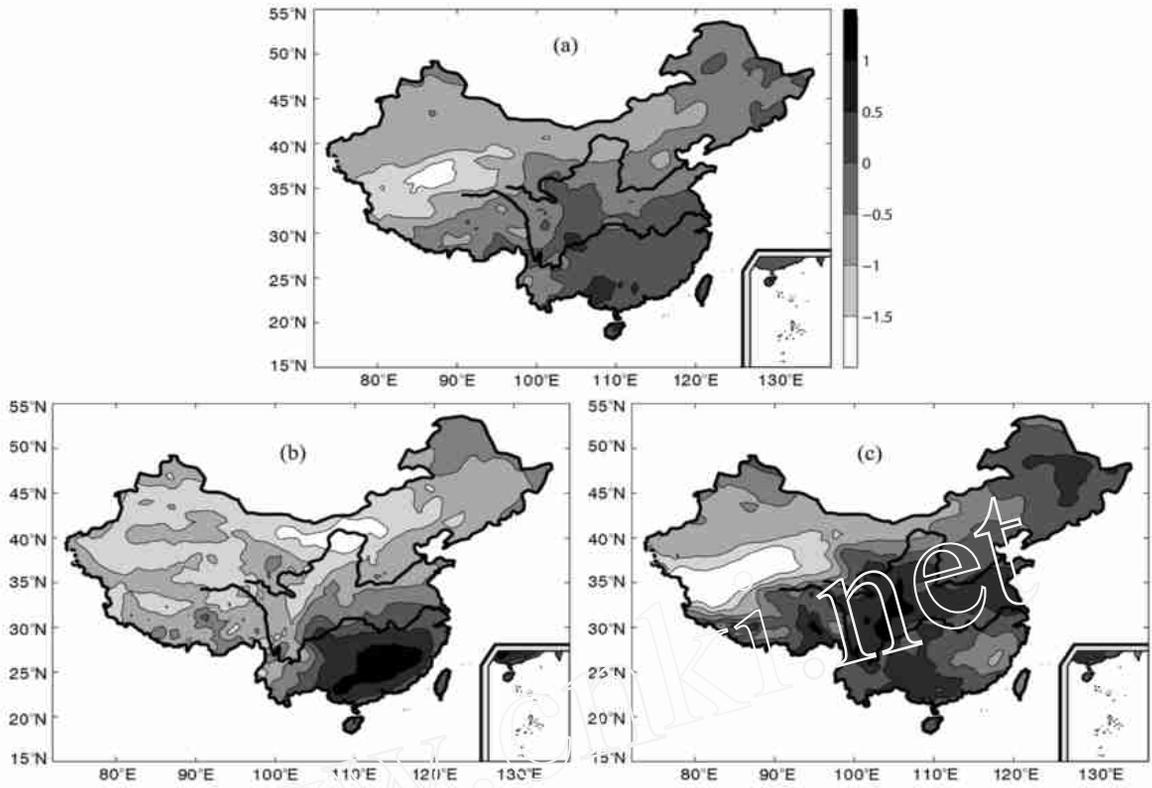


图 7 中国区域 2080s 平均日较差相对于 1961~1990 年气候态的变化 (单位:)
 (a) 年; (b) 冬季; (c) 夏季.

Fig. 7 Changes of mean diurnal temperature range over China in 2080s relative to baseline (unit:)
 (a) Annual; (b) Winter; (c) Summer.

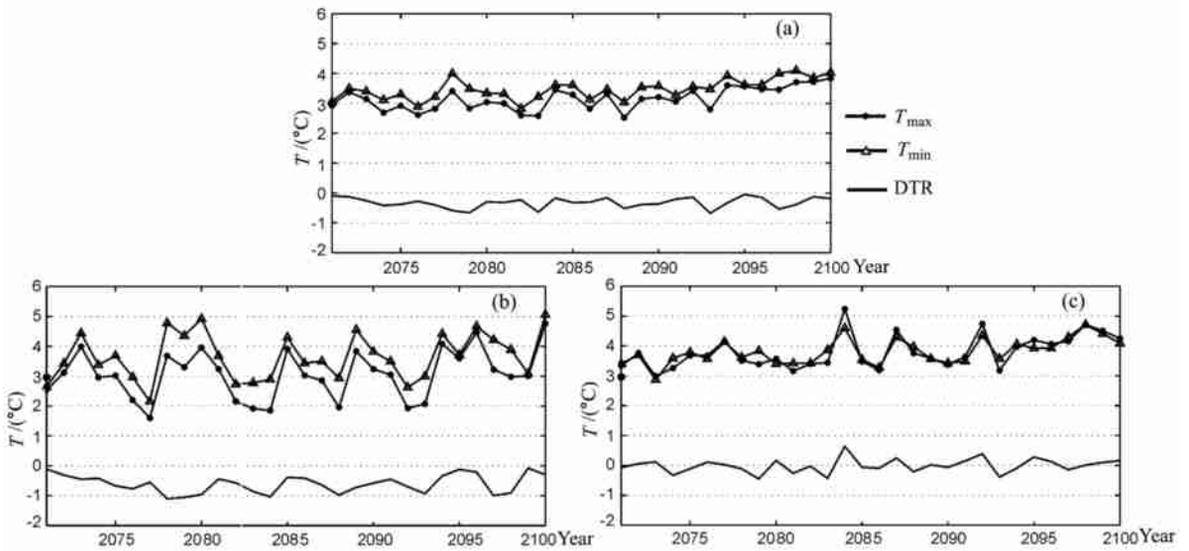


图 8 中国区域 2080s 时段年 (a)、冬季 (b)、夏季 (c) 平均最高、
 最低气温及日较差相对于 1961~1990 年气候态的变化 (单位:)

Fig. 8 Changes of (a) annual, (b) winter, (c) summer mean maximum and minimum temperature and diurnal temperature range over China in 2080s relative to baseline (unit:)

3.4 最高、最低气温及日较差的年际变化特征分析

图 8 中所示 2080s 每一年的增量是指每一年的值相对于气候基准时段 30 年平均值的变化量。从图中可以看出,总体上讲,2080s 时段内中国区域年平均最低气温增加幅度大于最高气温的增加幅度,年平均日较差变化的主要特征是 2080s 时段较气候基准年偏低;2080s 时段内中国区域冬季平均最低气温增加幅度大于最高气温的增加幅度,平均日较差较气候基准年偏低,其中最高、最低气温增加幅度的变化均较年平均和夏季平均偏大,且冬季日较差的减少幅度与年平均相比更为明显;2080s 时段夏季中国区域最高气温与最低气温的增幅总体上讲相差不大,其中 2084、2087、2092、2095 年夏季平均最高气温增加幅度明显大于最低气温的增加幅度,其夏季平均日较差相对于气候基准年偏大,这可能是由于这四年夏季最高气温异常偏高所引起的,表明未来中国区域高温热浪事件出现的频率将可能增加。

4 结论与讨论

(1) PRECIS 对中国区域最高、最低气温及日较差的模拟效果较好。PRECIS 能够描述出最高、最低气温及日较差等温线分布的一些局地尺度细节特征。

(2) 2080s 时段年、冬季和夏季平均最高、最低气温变化均呈一致增加的趋势,同时又呈现出季节和区域的差异,北方地区增温幅度大于南方地区。夏季东北地区将会呈现暖干化趋势,极端高温事件发生的频率将会增加。而冬季华北地区极端冷害事件发生频率将会减少。

(3) 2080s 中国北方地区年平均日较差除东北部分地区有小幅增加以外都将呈减小趋势,而南方地区则呈增加趋势。冬季长江中下游以南地区日较差呈增加趋势。夏季平均日较差在华东、西北地区及内蒙古中部呈减小趋势,其中在青藏高原北部地区存在一个较强的低值中心。

总体来说,PRECIS 对于中国区域气候基准时段最高、最低气温及日较差特征模拟较好,该模式可以用于考虑 CO₂ 等温室气体排放时未来中国区域最高、最低气温变化影响等的数值模拟研究。本文的工作中只考虑了温室气体排放的 SRES B2 情景下中国区域最高、最低气温及日较差变化的响应。同时考虑温室气体和气溶胶辐射效应的 SRES 各种情景下最高、最低气温及日较差变化的响应将是今后研究工

作的重点。

致谢 本工作中气象观测数据由中国气象局气象信息中心气象资料室提供,并得到英国 Richard Jones, David Hassell, Simon Wilson 的技术支持,作者在此表示衷心的感谢!

审图号 GS(2007)328.

参考文献 (References)

- [1] Houghton J T, Ding Y H, Griggs D G, et al. Climate Change 2001: The Science Basis. Contribution of Working Group I to Third Assessment Report of Intergovernment Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001
- [2] David R E, Briony H, Philip D J, et al. Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science*, 1997, **277**: 364 ~ 367
- [3] Karl T R, Kukla G, Razuvayev V N, et al. Global warming evidence for asymmetric diurnal temperature change. *Geophys. Res. Lett.*, 1991, **18**: 2253 ~ 2256
- [4] Karl T R, Jones P D, Knight R W, et al. A new perspective on recent global warming asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1993, **74**(6): 1007 ~ 1023
- [5] Karl T R, Knight R W, Plummer N, et al. Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century. *Nature*, 1995, **377**: 217 ~ 220
- [6] 王 菱, 谢贤群, 苏 文等. 中国北方地区 50 年来最高和最低气温变化及其影响. *自然资源学报*, 2004, **19**(3): 337 ~ 343
Wang L, Xie X Q, Su W, et al. Changes of maximum and minimum temperature and their impacts in northern China over the second half of the 20th century. *Journal of Natural Resources* (in Chinese), 2004, **19**(3): 337 ~ 343
- [7] 严中伟, 章名立. 近年我国温度及其日较差的变化趋势. *科学通报*, 1993, **37**: 1295 ~ 1298
Yan Z W, Zhang M L. On the trends of temperature and daily range in China. *Chin. Sci. Bull.*, 1993, **38**: 54 ~ 58
- [8] 马鹏里, 王若升, 王宝灵等. 我国西北地区地面最高和最低气温变化及分布的特征. *高原气象*, 2002, **21**(5): 509 ~ 513
Ma P L, Wang R S, Wang B L, et al. The characteristics of maximum and minimum temperature change and distribution in northwest China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2002, **21**(5): 509 ~ 513
- [9] 陈隆勋, 劭永宁, 张清芬等. 近四十年来我国气候变化实况的初步分析. *应用气象学报*, 1991, **2**(2): 164 ~ 173
Chen L X, Shao Y N, Zhang Q F, et al. Preliminary analysis of climatic change during the last 39 years in China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1991, **2**(2): 164 ~ 173
- [10] 陈隆勋, 朱文琴, 王 文等. 中国近 45 年来气候变化的研究. *气象学报*, 1998, **56**(3): 257 ~ 271
Chen L X, Zhu W Q, Wang W, et al. Studies on climate change in China in recent 45 years. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1998, **56**(3): 257 ~ 271
- [11] 翟盘茂, 任福民. 中国近四十年最高最低温度变化. *气象学*

- 报, 1997, **55**(4): 418~429
- Zhai P M, Ren F M. On changes of China's maximum and minimum temperatures in the recent 40 years. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1997, **55**(4): 418~429
- [12] 任福民, 翟盘茂. 1951~1990年中国极端气温变化分析. *大气科学*, 1998, **22**(2): 217~227
- Ren F M, Zhai P M. Study on changes of China's extreme temperatures during 1951~1990. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1998, **22**(2): 217~227
- [13] Gao X J, Zhao Z C, Filippo G. Changes of extreme events in regional climate simulation over East Asia. *Adv. Atmos. Sci.*, 2002, **19**(5): 927~942
- [14] 许吟隆, Richard Jones. 利用 ECMWF 再分析数据验证 PRECIS 对中国区域气候的模拟能力. *中国农业气象*, 2004, **25**(1): 5~9
- Xu Y L, Jones R. Validating PRECIS with ECMWF reanalysis data over China. *Chinese Journal of Agrometeorology* (in Chinese), 2004, **25**(1): 5~9
- [15] Jones R G, Noguer M, Hassell, D C, et al. Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS, Met Office Hadley Centre, Exeter, UK, 2004
- [16] 许吟隆, 张 勇, 林一骅. 利用 PRECIS 分析 SRES B2 情景下中国区域的气候变化响应. *科学通报*, 2006, **51**(17): 2068~2074
- Xu Y L, Zhang Y, Lin Y H, et al. Analyses on the climate change responses over China under SRES B2 scenario using PRECIS. *Chin. Sci. Bull.*, 2006, **51**(18): 2260~2267
- [17] Zhang Y, Xu Y L, Dong W J, et al. A future climate scenario of regional changes in extreme climate events over China using the PRECIS climate model. *Geophys. Res. Lett.*, 2006, **33**, L24702, doi:10.1029/2006GL027229
- [18] Nakićenović N, Alcamo G, Davis G de Vries, et al. Special report on emissions scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press, 2000
- [19] 布和朝鲁. 东亚季风气候未来变化的情景分析——基于 IPCC SRES A2 和 B2 方案的模拟结果. *科学通报*, 2003, **48**(7): 737~742
- BUEH Cholaw. Simulation of the future change of East Asian monsoon climate using the IPCC SRES A2 and B2 scenarios. *Chin. Sci. Bull.*, 2003, **48**(10): 1024~1030
- [20] 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. *地球物理学报*, 2004, **47**(4): 590~596
- Jiang D B, Wang H J, Lang X M. East Asian climate change trend under global warming background. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2004, **47**(4): 590~596
- [21] 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. *地球物理学报*, 2004, **47**(5): 776~784
- Jiang D B, Wang H J, Lang X M. Multimodel ensemble prediction for climate change trends of China under SRES A2 scenario. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2004, **47**(5): 776~784
- [22] Qian W H, Lin X. Regional trends in recent temperature indices in China. *Clim. Res.*, 2004, **27**: 119~134
- [23] New M, Hulme M, Jones P. Representing 20th century space-time climate variability. Part II: Development of 1901 - 1996 monthly grids of terrestrial surface climate. *J. Climate*, 2000, **13**: 2217~2238

(本文编辑 何 燕)