

我国西北地区 21 世纪季节 气候变化情景分析*

徐 影 丁一汇 赵宗慈 张 锦

(中国气象局国家气候中心, 北京 100081)

P4 A

摘 要 使用各国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 数据分发中心提供的 7 个全球海气耦合气候系统模式 (CCC、CCSR、CSIRO、DKRZ、GFDL、HADL、NCAR) 的模拟结果, 对我国西北地区未来 21 世纪考虑温室气体增加 (GG) 和温室气体与硫化物气溶胶共同影响 (GS) 时, 冬夏季的气候变化情景进行了分析。模式集成结果分析表明, 我国西北地区的变暖趋势与全球、东亚和中国一致, 但变暖幅度明显高于全球、东亚和中国。对未来 100 年各个季节线性倾向的分析表明, 西北地区 GG 和 GS 时都是冬季变暖最大, 可高达 $5 \sim 8^{\circ}\text{C}/100 \text{ a}$, 且整个西北地区中新疆地区为最大变暖区。21 世纪由于人类活动, 西北地区最低温度和最高温度都将明显升高, 其线性趋势可达 $4 \sim 6^{\circ}\text{C}/100 \text{ a}$ 。由于全球气候模式对区域尺度的模拟存在较大的不确定性, 未来需要作更多的深入研究。

关键词: 西北地区; 季节变化; 全球气候系统模式; 人类活动

1 引言

近百年来, 全球气候状况发生了较大的变化——地球气候系统正在经历一次以全球变暖为中心的显著变化, 近百年所发生的气候变化已经给全球和中国的社会、经济与环境带来重要影响。因此, 全球气候变化问题越来越受到各国政府和人民的关注与重视^[1~6]。

目前国内外对全球年平均气候变化的研究很多, 但对区域各季例如中国西北地区气候变化的研究较少。对 20 世纪中国西北地区的观测资料计算与分析表明^[7], 我国西北地区近百年和近 50 年明显变暖变湿, 极端最高与最低温度升高, 尤以最低温度明显。例如, 1998~2000 年, 中国西北地区最低温度相对于 30 年气候平均值 (1961~1990 年) 偏高分别为 0.7°C 、 1.5°C 和 1.4°C , 这是值得重视的。我国西北地区的气候变化在中国和东亚气候变化中占有重要位置和作用, 因此有必要了解在全球变暖的大背景下, 我国西北地区未来 100 年 (21 世纪) 冬夏季的气温与降水以及极端温度将如何变化, 从而为西部大开发的政策制定提供一些科学依据。

本文着重计算与分析中国西北地区 21 世纪冬夏季的平均温度与降水以及极端温度的变化。第 2 节对所用的全球海气耦合气候系统模式作简单介绍, 第 3 节简单对比中国西北地区与东亚和全球 21 世纪气温变化的关系, 第 4 节叙述西北地区 21 世纪冬夏季气温和降水变化趋势的预测, 第 5 节给出西北地区 21 世纪极端温度变化趋势的预测,

2002-09-15 收到, 2002-10-20 收到修改稿

* 国家科技部社会公益研究专项资金项目“我国西北地区生态气候环境监测预测方法研究”资助

最后一节给出结论和讨论。

2 模式和试验简介

本文分析所用的 7 个模式是由 IPCC 第一工作组第三次科学评估报告中给出的全球大气耦合海洋环流、海冰与陆地生态系统模式，包括加拿大气候模式中心模式 (CCC)^[8,9]，日本气候系统研究中心模式 (CCSR)^[10]，澳大利亚联邦科学与工业研究组织大气研究所模式 (CSIRO)^[11,12]，德国马普气象研究所模式 (DKRZ)^[13]，美国普林斯顿大学地球物理流体动力学实验室模式 (GFDL)^[14]，英国气象局哈得莱中心模式 (HADL)^[15]，美国国家大气科学研究中心模式 (NCAR)^[16]。这 7 个模式分别模拟和计算了由于人类活动造成的温室气体增加 (GG) 以及温室气体和硫化物气溶胶浓度增加 (GS) 时，20 世纪和 21 世纪全球的气候变化。7 个模式的具体介绍和模拟试验设计见文献 [17]，该文献着重对这 7 个模式模拟的 20 世纪西北地区情况进行了检测和评估，对 21 世纪西北地区年平均的未来气候变化情景进行了计算和分析。本文将重点对 21 世纪 7 个模式集成的我国西北地区冬夏季温度和降水变化以及最高、最低温度和日较差的变化进行计算与分析。

本文对所有变量的分析都是采用双向线性内插的方法将各个模式的格点值插值到西北各站；所计算的西北地区包括新疆、青海、甘肃、宁夏、陕西和内蒙的西部 6 个省和自治区；所有计算中的距平值，统一采用 IPCC 规定的标准，用 1961~1990 年 30 年的平均值作为气候场；GG 和 GS 分别表示只考虑温室气体增加的试验和既有温室气体增加又有硫化物气溶胶影响的试验。由于篇幅限制，本文的分析都是用所有模式的集成。

3 21 世纪中国西北地区与东亚和全球气温变化的联系

在讨论 21 世纪我国西北地区冬夏季温度和降水变化以及极端温度变化以前，首先计算了 7 个模式模拟的 21 世纪我国西北地区气温变化与全球和东亚的联系。图 1 分别给出 7 个模式的 GG (图 1a) 和 GS (图 1b) 试验时，20 与 21 世纪中国西北地区、东亚以及全球的温度变化。从图中明显看到，不论 GG 或 GS 试验，21 世纪中国西北地区的温度变化都明显高于东亚和全球的变化，这在表 1 和表 2 给出的 21 世纪我国西北气温与东亚和全球的相关系数以及线性变化趋势中更明显。我国西北地区 21 世纪气温变化的线性趋势 GG 和 GS 试验分别为 5.751℃/100 a 和 4.148℃/100 a。

表 1 模式模拟 21 世纪 (2000~2099 年) 中国西北地区与东亚和全球气温的相关系数

区 域	GG	GS
中国西北与东亚	0.991	0.990
中国西北与全球	0.986	0.979

表 2 模式模拟 21 世纪 (2000~2099 年) 中国西北地区、东亚和全球气温变化的线性趋势 °C/100 a

区 域	GG	GS
中国西北	5.751	4.148
东亚	4.739	3.883
全球	3.736	3.267

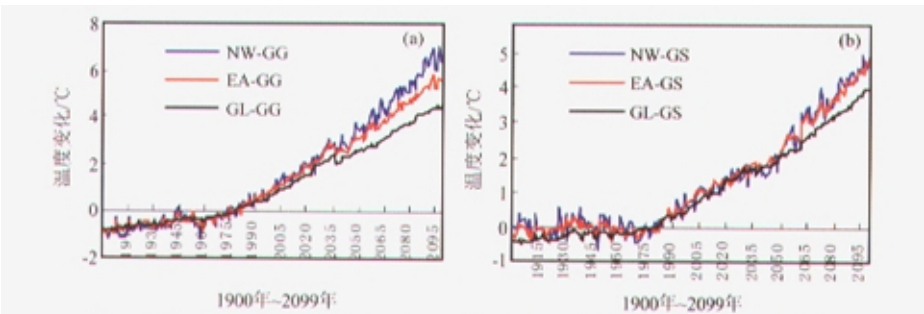


图 1 7 个模式模拟的 20 与 21 世纪中国西北地区、东亚以及全球温度变化 (a) GG; (b) GS

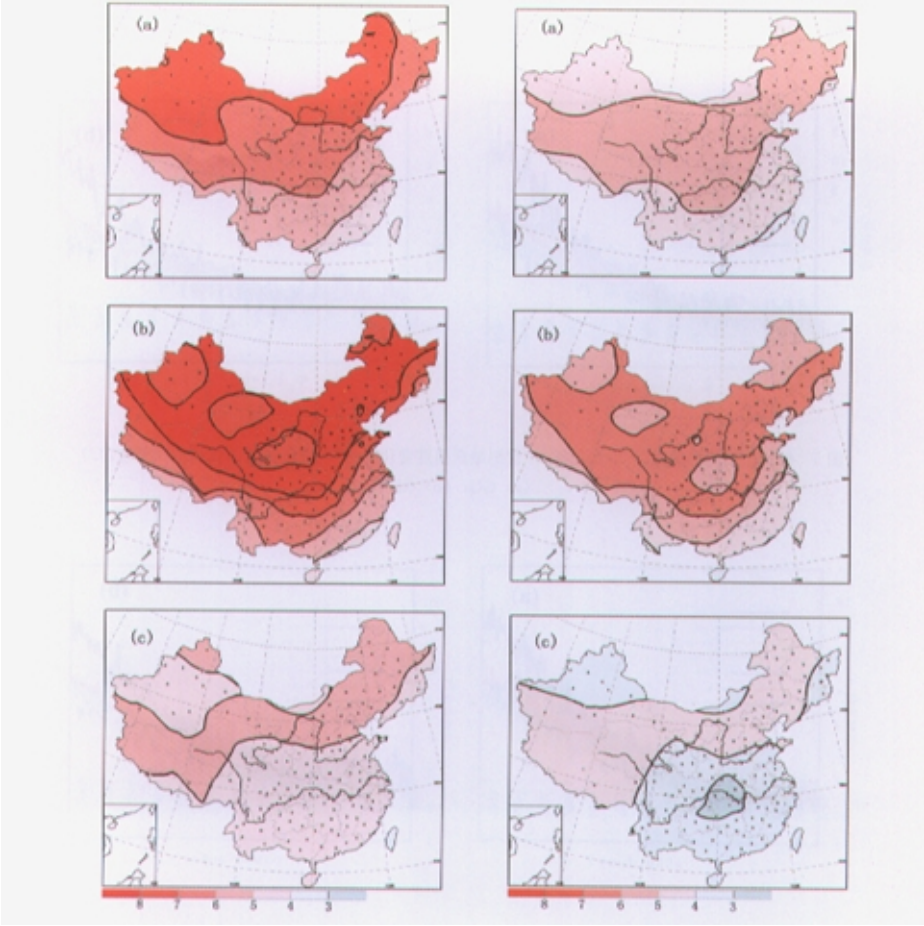


图 2 GG 试验 21 世纪中国年(a)、冬季(b)和夏季(c) 图 3 GS 试验 21 世纪中国年(a)、冬季(b)和夏季(c)
气温变化线性趋势分布(单位: $^{\circ}\text{C}/100\text{ a}$) 气温变化线性趋势分布(单位: $^{\circ}\text{C}/100\text{ a}$)

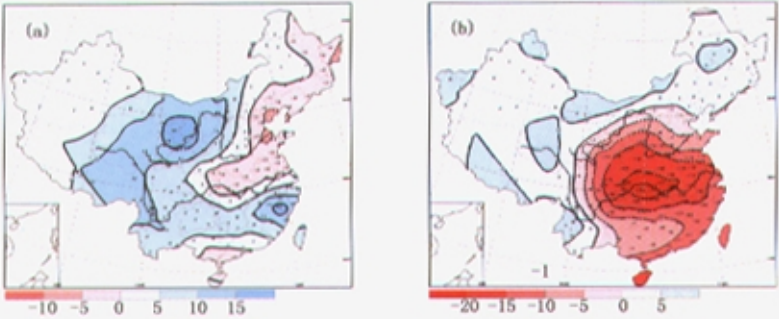


图 4 GG (a) 和 GS (b) 试验 2030 年中国降水的变化 (单位: mm/月)

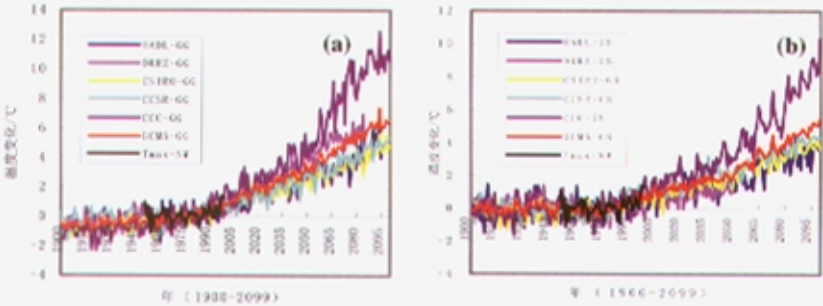


图 5 模式模拟的西北地区 20 世纪和 21 世纪最高温度变化以及 20 世纪相应的观测值 (单位: $^{\circ}\text{C}$)
(a) GG; (b) GS

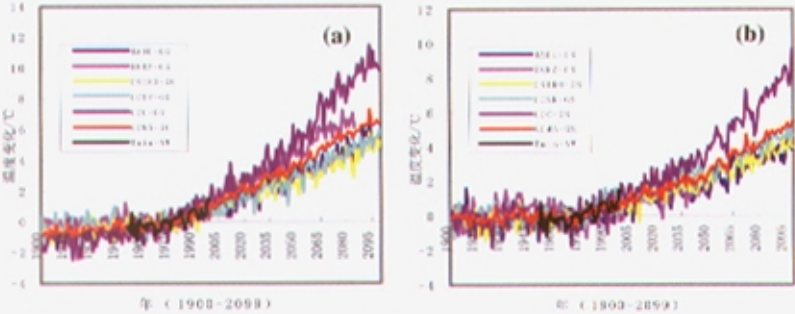


图 6 模式模拟的西北地区 20 世纪和 21 世纪最低温度变化以及 20 世纪相应的观测值 (单位: $^{\circ}\text{C}$)
(a) GG; (b) GS

4 21 世纪冬夏季与年温度和降水变化情景展望

21 世纪冬夏季和年气温及降水的变化情况是公众关注的一个重要问题。图 2 和图 3 分别给出 GG 和 GS 试验 21 世纪中国年、冬季和夏季气温变化趋势分布。从图中注意到，由于人类活动，不论 GG 试验还是 GS 试验，21 世纪西北地区冬季变暖最明显，变暖线性趋势为 $5\sim 8^{\circ}\text{C}/100\text{ a}$ ，其中尤以新疆、陕西和宁夏变暖更明显。夏季西北地区也是变暖，但是其变暖程度远低于冬季，线性趋势只有 $3\sim 5^{\circ}\text{C}/100\text{ a}$ ，其中新疆与内蒙变暖更明显。同时考虑温室气体和硫化物气溶胶（GS）影响时，西北地区变暖程度低于只考虑温室气体的影响。

西北地区是我国的干旱地区，全年降水量很少。计算表明，未来 21 世纪由于人类活动，对西北地区的降水也会产生一定影响。作为一个例子，图 4 分别给出由于人类活动 GG 和 GS 试验 2030 年中国降水的变化。计算表明，由于温室气体增加（GG），西北地区降水将明显增加，尤以陕甘宁与内蒙中部增加更明显，可达到 $10\sim 15\text{ mm}/\text{月}$ 。同时考虑温室气体和硫化物气溶胶增加（GS），西北地区降水没有明显增加，河套地区降水减少。

5 21 世纪极端温度变化情景

由于人类活动造成 21 世纪西北地区极端温度的变化也是人们关心的重要问题。图 5 和图 6 分别给出模式模拟的西北地区 20 世纪和 21 世纪最高温度和最低温度变化以及 20 世纪相应的观测值。进一步具体计算极端温度的变化，表 3 给出 1951~1999 年模式模拟与观测的最高最低温度相关系数和线性趋势，表 4 和表 5 分别给出由于人类活动，21 世纪每 30 年西北地区最高和最低温度变化以及未来百年变化的线性趋势。

20 世纪模式集成模拟的最低温度与观测的相关系数很高，达到 $0.6\sim 0.7$ ，最高温度的相关系数较低，但是也还有 0.35 左右。表明模式具有一定的模拟最高与最低温度的能力（见表 3 与图 5 和图 6）。计算与分析表明，21 世纪由于人类活动将造成西北地区最高与最低温度明显增加，其线性趋势可达 $4\sim 6^{\circ}\text{C}/100\text{ a}$ （见表 4 和表 5）。这表明由于人类活动，21 世纪西北地区夏季的最高温度将明显增加，冬季最低温度也将明显上升，这是值得注意的。另一方面还计算了西北地区 21 世纪日较差的变化情景，由于人类活动 21 世纪西北地区日较差将减少，例如，对于 GG 试验，2010~2039 年日较差将减少 0.24°C ；对于 GS 试验，2010~2039 年日较差将减少 0.15°C （图表略）。

表 3 模式模拟与观测的最高最低温度相关系数和线性趋势（1951~1999 年）

	最高温度		最低温度	
	GG	GS	GG	GS
模式与观测的相关系数	0.341	0.352	0.717	0.609
模式线性趋势 ($^{\circ}\text{C}/49\text{a}$)	1.212	0.734	1.438	0.882
观测线性趋势 ($^{\circ}\text{C}/49\text{a}$)	0.562		1.400	

表 4 由于人类活动 21 世纪西北地区最高与最低温度变化

℃

	最高温度		最低温度	
	GG	GS	GG	GS
2010~2039 年	1.88	1.40	2.12	1.55
2040~2069 年	3.42	2.45	3.69	2.66
2070~2099 年	5.33	4.26	5.51	4.49

表 5 21 世纪由于人类活动西北地区最高与最低温度变化的线性趋势

℃/100 a

	最高温度		最低温度	
	GG	GS	GG	GS
线性趋势	5.932	4.638	5.866	4.768

6 结论和讨论

人类活动对 21 世纪我国西北地区冬夏季气候变化以及极端温度变化的计算与分析研究表明, 由于人类活动造成大气中温室气体浓度和硫化物气溶胶增加, 我国西北地区冬夏季气温将明显变暖, 尤以冬季明显, 线性趋势可达 $5\sim 8\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ a}$ 。其中新疆、陕西和宁夏变暖更明显。温室气体的作用将使 21 世纪西北地区降水增加。研究还注意到, 人类活动的影响将使 21 世纪西北地区最高与最低温度明显升高, 线性趋势可达 $4\sim 6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ a}$ 。

正像 IPCC 报告所指出的, 目前的气候模式在区域气候模拟中存在较大的不确定性, 我们的研究工作集中在我国西北地区, 因此, 研究结果带有一定的不确定性, 有待于加入分辨率更高的西北地区区域气候模式, 做更深入的研究, 以取得进一步的证实和完善。

致 谢 作者由衷感谢 7 个模式组和 IPCC 资料中心提供模式计算的 20 世纪和 21 世纪全球气候变化资料, 由衷感谢国家气候中心计算机室为收取资料和计算提供了大力帮助, 以及翟盘茂、潘晓华提供中国西北地区观测的极端温度计算结果。

参 考 文 献

- 1 Houghton, J. T., G. J. Jenkins, and J. J. Ephraums, Eds., *Climate Change, The IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990, 364pp.
- 2 Houghton, J. T., B. A. Callander, and S. K. Varney, Eds., *Climate Change 1992, The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1992, 200 pp.
- 3 Houghton, J. T., L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell Eds., *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1996, 572 pp.
- 4 Houghton, J. T., *The IPCC Special Report on Emissions Scenarios (SRES)*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2000, 120 pp.
- 5 Houghton, J. T., Ding, Y., Eds., *Climate Change 2000, The Scientific Basis*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2001, 770 pp.
- 6 赵宗慈、丁一汇、高学杰、徐影, 中国西北地区气候变化及未来趋势展望 (第二章), 中国西北地区气候变化

- 影响与对策研究, 丁一汇、王守荣主编, 北京: 气象出版社, 2001, 210.
- 7 王绍武、龚道溢、翟盘茂, 西部地区的气候变化 (第二章), 中国西部地区的环境演变, 秦大河总主编, 北京: 科学出版社, 31~80.
- 8 Boer, G. J., G. Flato, M. C. Reader, and D. Ramsden, A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: experimental design and comparison with the instrumental record for the 20th century, *Climate Dyn.*, 2000, **16**, 405~425.
- 9 Boer, G. J., G. Flato, M. C. Reader, and D. Ramsden, A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: projected climate for the 21st century, *Climate Dyn.*, 2000, **16**, 427~450.
- 10 Emori, S., T. Nozawa, A. Abe-Ouchi, A. Numaguti, M. Kimoto, and T. Nakajima, Coupled ocean-atmosphere model experiments of future climate change with an explicit representation of surface aerosol scattering, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1999, **77**, 1299~1307.
- 11 Gordon, H. B., and S. P. O. Farrell, Transient climate change in the CSIRO coupled model with dynamic sea ice, *Mon. Wea. Rev.*, 1997, **125**, 875~907.
- 12 Roeckner E., C. Ropelewski, B. Santer, and S. Tett, Detection and attribution of recent climate change, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1999, **80**, 2631~2659.
- 13 Tett, S. F. B., P. A. Stott, M. R. Allen, W. J. Ingram, and J. F. B. Mitchell, 1999, Causes of twentieth century temperature change, *Nature*, 1999, **399**, 569~572.
- 14 Haywood, J. M., R. J. Stouffer, R. T. Wetherald, S. Manabe, and V. Ramaswamy, Transient response of a coupled model to estimated changes in greenhouse gas and sulfate concentrations, *Geophys. Res. Lett.*, 1997, **24**, 1335~1338.
- 15 Mitchell, J. F. B., T. J. Johns, J. M. Gregory, and S. B. F. Tett, Climate response to increasing level of greenhouse gases and sulphate aerosols, *Nature*, 1995, **376**, 501~504.
- 16 Meehl, G. A., W. M. Washington, J. M. Arblaster, T. W. Bette, and W. G. Strand, Anthropogenic forcing and climate system response in simulations of 20th and 21st century climate, *J. Climate*, 2000, **13** (21), 3728~3744.
- 17 赵宗慈、丁一汇、徐影、张锦, 人类活动对 20 世纪中国西北地区气候变化影响检测和 21 世纪预测, 气候与环境研究, 2003, **8**, 26~34.

A Scenario of Seasonal Climate Change of the 21st Century in Northwest China

Xu Ying, Ding Yihui, Zhao Zongci, and Zhang Jin

(National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract Based on the simulations of seven AOGCMs (CCC, CCSR, CSIRO, DKRZ, GFDL, HADL, and NCAR) which were supported by the IPCC WG1 DDC, the projections of climate change and extreme temperature for winter and summer of the 21st century in Northwest China have been presented. It is found that the warming trend in Northwest China in the 21st century due to the human activities was much higher than them in the global, East Asia, and China. A warming of 5~8°C/100 a in winter of the 21st century is pointed out, especially in Xinjiang. The linear trends of both maximum and minimum temperatures in Northwest China are about 4~6°C/100 a. There are some uncertainties in the regional simulations of climate models. The further research will be concentrated on this field.

Key words: Northwest China; seasonal change; climate system model; human activity