

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*

赵宗慈 丁一汇 徐影 张锦

(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) 第一工作组 (WG1) 2001 年科学评估报告中给出的 7 个全球气候系统模式 (CCC、CCSR、CSIRO、DKRZ、GFDL、HADL、NCAR), 对 20 世纪中国西北地区气候变化作检测表明, 从观测计算得到的近百年中国西北地区气候变暖 0.75°C 和近 50 年气候变暖 0.88°C , 很可能与人类活动造成大气中温室气体浓度增加以及硫化物气溶胶增加有联系。所有模式的控制试验没有表现出明显的增暖趋势, 但是, 根据 20 世纪的排放, 所有模式模拟出温室气体增加或温室气体与硫化物气溶胶增加, 造成西北地区变暖平均为 $0.34\sim 1.57^{\circ}\text{C}/100\text{ a}$ 和 $0.90\sim 1.86^{\circ}\text{C}/50\text{ a}$ 。所有模式对 21 世纪中国西北地区气候变化的计算表明, 21 世纪由于人类活动排放温室气体增加, 以及温室气体和硫化物气溶胶增加, 西北地区气温将可能平均升高 $2.79\sim 4.50^{\circ}\text{C}/100\text{ a}$ 。对 21 世纪未来降水变化的分析表明, 由于温室气体增加, 以及由于温室气体和硫化物气溶胶增加, 未来西北地区降水将可能增加 $48\sim 60\text{ mm}/100\text{ a}$ 。由于全球气候模式在模拟区域尺度气候变化上存在较大的不确定性, 以及人类活动排放的多样性, 因此, 对未来的预测展望存在不确定性。

关键词: 气候模式; 检测与预测; 西北地区; 人类活动

1 引言

人类活动对于气候变化的影响越来越受到各国政府、科学家和公众的注意。研究表明, 现在已经有新的和比较强的证据表明, 人类活动对全球气候变化有明显影响, 特别是在最近 50 年^[1~5]。我国科学家们也非常重视人类活动对东亚和中国气候变化的影响。近 10 年来, 气候模式模拟研究表明, 考虑人类活动排放温室气体增加, 东亚和中国的气候将可能发生明显变化^[6~11]。但是, 就人类活动对中国西北地区气候变化影响的研究较少, 近 10 年来气候模式的初步模拟研究表明, 人类活动对中国西北地区的影响要比对其他地区的影响更明显^[12~16]。目前正处在西部大发展时期, 因此, 更有必要深入研究人类活动对中国西北地区气候变化的可能影响。

中国西北地区的气候变化在中国和东亚 ($15\sim 60^{\circ}\text{N}$, $70\sim 140^{\circ}\text{E}$) 以及全球的气候变化中占有重要地位, 表 1 给出利用观测值计算的西北地区气温分别与中国和东亚气温的相关系数, 以及近百年和近 50 年气温变化的线性趋势。从表 1 中注意到, 其相关非常明显, 而增暖的线性趋势也很一致, 并且略高于全球、东亚和中国。

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

表 1 中国西北地区 (NW) 气温分别与中国 (CN) 和东亚 (EA)
气温的相关系数 (ACC) 及线性趋势 (LT)

年份	ACC-NW/CN	ACC-NW/EA	LT-NW (℃/100 a)	LT-CN (℃/100 a)	LT-EA (℃/100 a)
1900~1999	0.79	0.71	0.75	0.39	0.84
1951~2000	0.85	0.85	0.88	0.81	0.82

注：根据观测值计算

本文第 2 部分将简单介绍作者所用的气候模式的特征和试验设计，第 3 和第 4 部分分别给出计算的人类活动对中国西北地区气温和降水变化的影响，包括对 20 世纪气候变化的检测和对 21 世纪气候变化的展望，文章最后部分给出结论和讨论。

2 模式简介

IPCC 第一工作组第三次科学评估报告中^[5]给出了 7 个全球大气耦合海洋环流和海冰与陆地生态系统模式，即加拿大气候中心模式 (CCC)^[17,18]，日本气候系统研究中心模式 (CCSR)^[19]，澳大利亚联邦科学与工业研究组织大气研究所模式 (CSIRO)^[20]，德国马普气象研究所模式 (DKRZ)^[21]，美国普林斯顿大学地球物理流体动力学实验室模式 (GFDL)^[23]，英国气象局哈得莱中心模式 (HADL)^[22,24]，美国国家大气科学研究中心模式 (NCAR)^[25]，分别考虑大气中由于人类活动造成的温室气体以及温室气体和硫化物气溶胶浓度增加，计算了全球 20 世纪的气候变化检测以及对 21 世纪全球气候变化的展望。这些研究工作集中在讨论对全球平均气温和降水的影响，在作者的研究中，利用这些模式的研究成果，着重研究和分别计算对中国西北地区 20 世纪气候变化的检测和 21 世纪西北气候变化的展望。表 2 给出对这些模式基本特征的简单介绍和其模拟试验的设计。

这些模式的大气部分垂直分辨率从 9 层到 20 层，水平分辨率大都在约 5°格点；海洋部分的垂直分辨率较细，从 12 层到 29 层，水平分辨率一般在约 3°格点。模式中还包括多层陆地生物圈模式和较为复杂的海冰模式。

从表 2 中注意到，7 个模式的温室气体 (用 GG 表示)，以及温室气体和硫化物气溶胶 (用 GS 表示) 试验设计，在 20 世纪主要是根据观测实况进行加工或用大气化学模式计算得到；21 世纪的设计则根据 IPCC 第一工作组的几次排放方案给出。

由于研究包括了对 20 世纪气候变化的检测，因此，相应还需要 20 世纪观测的气温和降水值。其中，西北地区的近百年 (1900~1999 年) 气温观测值取自王绍武和龚道溢^[26]研究中的西北地区 and 新疆地区；西北地区近百年 (1900~1998 年) 降水的观测值取自 Hulme 等^[14]和 Hulme (个人通信, 2001) 的全球格点数据，在此基础上作者根据研究的需要进行整理、加工和计算。

本研究针对中国西北地区，主要包括新疆、内蒙古、青海、甘肃、宁夏和陕西。对于模式计算的格点值都是将其内插到站点上，然后计算整个西北地区的区域平均值。降水的观测值也是格点资料，因此，采取类似于模式的计算方法。气温值则是根据王绍武和龚道溢对新疆地区和西北地区的计算进行算术平均。所有的计算距平值，统一采用 1961~1990 年作为气候平均值。

表 2 气候模式(AOGCM)的基本特征和试验设计

	作者	AGCM	OGCM	控制试验 (年)	GHG 试验 (年)	GHG+SA 试验 (年)	气候敏感 值(℃)
DKRZ	Roeckner 等 ^[21]	T42/L19	2.8°×2.8°/L17	1000	1860~1990 年 历史资料	1860~1990 年 历史资料	2.6
					1990~2099 年 1% a ⁻¹	1990~2099 年 IS92a	
HADL	Mitchell 和 Johns ^[22,24]	3.75°×2.5°/L19	3.75°×2.5°/L20	400	1860~1989 年 历史资料	1860~1989 年 IS92a	2.5
					1990~2099 年 1% a ⁻¹ , 0.5% a ⁻¹	1990~2099 年 1% a ⁻¹ , 0.5% a ⁻¹	
GFDL	Haywood 等 ^[23]	T32/L10	4.5°×3.75°/L12	1000	1958~2057 年 IS92a	1765~2065 年 IS92a	3.7
CCC	Boer 等 ^[17,18]	T32/L10	1.8°×1.8°/L29		1850~2100 年 1% a ⁻¹	1850~2100 年 1% a ⁻¹	3.5
CSIRO	Gordon 和 O'Farrell ^[20]	R21/L9	R21/L21		1880~1990 年 历史资料	1880~1990 年 历史资料	
					1990~2099 年 IS92a	1990~2099 年 IS92a	
CCSR	Emori 等 ^[19]	T21/L10	2.8°×2.8°/47	1890~ 2099 年	1890~2099 年 1% a ⁻¹	1890~2099 年 1%+DSA,	3.6
NCAR	Washington 和 Meehl ^[25]	4.5°×7.5°/L9	1°×1°/L20	1870~ 2100 年	1% a ⁻¹	1%+ISA	2.1

3 20 世纪西北气温变化的检测和 21 世纪展望

首先对 20 世纪(1900~1999 年)和其后 50 年(1951~2000 年)西北地区气温变化进行检测,分别计算了各个模式的控制试验(CT),以及加入温室气体(GG)与加入温室气体和硫化物气溶胶(GS)试验与观测值的相关系数(见表 3)。从表 3 中看到,模式模拟的近百年和近 50 年西北地区气温变化控制试验与观测气温没有明显的相关;而 GG 与 GS 试验,绝大多数模式模拟的 20 世纪中国西北地区的气温变化与观测值有明显的相关,达到 95%以上的信度水平;尤其是只考虑温室气体,其气温变化的相关系数更高,平均为 0.332。由此表明,中国西北地区的近百年气候变暖,可能与人类活动排放温室气体和硫化物气溶胶增加有联系。

表 3 模式模拟的西北地区 20 世纪(1900~1999 年)年平均气温与观测气温的相关系数

模式名	CT	GG	GS
CCC	0.045	0.357	0.120
CCSR	-0.018	0.236	0.164
CSIRO	-0.036	0.331	0.204
DKRZ	-0.127	0.435	0.009
GFDL	0.209	0.178	0.196
HADL	0.178	0.349	0.059
NCAR	0.142	0.439	0.118
平均	0.056	0.332	0.124
7 个模式集成	0.158	0.472	0.219

注:表中 CT 表示控制试验,GG 表示温室气体试验,GS 表示温室气体加硫化物气溶胶试验,其中 GFDL 是 42 年的模拟结果

为考察 20 世纪近百年和近 50 年中国西北地区的气温变化特征，分别计算了每个模式 3 个试验的近百年和近 50 年气温变化的线性趋势；为进行检测，同时还计算了近百年和近 50 年观测的气温线性趋势（表 4）。观测和计算表明，近百年中国西北地区气温升高 0.749℃。对比模式的计算结果注意到，所有模式的控制试验值计算表明，没有明显的变暖趋势。所有模式考虑温室气体影响，模拟近百年中国西北地区则变暖 0.650~2.659℃，平均变暖为 1.569℃，明显高于观测值。所有模式考虑温室气体与硫化物气溶胶的共同影响，模拟中国西北地区近百年的变暖为-0.430~0.961℃，平均变暖为 0.339℃，较观测值明显偏低（见表 4）。由此表明，近百年中国西北地区的变暖，可能与人类活动造成的温室气体和硫化物气溶胶的排放影响有一定联系。

表 4 模式模拟与观测的 20 世纪西北地区气温变化的线性趋势（1900~1999 年）℃/100 a

模式名	CT	GG	GS
CCC	0.391	2.066	0.575
CCSR	-0.066	0.736	0.487
CSIRO	-0.155	1.720	0.961
DKRZ	-0.254	0.650	-0.280
GFDL	-0.283	1.964	0.677
HADL	0.158	1.191	0.386
NCAR	0.701	2.659	-0.430
平均	0.070	1.569	0.339
7 个模式集成	0.108	1.512	0.303
观测	0.749		

注：其中 GFDL 是 42 年的模拟结果

观测的 20 世纪近 50 年（1951~2000 年）气温变化的线性趋势为 0.881℃/50 a，所有模式的控制试验没有模拟出这种明显变暖趋势。大部分模式的温室气体试验过高模拟了这种变暖趋势，所有模式模拟平均变暖为 1.569℃/50 a。而多数模式温室气体和硫化物气溶胶试验又过低的模拟了这种变暖趋势，所有模式模拟平均变暖为 0.339℃/50 a（表略）。从计算与分析注意到，近 50 年西北地区的变暖，可能与人类活动排放温室气体和硫化物气溶胶的影响有联系。

我国的政策制定者、科学家和公众更为关心未来人类活动对中国西北地区的气温变化会有多大影响，因此，类似计算了 21 世纪（2000~2099 年）各个模式 3 个试验预测的中国西北地区气温变化的线性趋势（表 5）。计算表明，考虑温室气体的影响，21 世纪的 100 年中国西北地区可能变暖 2.140~8.988℃，平均为 4.979℃。如果考虑温室气体与硫化物气溶胶的共同作用，则 21 世纪中国西北地区可能变暖幅度低于只考虑温室气体，在 0.215~6.782℃，平均为 2.790℃。

综合以上的分析与计算，图 1 给出从 1900~2099 年所有模式模拟和预测的由于温室气体或温室气体和硫化物气溶胶影响可能造成的中国西北气温的变化。

为进一步估计未来西北地区的气温变化，分别计算了各个模式在 GG 和 GS 试验中预测的未来 2010、2020、…、2090 年中国西北地区的气温变化，这里仅给出考虑温室气体和硫化物气溶胶共同增加时（GS）的未来变化情景（表 6）。7 个模式模拟的中国西北地区气温变化在 2030 年升高 0.47~3.13℃，平均为 1.85℃；2060 年升高 1.83~3.41℃，平均为 2.55℃；到 2090 年升高 3.47~7.05℃，平均为 4.47℃。

表 5 模式预测的 21 世纪西北地区气温变化的线形趋势 (2000~2099 年) °C/100 a

模式名	CT	GG	GS
CCC	-0.148	8.988	6.782
CCSR	-0.240	4.160	3.226
CSIRO	0.488	6.230	3.458
DKRZ	-0.110	5.336°C/85 a	0.992°C/50 a
GFDL	0.425°C/58 a	2.140°C/58 a	2.020°C/58 a
HADL	0.143	4.690	3.331
NCAR	0.888°C/36 a	3.306°C/36 a	0.215°C/36 a
平均	0.207	4.979	2.790
7 个模式集成	0.217	5.751	4.148

注：不足 100 年的在表中标出年数

表 6 模式考虑温室气体和硫化物气溶胶共同影响对未来百年中国西北地区气温变化情景 (GS) °C

模式名	2010 年	2020 年	2030 年	2040 年	2050 年	2060 年	2070 年	2080 年	2090 年
CCC	1.17	2.16	1.65	2.72	2.82	3.41	4.72	5.40	7.05
CCSR	0.86	1.10	1.63	2.14	1.90	2.23	2.84	3.26	3.47
CSIRO	0.91	0.97	1.47	1.80	2.35	2.71	2.32	2.93	3.51
DKRZ	0.41	0.71	0.47	0.30	—	—	—	—	—
GFDL	1.98	2.27	3.13	1.49	2.70	—	—	—	—
HADL	1.35	0.97	1.91	0.79	1.01	1.83	3.51	3.35	3.84
NCAR	1.30	2.27	2.68	—	—	—	—	—	—
平均	1.14	1.49	1.85	1.54	2.16	2.55	3.35	3.74	4.47

注：“—”表示模式无计算值

4 20 世纪西北降水变化的检测和 21 世纪展望

类似于对西北地区气温的计算与分析研究，同样计算了观测的和 7 个模式 3 种试验模拟的西北地区降水近百年（1900~1998 年）和近 50 年（1951~1998 年）的相关系数和线性趋势，以及未来百年（2000~2099 年）7 个模式对西北降水的预测展望。

计算表明，7 个模式 3 种试验模拟的近百年和近 50 年降水与相应观测值的相关系数是很小的正值或负值，其中只有 CSIRO 的 GG 试验以及 CCC 和 GFDL 模式控制试验的相关系数在 0.20 以上（表略）。根据观测计算表明，近百年西北地区降水略减少，线性趋势为-5 mm/100 a；近 50 年西北地区降水有减少趋势，线性趋势为-22 mm/50 a。计算 7 个模式 3 种试验的线性趋势表明，只有少数模式模拟出近百年和近 50 年西北地区降水的减少趋势。例如近 50 年模拟中，只有 CCC、CCSR 和 DKRZ 的控制试验，GFDL 的 GG 试验，DKRZ 和 NCAR 的 GS 试验模拟出降水减少的趋势（表略）。由此表明，近百年和近 50 年西北地区降水变化的原因是多种和复杂的，人类活动可能对降水也有一定影响，但是限于目前全球模式在区域尺度的模拟水平，还难于做出较好的模拟。

进一步计算人类活动对未来百年西北地区降水的可能影响，图 2 给出 1900~2099 年 7 个模式模拟与预测的西北地区降水变化。从图中可以看出，7 个模式平均后，在 GG 时，未来降水有增加的趋势，但在 GS 时降水将减少，尤其是在 21 世纪的中期。类似计算了 21 世纪（2000~2099 年）各个模式 3 个试验预测的中国西北地区降水变化的线性趋势（表 7）。计算表明，考虑温室气体的影响，21 世纪的 100 年中国西北地区可能略变湿，线性趋势为-48~180 mm，平均为 60 mm。如果考虑温室气体与硫化物

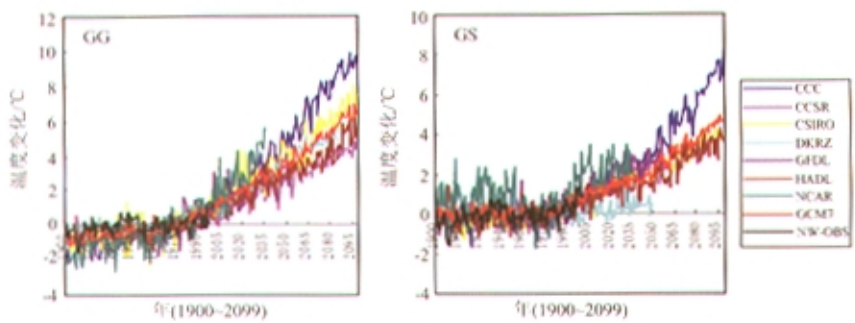


图 1 1900~2099 年模式模拟和预测由于温室气体影响 (GG) 以及温室气体与硫化物气溶胶共同影响 (GS) 时中国西北气温的变化 (单位:℃)

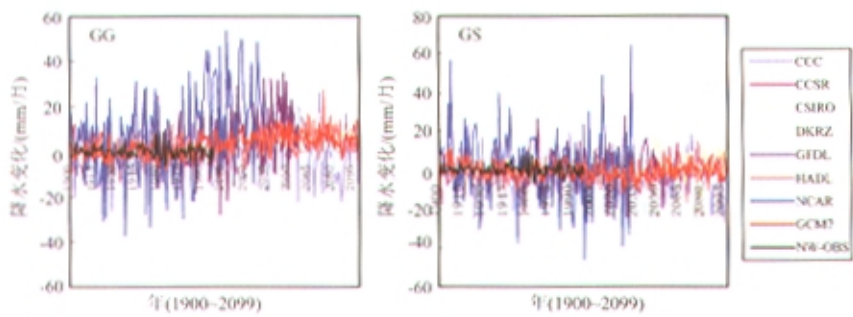


图 2 1900~2099 年模式模拟和预测由于温室气体增加 (GG) 以及温室气体与硫化物气溶胶共同影响 (GS) 中国西北降水的变化 (单位: mm/月)

表 7 模式预测的 21 世纪西北地区降水变化的线性趋势 (2000~2099 年) mm/100 a

模式名	CT	GG	GS
CCC	-12	-60	-108
CCSR	-5	84	36
CSIRO	48	84	48
DKRZ	-36	108 mm/85 a	-120 mm/50 a
GFDL	12 mm/58 a	180 mm/58 a	-12 mm/58 a
HADL	36	18	48
NCAR	192 mm/36 a	-48 mm/36 a	144 mm/36 a
平均	-24	60	48
7 个模式集成	-12	0	36

注：不足 100 年的在表中标出年数

气溶胶的共同作用，21 世纪中国西北地区也为略变湿，但是低于只考虑温室气体，线性趋势在-120~144 mm，平均为 48 mm。

同样计算未来 2010~2090 年 7 个模式考虑由于人类活动 (GG 和 GS 试验) 对

2010、2020、…、2090 年中国西北地区降水预测。注意到, GG 试验预测未来西北降水以增加为主, 而 GS 试验多数预测以减少为主。作为一个例子, 表 8 给出考虑温室气体和硫化物气溶胶的共同影响, 未来百年中国西北地区降水预测展望。综合考虑 7 个模式 GG 和 GS 试验平均, 预计 2030 年西北平均降水变化范围在-108~55 mm, 2060 年在-48~92 mm, 2090 年在 0~85 mm。

表 8 模式考虑温室气体和硫化物气溶胶共同影响对未来百年

中国西北地区降水预测展望 (GS)										mm
模式名	2010 年	2020 年	2030 年	2040 年	2050 年	2060 年	2070 年	2080 年	2090 年	
CCC	96	168	-108	12	24	-180	-168	-120	-96	
CCSR	24	-12	-192	-12	-72	-72	-108	24	-12	
CSIRO	72	-60	36	-60	120	72	108	-180	132	
DKRZ	-252	-204	-384	-72				--	--	
GFDL	-96	108	-288	84	0	--	--	--	--	
HADL	-96	-120	12	-12	-48	-12	48	36	-24	
NCAR	24	-36	228	--	--			---	--	
平均	-36	-24	-108	-12	0	-48	-36	-60	0	

5 结论和讨论

本文使用 IPCC 2001 年科学评估报告中的 7 个全球大气耦合海洋环流模式, 考虑由于人类活动排放温室气体和硫化物气溶胶增加, 对中国西北地区 20 世纪气候变化检测, 以及对 21 世纪西北地区气候变化预测展望。

全球模式的检测研究表明, 从观测计算得到的 20 世纪西北地区气候明显变暖 0.75℃/100 a 及 0.88℃/50 a, 可能与人类活动排放温室气体和硫化物气溶胶增加有联系。全球模式的控制试验没有模拟出这种明显的变暖趋势, 但是温室气体试验, 以及温室气体与硫化物气溶胶试验, 模拟出 20 世纪西北地区的明显变暖, 其变暖趋势所有模式平均为 0.34~1.57℃/100 a 和 0.90~1.86℃/50 a。研究还注意到, 7 个模式集成模拟 20 世纪的气候变化效果优于单个模式的效果。

模式对 21 世纪人类活动影响的预测展望表明, 由于人类排放温室气体和硫化物气溶胶增加, 中国西北地区将继续明显变暖, 百年变暖趋势平均为 2.79~4.50℃。降水的变化较为复杂, 由于温室气体和硫化物气溶胶的共同影响, 未来降水将可能增加 48~60 mm/100 a。

本研究只是粗略估算了西北全区的气候变化, 并没有具体给出在西北各省、自治区和市的具体变化, 因此, 给出的结果是西北地区总体未来气候变化特征。特别是西北地区的降水变化, 取决于更多和更复杂的因素和局地影响, 利用全球气候模式难于做出未来变化的具体预测, 因此, 对 21 世纪的预测带有展望性质。

目前, 我们正在建立较高分辨率的全球大气耦合海洋环流模式 (T63L16/T63L30) 作 20 世纪和 21 世纪人类活动影响的检测和情景预测, 并且准备将高分辨率的中国区域气候模式与之嵌套, 以期得到更进一步的结果。

致谢 作者由衷感谢 IPCC 第一工作组模式资料中心 (DRC) 和 7 个模式组 (CCC、CCSR、CSIRO、DKRZ、GFDL、HADL、NCAR) 提供了模式计算结果, P. Jones、M. Hulme、王绍武和龚道滋提供了观测数据, 以及中国气象局国家气候中心计算机室和韩国延世大学全球环境变化研究室为资料的获取和计算提供了大力帮助。

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, 200pp.
- 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, 572pp.
- 4 Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs et al., Eds., *The IPCC Special Report on Emissions Scenarios (SRES)*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2000, 120pp.
- 5 Houghton, J. T., and Y. Ding, Eds., *Climate Change 2000. The Scientific Basis*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2001, 770pp.
- 6 Zhao Zongci, Climate change in China, *World Resources Review*, 1994, **6**, 125~130.
- 7 85-913 项目 02 课题论文编委会主编, 气候变化规律及其数值模拟研究论文 (第 1、2、3 集), 北京: 气象出版社, 1996, 258, 313, 186.
- 8 丁一汇、石广玉主编, 中国的气候变化与气候影响研究, 北京: 气象出版社, 1997, 562pp.
- 9 Zhao Zongci, and Li Xiaodong, Impacts of global warming on climate change over East Asia as simulated by 15 GCMs, *World Resources Review*, 1997, **10**, 17~21.
- 10 Zhao Zongci, Luo Yong, and Gao Xuejie, GCM studies on anthropogenic climate change in China, *Acta Meteorologica Sinica*, 2000, **14**, 247~256.
- 11 Zhang Xuehong, Shi Guangyu, Liu H., and Yu Yongqiang, IAP global ocean-atmosphere-land system model, Science Press, Beijing/New York, 2000, 252pp.
- 12 Guo Yufu, Yu Yongqiang, Liu Xiyang, and Zhang Xuehong, Simulation of climate change induced by CO₂ increasing for East Asia with IAP/LASG model, *Advances in Atmospheric Sciences*, 2001, **18**, 53~66.
- 13 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.
- 14 Hulme, M., Zhao Zongci, and Tao Jiang, Recent and future climate change in East Asia, *International Journal of Climatology*, 1994, **14**, 637~658.
- 15 Zhao Zongci, Climate change and sustainable development in China's semi-arid regions, *Climate Variability, Climate Change and Social Vulnerability in the Semi-arid Tropics*, J. C. Ribot, A. R. Magalhaes, and S. S. Panagides Eds., Cambridge University Press, UK, 1996, 92~108.
- 16 丁一汇、王守荣主编, 中国西北地区气候变化影响与对策研究, 气象出版社, 2001, 210.
- 17 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**, 405~426.
- 18 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.
- 19 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.

- 20 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.
- 21 Roeckner, E., C. Ropelewski, B. Santer, and S. Tett, Detection and attribution of recent climate change, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1999, **80**, 2631~2659.
- 22 Tett, S. F. B., P. A. Stott, M. R. Allen, W. J. Ingram, and J. F. B. Mitchell, Causes of twentieth century temperature change, *Nature*, 1999, **399**, 569~572.
- 23 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.
- 24 Mitchell, J. F. B., T. J. Johns, J. M. Gregory, and S. F. B. Tett, Climate response to increasing level of greenhouse gases and sulphate aerosols, *Nature*, 1995, **376**, 501~504.
- 25 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**, 3728~3744.
- 26 王绍武, 叶瑾琳, 黄道溢, 近百年中国气温序列的建立, 应用气象学报, 1998, **9**, 392~401.

Detection and Prediction of Climate Change for the 20th and 21st Century Due to Human Activity in Northwest China

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

(National Climate Center, Beijing 100081)

Abstract Based on the simulations of seven AOGCMs (CCC, CCSR, CSIRO, DKRZ, GFDL, HADL, NCAR), the detection of climate change in Northwest China in 20th century indicated that the obvious warming of 0.75°C/100 a and 0.88°C/50 a computed from the observed data might be attributed to both greenhouse gases and sulfate aerosols. The control runs of all models did not provide the warming trend. But there were obvious warming trends by about 0.34~1.57°C/100 a and 0.90~1.86°C/50 a for both greenhouse gases experiment (GG) and greenhouse gases and sulfate aerosols experiment (GS) of the AOGCMs, respectively. The predictions of climate change for 21st century in Northwest China have been conducted by using seven models. The significant warming of 2.79~4.50°C/100 a as simulated by GG and GS experiments of the AOGCMs has been predicted. The precipitation might increase by about 48~60 mm/100 a due to both greenhouse gases and sulfate aerosols. But there are some uncertainties that come from both global models and the varied projections.

Key words: climate models; detection and prediction; Northwest China; human activity